01-018

PROPOSED PROJECT MANAGEMENT GUIDE FOR ROAD WORKS IN PERÚ

Aronés, Eddie[1]; Gallardo Zevallos, Germán[2]; Martínez-Echevarría Romero, María José [3]
[1] Provías Nacional. Perú, [2] Universidad de Piura, [3] Universidad de Granada

Project management is essential in all activities of public investment. The cycle of a project of public investment in Peru, comprising the steps of pre investment (profile and feasibility), investment (definitive study and implementation) and post investment (maintenance) .A study of pre thorough and detailed investment substantially reduces the probability modifications, generating savings in time and costs. It is usual in this country, professionals of public bodies as contracting, and private as contractors, unaware administrative procedures and applicable legislation, especially in local and regional entities. From the above stages of a project, pre-investment studies are the most neglected during contract management. This creates unnecessary controversy and precipitous and unforeseen during project implementation decisions. This paper presents a proposal for descriptive guide of sequential activities in the management of road infrastructure projects focused on pre-investment studies and final, which may result in a manual contract management consultancy roadworks, management presents overall, both for professionals in the public and private field.

Keywords: *"Guide"; "Project Management"; "Road Infrastructure"*

PROPUESTA DE MANUAL PARA LA GESTIÓN CONTRACTUAL DE CONSULTORÍA EN OBRAS VIALES DEL PERÚ

La gestión de proyectos, es esencial en todas las actividades de inversión pública. El ciclo de un proyecto de inversión pública en el Perú, comprende las etapas de pre inversión (perfil y factibilidad), inversión (estudio definitivo y ejecución) y post inversión (mantenimiento).Un estudio de pre inversión minucioso y detallado reduce sustancialmente la probabilidad de modificaciones, generando ahorro en tiempo y costes. Es habitual, en este país, que los profesionales de las entidades públicas en calidad de contratantes, y los de las privadas como adjudicatarios, desconozcan los procedimientos administrativos y la legislación aplicable, en especial en las entidades locales y regionales. De las etapas mencionadas de un proyecto, los estudios de pre inversión son los más descuidados durante la gestión del contrato. Esto genera controversias innecesarias y decisiones precipitadas e imprevistas durante la ejecución del proyecto. En este trabajo se presenta una propuesta de guía descriptiva de las actividades secuenciales en la gestión de proyectos de infraestructura vial enfocada en los estudios de pre inversión y definitivos, que puede traducirse en un manual de administración de contratos de consultoría de obras viales, de manejo general, tanto para profesionales en el campo público como en el privado.

Palabras clave: *"Guía"; "Gestión de Proyectos"; "Infraestructuras Viales"*

Correspondencia: Mª José Martínez-Echevarría Romero mjmartinez@ugr.es

1. Introducción

La gestión de proyectos, a nivel de pre-inversión y definitivo, es una de las etapas de la inversión más descuidadas de la gestión pública peruana. Los profesionales de las entidades, especialmente de las pertenecientes a los gobiernos regionales y locales, suelen desconocer o minimizar su importancia en gran parte de las etapas del proceso necesario para concretar una infraestructura pública. Sin embargo como señalan Chou y Yang (2013) se pueden establecer "caminos" para mejorar el desempeño de cualquier proyecto mediante modelización de las actuaciones en las que intervienen factores como el uso de recursos, tiempo, mano de obra entre otros.

Todas las etapas de estudio en cualquier actividad relacionada con la industria de la construcción en la que tanto capital se invierte son fundamentales. La correcta gestión del proceso de determinación de la necesidad (pre-inversión), fiscalización de presupuesto (inversión), adjudicación y redacción de proyecto y adjudicación y ejecución de la obra, lo que se conoce internacionalmente como Project Management, es fundamental en este sector (Isik et al., 2009).

En el país andino, los demás actores que se encuentran vinculados con dicho proceso como los consultores y ejecutores, también desconocen los pormenores de la gestión resultando que en la etapa de la prestación de servicios, se presentan controversias innecesarias que generan innecesariamente derroche de recursos en ambas partes.

Este diagnóstico que de alguna forma es manejable en las entidades públicas del gobierno nacional, es mucho más crítico en los gobiernos regionales y locales, razón por la cual, muchas autoridades públicas presionadas por los reclamos de los ciudadanos, claudican y optan por excluirse de dicho proceso de estudios de pre inversión, conllevando a que se ejecuten proyectos innecesarios, sobredimensionados e inclusive incurriendo en la ilegalidad.

En este trabajo se analiza la gestión de las administraciones peruanas durante las fases de consultoría de proyectos y de ejecución de obra, detectando ciertas deficiencias ó vacíos en la primera fase en la legislación de este país. Se presenta tras varios años de experiencia los aspectos detectados más señalados y se propone una guía de consulta para las entidades intervinientes en los contratos de consultoría de proyectos.

2. Objetivos

2.1. General

Aportar con un manual de administración de contratos de consultoría de obras viales, de manejo general, tanto para profesionales en el campo público como en el privado.

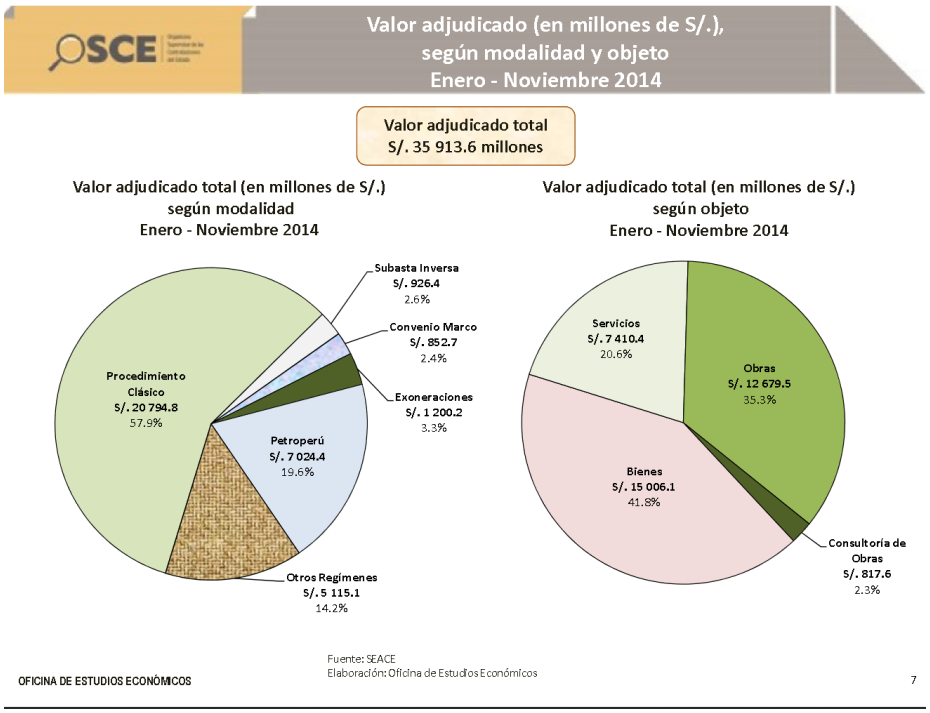
2.2. Específico

Ofrecer una guía consolidada y descriptiva de las actividades secuenciales en la gestión de servicios de consultoría para proyectos de infraestructura vial enfocada en los estudios de pre inversión y definitivos

3. Caso de estudio. Situación Actual

En los últimos 7 años, el Perú ha impulsado la inversión pública en todos los ámbitos de la infraestructura nacional, en especial en obras viales. En el año 2013[1], fecha en el cual se tiende la estadística, se han adjudicado contratos con financiamiento público por la suma de 12 mil millones[2] de dólares entre contrataciones de bienes, servicios y obras. En el caso de obras y servicios (que incluye consultoría de obras), la inversión fue de 7 mil millones de dólares(Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado, OSCE, Acceso 2015) (Ministerio de Economía y Finanzas, Acceso 2015). La distribución de los montos se muestra a continuación en la Figura N° 1:

Figura Nº 1: Distribución de las contrataciones en el Perú.



Nota:

OSCE: Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado

SEACE: Servicio Electrónico de contrataciones del Estado. Es una plataforma virtual pública.

De otro lado, el ciclo de la inversión de todos los proyectos públicos, obligatoriamente tienen que recorrer las fases de pre inversión, inversión y post inversión, como se ilustra en la Figura N° 2:

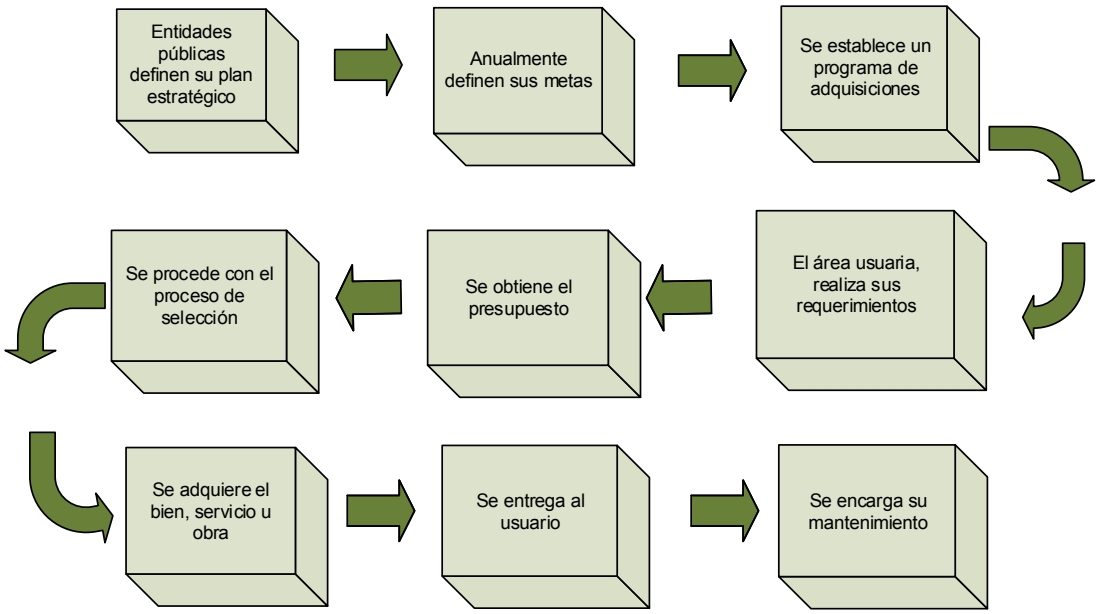
[1] Fecha de la estadística
[2] Se ha utilizado el tipo de cambio: 1dólar = 3 nuevos soles

Figura N° 2: Ciclo de la Inversión Pública:

Siendo el Perfil, el estudio de pre inversión, que como mínimo se debe realizar para establecer la rentabilidad de un proyecto Público, que se expresa en una declaración de viabilidad que otorga el Ministerio de Economía del Gobierno Peruano. En caso que con los estudios a nivel de perfil, no se logre demostrar la rentabilidad del proyecto, se tiene la posibilidad de profundizar la evaluación económica en una siguiente etapa que es el estudio de factibilidad.

Adicionalmente, para ilustrar mejor la complejidad del proceso de selección de toda adquisición de un bien, servicio u obra, con recursos públicos se muestra a continuación en la figura N° 03, se muestra todo el proceso que se desarrolla para adquirir un bien, servicio u obra:

Figura N° 3: Flujograma de las contrataciones públicas



Donde se aprecia el gran recorrido que todo proyecto de inversión pública debe seguir. En promedio, desde la fase de pre inversión, hasta la conclusión de la obra, transcurre 4 años: 1 año para el estudio de pre inversión, 1 año para el estudio definitivo y 2 años para la ejecución de la obra.

Como se puede observar, la mayor incidencia de este tiempo, lo consumen las fases de pre inversión y estudio definitivo, cuyos plazos se dilatan en el tiempo debido a las limitaciones que tienen los administradores del contrato de consultoría.

Ambas fases han sido descuidadas por los autores y entidades que regularmente publican manuales o directivas relacionados con la administración de contratos. Siendo la bibliografía existente únicamente relacionada con la ejecución de obra, situación que se explica debido a que las obras tienen el mayor uso de los recursos económicos. Sin embargo como se puede deducir con total claridad, la cualidad y calidad de la obra se definen en las etapas anteriores.

Los profesionales que realizan consultoría de estas fases, se les denomina proyectistas y en su mayoría corresponden a personas que tienen el perfil de académicos con mínimo conocimiento de la Administración de Contratos Públicos. Esta deficiencia se debe sobremanera a que en la mayoría de las titulaciones técnicas de las universidades peruanas no se imparten conocimientos de administración de contratos o de manejo de la normativa peruana de contratos de obras tanto públicas como privadas. Otro factor que explica esta deficiencia, es la resistencia al cambio en la organización, que se detecta desde los años 70`s en la mayoría de entidades y organismos de cara a la mejora en la producción. (Lines et. al., 2015).

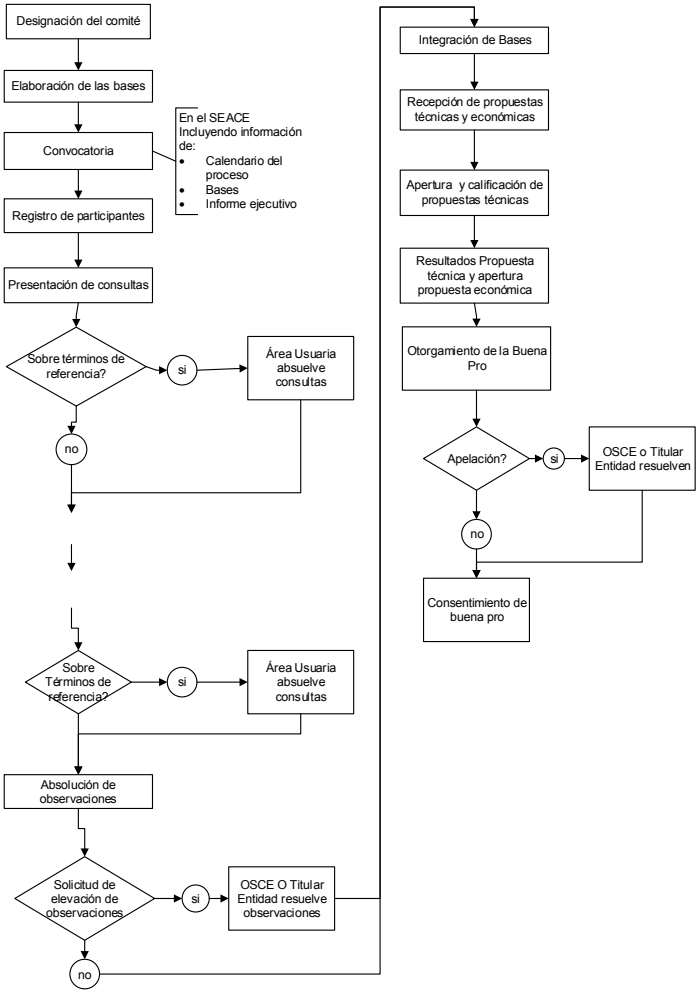
Estos cambios además son necesarios a nivel de proyectos individuales. La inversión de cada uno de estos proyectos condicionará la correcta gestión del mismo. Habría que considerar otros factores que afectan a la implantación de estas modificaciones en las organizaciones que son, además de la inversión, es decir, el tamaño del proyecto, el objetivo del mismo y su duración. (Loosemore, Dainty y Lingard, 2006).

Por otra parte, a la hora de admitir cambios en una organización también se consideran aspectos relativos a las propios individuos que desempeñan cada cargo, influyendo la jerarquía y el nivel de experiencia. (Yun et al., 2011)

De la experiencia propia en el sector público de los autores, se puede afirmar que los proyectistas, le restan importancia a esta reorganización del trabajo en las fases de redacción del proyecto tan fundamental del servicio que prestan, resultando, que terminan siendo penalizados con la máxima carga en el mejor de los casos, y en muchos, siendo resueltos sus contratos.

A continuación, se muestra todo el proceso que se debe seguir durante el proceso de selección, sea en la fase de pre inversión, inversión, o post inversión:

Figura N° 4: Flujograma de un Proceso de Selección



4. Metodología para la elaboración del Manual

La gestión de proyectos de infraestructura pública vial en Perú, que abarca desde la decisión de realizarlo hasta su materialización, se encuentra sujeto a un procedimiento formal de cumplimiento obligatorio establecido en diferentes dispositivos técnicos y legales, siendo los más relevantes la Ley General de Presupuesto y la Ley de Contrataciones del Estado. (Decreto Supremo N° 034-2008-MTC, 2008)

Estas legislaciones son muy claras en las etapas de ejecución y mantenimiento de obras, y no tanto en las fases de estudio de proyecto y redacción. Conocida estas fases en la nación peruana como Consultoría de Proyectos.

Partiendo de la experiencia de los autores en la administración de contratos de redacción de proyectos y ejecución de obras, se presenta una guía en la que se analizan los distintos puntos de las leyes mencionadas en las se menciona explícitamente la ejecución de obras, pero queda un vacío en cuanto a la fase de redacción del proyecto. Tras varios años de trabajo en Provías Nacional, se han detectado las deficiencias en los contratos de consultoría de Proyectos y se propone en este trabajo un Manual para la gestión de los mismos (Provías Nacional, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Gobierno de Perú)

5. Contenido de Manual

Por tratarse de una propuesta de manual, el contenido de cada capítulo se desarrolla en forma secuencial y poniendo énfasis en los procedimientos formales en los que cada acción cuenta con la referencia legal correspondiente, resaltando las pautas a seguir, si no hace referencia explícita al apartado de consultoría y comparando las pautas indicadas en cuestión de ejecución de obra.

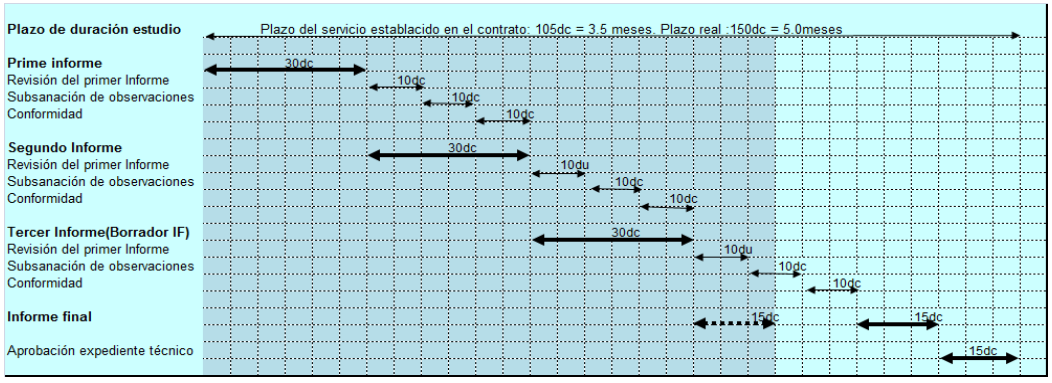
La estructura del manual conformaría los siguientes apartados, que se desarrollan a continuación:

- Generalidades
- Inicio del servicio
- Revisión de Informes
- Prestación Adicional
- Ampliación de plazo
- Solución de controversias
- Resolución del contrato

5.1. Generalidades

En primer lugar, el consultor ha de tener claro el plazo en el que podrá acreditar su trabajo. En la Figura Nº 5 se presenta un flujograma, con los plazos para cada actividad que se requiere durante la administración del contrato, asumiendo el caso de un servicio cuyo plazo es de 3.5 meses y la presentación de los informes de avances, sean en forma mensual:

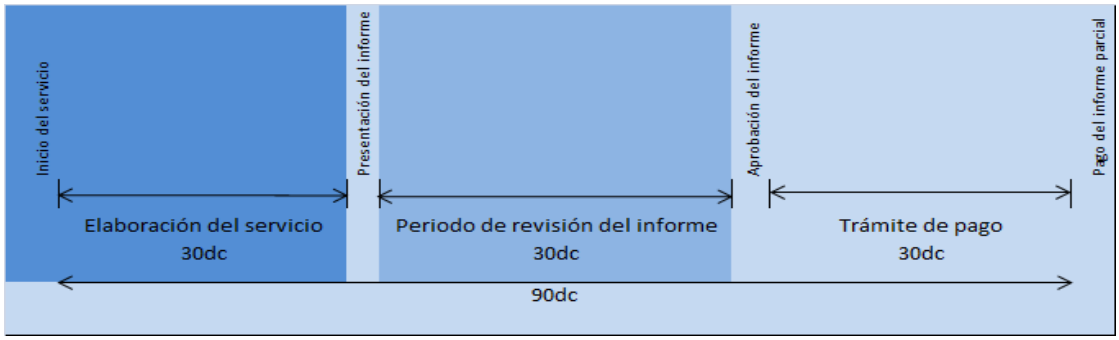
Figura N° 5: Estimación del plazo real de ejecución de un servicio



Es un error usual de los consultores no tomar en cuenta los periodos de revisión y subsanación e inclusive más ciclos de revisión-subsanación. En el gráfico N° 05 se muestra la diferencia en los plazos finales que se producen tomando en cuenta estos tiempos de revisión. Como se puede apreciar, únicamente para un ciclo de revisión-subsanación el plazo real supera en cerca de 50%.

Esta situación también debe ser tomada en cuenta por las entidades para efectos de ejecución presupuestal: las fechas de pago, deben considerarse al mes siguiente de la aprobación del servicio. Es decir en promedio, un consultor será retribuido por sus servicios, como mínimo, dos meses después de haber presentado su informe. Si sumamos a ello, el tiempo de realización del trabajo, el consultor recién cobraría luego de tres meses. El detalle se muestra en la Figura N° 6:

Figura N° 6: Plazos reales del proceso de una consultoría para efectos de pago.



En ese sentido, el Consultor deberá tener en cuenta que los servicios que realice en mérito a un contrato bajo la legislación peruana, recién serán retribuidos a partir del tercer mes.

5.2. Inicio del servicio

La Ley de Contrataciones (Decreto Legislativo N° 1017, 2008), a diferencia del caso de obras, no ha establecido el mecanismo de inicio del plazo del servicio. Cada administración regional, deberá por tanto fijar el inicio del plazo de servicio una vez adjudicado el contrato de consultoría.

Sin embargo para establecer el procedimiento del inicio del plazo del servicio, es necesario establecer algún criterio. En base a la experiencia del autor, se propone establecer en los términos de referencia o las bases, que el orden de prelación para establecer el inicio del plazo del servicio, sea la siguiente:

1. Adelanto directo,
2. Comunicación escrita de la entidad.

5.3. Revisión de Informes

Es práctica usual en las entidades peruanas que se controle el avance del servicio a través de los informes periódicos mensuales donde se reporta el avance de los estudios.En ese sentido, se recomienda que en este tipo de contratos, el avance del servicio se controle en base a informes parciales en un periodo de tiempo determinado y sujeto a penalidad por la eventual demora en su entrega. A manera de ejemplo se indica que en los proyectos del Ministerio de Transportes, ente rector de las carreteras, el equipo mínimo solicitado para la elaboración del servicio de pre inversión básico es el siguiente:

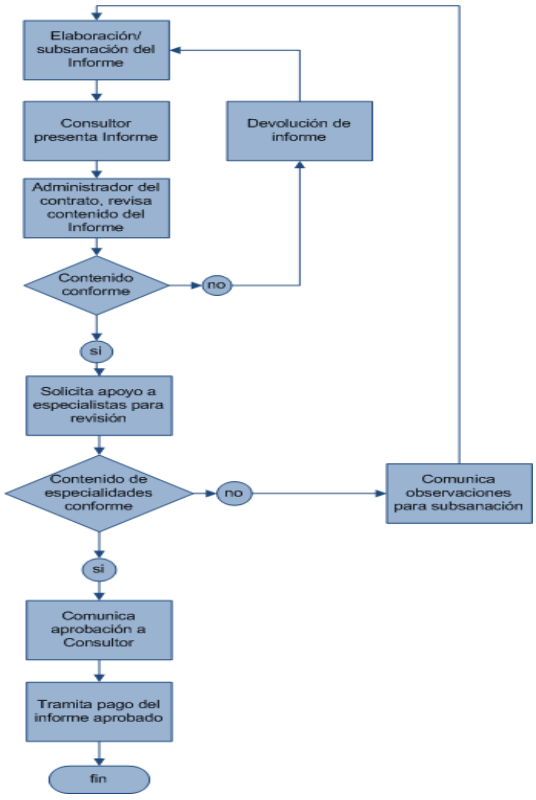
1. Jefe de Proyecto
2. Especialista en estudio de tráfico
3. Especialista en Hidrología y Drenaje
4. Especialista en Mediciones, Costes y Presupuestos
5. Especialista en Topografía, Trazo y Diseño Vial

6. Especialista en evaluación de impacto ambiental
7. Especialista en evaluación económica de proyectos viales
8. Especialista en suelos, canteras y pavimentos
9. Especialista en afectaciones prediales
10. Especialista en Estructura y obras de arte
11. Especialista en Geología y Geotecnia

Debe tenerse presente que cada informe de la especialidad respectiva que el consultor presente, debe estar suscrita por el especialista correspondiente. Asimismo es recomendable que cada informe de especialidad deba ser entregado por separado. De esta manera, se facilita la derivación a cada especialista de la entidad y de esta manera se agiliza la absolución de observaciones.

La Entidad también debe contar con un plazo para la revisión de los informes del consultor, razón por la cual, es esencial que el administrador de contrato, inmediatamente reciba el informe parcial respectivo, deba proceder a una revisión general, poniendo énfasis en el cumplimiento del contenido por cada entregable establecido en los términos de referencia. Si existieran omisiones, se procede con a la devolución con la notificación al consultor de que no se ha dado por recibido el estudio y por ende, el plazo de presentación del informe sigue vigente para el cómputo de las eventuales penalidades. A continuación se presenta el flujograma de la revisión de los informes:

Figura N°8 : Flujograma de revisión de informes



5.4. Prestación Adicional

En la legislación peruana, se define como prestación adicional, a todo servicio remunerado no contemplado en las condiciones iniciales del contrato y que es necesario e indispensable para poder cumplir las metas contractuales.

En mérito a ello, la ley peruana (Decreto Legislativo N° 1017, 2008) faculta a que la Entidad puede ordenar y pagar directamente la ejecución de prestaciones adicionales hasta por el veinticinco por ciento (25%) del monto original, siempre que sean indispensables para alcanzar la finalidad del contrato. Asimismo, puede reducirse hasta por el mismo porcentaje.

El costo de los adicionales se determina sobre la base de las especificaciones técnicas del bien o servicio y de las condiciones y precios pactados en el contrato; en defecto de estos se determina por acuerdo entre las partes.

Se debe tener en cuenta que toda prestación adicional se debe realizar posteriormente a su aprobación, de lo contrario podría darse el caso de que se realice el servicio y no se pueda realizar el cobro de la valorización correspondiente, solamente por haber sido muy diligente sin haber esperado a que sea realmente aprobado.

Se debe tener presente, que en el caso de consultorías, el costo de la prestación adicional corresponde a los costos directos del pago de los honorarios profesionales y todas las actividades de la propuesta económica que involucren el servicio adicional.

5.5. Ampliaciones de plazo

La Ley de Contrataciones (Decreto Legislativo N° 1017, 2008), establece que procede la ampliación del plazo únicamente en los siguientes casos:

1. Cuando se aprueba el adicional, siempre y cuando afecte el plazo.
2. Por atrasos o paralizaciones no imputables al contratista.
3. Por atrasos o paralizaciones en el cumplimiento de la prestación del contratista por culpa de la Entidad; y,
4. Por caso fortuito o fuerza mayor.

Como se desprende de la lectura del dispositivo legal aludido, las ampliaciones del plazo en el servicio de elaboración de los estudios de consultoría, se pueden originar, en general, por toda causa ajena a la voluntad del consultor que no le haya permitido cumplir con sus servicios dentro del programa de trabajo pre establecido y que afecten la fecha de término de sus servicios.

Se resalta el hecho que a diferencia de obras, la solicitud de la ampliación de plazo en proyectos de consultoría se puede realizar aunque haya vencido el plazo.

En forma similar al caso de prestaciones adicionales improcedentes, en caso que la entidad desestime la solicitud de ampliación de plazo, también puede notificarlo un funcionario de rango menor al que suscribió el contrato.

Se debe tener especial cuidado en que se cumplan los plazos establecidos para la solicitud. Del mismo modo, en caso que la Entidad no se pronuncie en el plazo reglamentario, le genera un derecho automático al consultor.

5.6. Solución de controversias.

Toda controversia, sea sobre ampliaciones de plazo, prestaciones adicionales, reducciones, resolución del contrato, etc, se resuelve a través de una conciliación o arbitraje de un árbitro único o un tribunal arbitral.

Existe una Ley específica que regula el arbitraje (Decreto Legislativo 1071, 2008), sus procedimientos, medidas cautelares y ejecución de los laudos arbitrales. Una decisión arbitral tiene la misma jerarquía de una sentencia judicial y es inapelable.

Los procedimientos de conciliación y/o arbitraje se pueden solicitar en cualquier momento anterior a la fecha de culminación del contrato.

Para nulidad, resolución, ampliación de plazo, recepción y conformidad de la prestación, valorizaciones o mediciones, liquidación del contrato y pago, se debe iniciar el respectivo procedimiento dentro del plazo de quince días hábiles de generado el hecho controversial. La parte que solicita la conciliación o el arbitraje debe ponerla en conocimiento del OSCE, salvo cuando se trate de un arbitraje administrado por dicho organismo o cuando éste designe a los árbitros.

5.7. Resolución de Contrato

Está permitido que cualquiera de las partes pueda resolver el contrato. En caso fortuito o de fuerza mayor se exime la responsabilidad de reconocer indemnizaciones para ambas partes.

Cuando las causales sean imputables a alguna de las partes, la parte que generó la causal, deberá resarcir los daños y perjuicios ocasionados.

La Ley (Decreto Legislativo N° 1017, 2008) generaliza las causales indicando que *"Cualquiera de las partes puede poner fin al contrato por un hecho sobreviniente a la suscripción del mismo, siempre que se encuentre previsto expresamente en el contrato con sujeción a la Ley"*.

Las causales establecidas por la Ley de Contrataciones(Decreto Legislativo N° 1017, 2008) peruana son las siguientes:

1. Incumpla injustificadamente obligaciones contractuales, legales o reglamentarias a su cargo, pese a haber sido requerido para ello.
2. Haya llegado a acumular el monto máximo de la penalidad por mora o el monto máximo para otras penalidades, en la ejecución de la prestación a su cargo; o
3. Paralice o reduzca injustificadamente la ejecución de la prestación, pese a haber sido requerido para corregir tal situación.
4. El contratista podrá solicitar la resolución del contrato, en los casos en que la Entidad incumpla injustificadamente sus obligaciones esenciales

Existe un procedimiento estrictamente formal para la resolución del contrato, que de no cumplirse acarrea la nulidad de la acción. El procedimiento es el siguiente:

Ante el incumplimiento de alguna de las partes, la otra parte, debe emplazar su cumplimiento otorgándole un plazo razonable para la subsanación. En caso que al vencimiento del plazo otorgado, no ha subsanado el incumplimiento, se resolverá el contrato a través de un documento notarial.

5.8. Culminación del servicio

Los contratos de servicios culminan con la conformidad de recepción de la última prestación pactada y el pago correspondiente.

El expediente de contratación se cerrará con la culminación del contrato.

En la legislación peruana, no se exige liquidar el contrato, sin embargo en las entidades públicas, ha sido adoptada la práctica común de realizar liquidaciones al estilo de la ejecución de obras.

En caso de que las entidades opten por realizar liquidaciones, se recomienda establecer en los términos de referencia el procedimiento formal a seguir y los plazos correspondientes, teniendo especial cuidado de que sean razonables.

6. Resultados y Conclusiones

La gestión de contratos, es esencial y transversal a todas las actividades de los proyectos viales. Este trabajo presenta una propuesta de manual para uso y consulta de todos los entes participantes en la gestión de Proyectos de Ingeniería Vial, especialmente en el proceso de preinversión e inversión, donde la legislación actual no profundiza lo suficiente y en algunas Administraciones, locales principalmente, se obvian ciertos aspectos de esta gestión inicial con consecuencias nefastas para el desarrollo final del Proyecto.

A la vista de lo analizado anteriormente, el establecimiento de un estudio detallado en las fases iniciales de la gestión de un proyecto, conlleva los siguientes logros:

- Reducción de controversias durante y después de la ejecución del servicio, conllevando a que se cumplan las metas programadas para contratista y contratante.
- Se obtiene un Estudio de Proyecto de Inversión correctamente elaborado que reduce sustancialmente la probabilidad de reformularse.
- Un Estudio de Proyecto de Inversión, que no requiere reformularse, genera ahorro en tiempo y por ende en costos a todos los actores participantes en el servicio
- En el mismo orden de ideas, un estudio definitivo, correctamente gestionado tiene menos probabilidad de contener errores de diseño
- Un proyecto con un correcto diseño, implica mejor cuantificación de sus costos, conllevando a una menor posibilidad de generar presupuestos adicionales de obra.

7. Referencias bibliográficas.

Isik, Z., Arditi, D., Dikmen, I., Birgonul, M.T. (2009). Impact of corporate strengths/weaknesses on project management competencies. *International Journal of Project Management,* Vol *27,* 629-637

Jui-Sheng Chou, J.S., Yang, J.G. (2013). Evolutionary optimization of model specification searches between project management knowledge and construction engineering performance. Expert Systems with Applications, Vol 40, 4414-4426

Lines, B.C., Sullivan, K.T., Smithwick, J. B., Mischungb, J. (2015) Overcoming resistance to change in engineering and construction: Change management factors for owner organizations. *International Journal of Project Management,* Vol 32, 1170-1179

Loosemore, M., Dainty, A. (2006) *Human Resource Management in Construction Projects*. (2ª Edición, 2012). USA y Canadá. Routledge

Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado. Acceso 2015. Disponible en : http://www2.seace.gob.pe/?_pageid_=20&_contenid_=ca.contentid

Perú. Decreto Legislativo N° 1017 del 28 de junio del 2008, Ley de Contrataciones del Estado.

Perú. Decreto Legislativo N° 1071 del 01 de setiembre del 20008, Ley General del Arbitraje

Perú. Decreto Supremo N° 034-2008-MTC, del 25 de octubre del 2008. Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura vial. Artículo 4, pp. 382165. Disponible en: http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/NORMAS%20DE%20GESTION%20DE%20INFRAESTRUCTURA%20VIAL/DS%20N°%20034-2008-MTC%20Reglamento%20Nacional%20de%20Gestión%20Infraestructura%20Vial.pdf

Perú. Ministerio de Economía y Finanzas. [Internet]. Cierre del presupuesto del sector público para el año 2013. [Obtenido el 17 de diciembre del 2015]. Disponible en: http://www.mef.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=3599%3Aestadistica-anual-cierre-del-presupuesto-del-sector-publico-ano-fiscal-2013&catid=216&Itemid=100292&lang=es

www.proviasdes.gob.pe, portal del Proyecto Especial de Transporte Descentralizado - Provías Descentralizado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

www.seace.gob.pe, Sistema Electrónico de Adquisiciones y Contrataciones del Estado.

Yun, G., Shin, D., Kim, H., Lee, S., 2011. Knowledge-mapping model for construction project organizations. *Journal of Knowledge Management,* Vol 15, 528-548

01-019

PROPOSAL OF A METHOD FOR THE SELECTION OF ENERGY SAVING PROJECTS PORTFOLIO IN HOSPITALS BASED ON AHP

Aragonés Beltrán, Pablo; Chaparro González, Fidel Vicente; Carrillo Gallego, Francisco Javier
Universitat Politècnica de València

Comfort conditions and activities that appears in hospitals are much stricter than those which are possible to find in other kind of buildings, involving higher quality standards and an intensive use of different facilities. From an economic point of view, saving energy measures that are proposed for hospitals can be divided in two big groups: those which pretend to renew traditional systems (heating installations, air conditioning systems, electric transformers, …) and those whose aim is to save energy and implant renewable energy systems (facilities automatic management, combined heat and power systems, variable frequency drivers, PV and thermal power, building's thermal envelope renewal, …). Many saving energy measures that are proposed require high economic investments and entail benefits and risk that hospitals managers must take into account in order to prioritize the measures with respect to multiple criteria. This report proposes the AHP (Analytic Hierarchy Process) as a useful tool for this managers in order to help them to take the decision in systematic and methodological way.

Keywords: *Saving energy measures; Project portfolio slection; AHP; Multicriteria decision analysis*

PROCESO DE SELECCIÓN DE CARTERA DE PROYECTOS DE AHORRO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS HOSPITALARIOS BASADO EN EL MÉTODO AHP

Las condiciones de confort y actividades que se realizan en los edificios de uso hospitalario son más exigentes que en otros edificios, requiriendo unos altísimos estándares de calidad, y un uso continuo de las instalaciones. Desde un punto de vista técnico, las medidas de ahorro energético (MAEs) que se proponen para los hospitales se pueden agrupar en dos grandes bloques: las orientadas a la mejora y renovación de las instalaciones del edificio (sustitución de enfriadoras, de luminarias,renovación de transformadores, …) y las orientadas a la mejora de la eficiencia energética e implantación de sistemas de energía renovable (automatización de la gestión delas instalaciones, trigeneración, instalación de variaciones de frecuencia, instalaciones solares, mejora de la envolvente térmica,…) Muchas de las MAEs que se proponen precisan fuertes inversiones y tienen beneficios y riesgos que hacen que los gerentes y responsables técnicos tengan que establecer una prioridad entre las MAEs, teniendo en cuenta múltiples criterios. Este trabajo se propone la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para ayudar a estos responsables a tomar una decisión de modo más sistemático y trazable.

Palabras clave: *Medidas de ahorro energético; Selección de cartera de proyectos; AHP; Análisis Multicriterio de decisiones*

Correspondencia: Pablo Aragonés Beltrán aragones@dpi.upv.es

1. Introducción

La Unión Europea, a través de la Directiva Europea 2012/27/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 (que modifica a las 2009/125/CE y 2010/30/UE) expresa su preocupación por la "*creciente dependencia de las importaciones energéticas y la escasez de recursos energéticos, así como la necesidad de limitar el cambio climático y superar la crisis económica*." Esta Directiva apuesta por la eficiencia energética como uno de los medios para mejorar el abastecimiento y reducir el consumo de energía primaria y las importaciones en la UE, y para contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las políticas de eficiencia energética deben ir centradas en aquellos sectores que hagan un uso intensivo de la energía para obtener de esta forma los mayores ahorros en los consumos energéticos y emisiones. En este sentido, el sector de los edificios supone actualmente el 40% del consumo de energía final de la Unión Europea (Unión Europea, 2010) y, junto con el sector del transporte, constituye el foco principal de actuación de las políticas de eficiencia energética.

La UE dispone actualmente de 24 millones de metros cuadrados edificados a lo largo de diferentes tipologías de edificios, y el 65% de dicha cantidad es aportado por los países más poblados de la UE, lo que supone un consumo total de 450 millones de TEP (Toneladas Equivalentes de Petróleo) anuales experimentando una evolución alcista del 0,6% anual. Aunque tan sólo un 25% del suelo edificado es destinado a un fin no residencial privado (comercios, hoteles, hospitales, escuelas u oficinas), éstos serán los que requieran en torno al 50% del total de inversiones en eficiencia energética en edificios, debido a que los edificios del sector servicios consumen una mayor cantidad de energía específica para fines de climatización e iluminación en comparación con los edificios residenciales (AIE, 2014).

Los hospitales europeos abarcan el 7% de la superficie total de edificios no residenciales y el 10% del consumo energético de este tipo edificios en la UE, por lo que la aplicación de medidas de eficiencia energética en los centros hospitalarios supondría un ahorro energético y económico significativo dentro del conjunto de edificios del sector servicios. Además, esta tipología de centros presenta una serie de características propias que los hacen idóneos para la aplicación de proyectos de ahorro energético: son consumidores de grandes cantidades de distintos tipos de energía (electricidad, combustibles fósiles, agua), sus consumos son relativamente estables en el tiempo pues presentan unos niveles de ocupación muy altos y están operativos todas las horas del día durante los 365 días del año, en ellos existen instalaciones centralizadas de climatización y además sus consumos siguen una tendencia alcista debido, principalmente, a que los servicios y confort demandados son cada vez mayores y a que el uso de equipos de electro-medicina va en aumento (Carrillo, 2014).

Los proyectos de eficiencia energética en grandes edificios han tenido un gran impulso en España a lo largo de la última década, motivados por una parte por la obligatoriedad de cumplimiento el CTE (Código Técnico de la Edificación) y del RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios), que emanan de los documentos legislativos correspondientes como la Orden Ministerial FOM/1635/2013 (España, 2013), el Real Decreto 235/2013 (España, 2013) o el Real Decreto 238/2013 (España,2013), y los cuales imponen nuevos requisitos de eficiencia energética y de uso de energías renovables en edificios, así como la obligatoriedad de emitir un certificado que califique energéticamente cada edificio.

Los hospitales españoles consumieron en el año 2013 y de forma agregada más de 17 millones de kWh de energía eléctrica y alrededor de 500 mil toneladas equivalentes de

petróleo de energía térmica, lo que supone el 20% del consumo energético de los edificios del sector servicios nacional (IDAE, 2013). Por esta razón, las medidas de ahorro energético en hospitales pueden resultar eficaces y reducir un gasto que se podría reinvertir en la mejora de la calidad de la asistencia sanitaria, aportando beneficios sociales, económicos y medioambientales.

2. Objetivo

Aunque los proyectos de ahorro y eficiencia energética en grandes edificios como centros hospitalarios presentan un carácter novedoso en nuestro país, no lo son tanto en otros países del entorno europeo como Inglaterra, Suecia o Alemania, donde se vienen implementando desde hace ya más de dos décadas con resultados positivos. No obstante, los métodos y criterios empleados para la selección de los proyectos respondían originalmente de manera casi única a aspectos económicos (CADDET, 1997). De hecho, los modelos de decisión utilizados para la selección de los proyectos de eficiencia y rehabilitación energética en edificios, cuando estos comenzaron a cobrar protagonismo, eran bastante sencillos y no utilizaban métodos de decisión multicriterio para su resolución.

Para que los proyectos de eficiencia energética ofrezcan todo su potencial estos deben ser implantados de manera programada y organizada bajo la línea de actuación de un plan director que permita la obtención de los beneficios originalmente buscados y garantice su viabilidad financiera, pues la aplicación de este tipo de proyectos a complejos hospitalarios obliga a tener en cuenta una gran variedad de factores y comprometen un gran volumen de inversión económica.

La selección de los proyectos a implantar y el orden en el que estos deben ser ejecutados, constituye un problema de decisión complejo para los Gerentes y responsables técnicos de los centros hospitalarios, siendo por ello necesario el diseño de una herramienta rigurosa de ayuda a la decisión que permita a dichos decisores establecer una prioridad en la cartera de proyectos y que además sea capaz de contemplar aspectos más allá de los puramente económicos.

El presente trabajo tiene como principal objetivo "*el diseño de un método de ayuda a la decisión que permita a la Gerencia de un centro hospitalario establecer una prioridad entre los diferentes proyectos de ahorro energético que puedan ser propuestos para su ejecución en el edificio y con horizonte temporal determinado*".

Para alcanzar tal objetivo se propone un análisis de los riesgos, costes, beneficios y oportunidades inherentes a cada uno de los proyectos, no sólo desde un punto de vista económico o técnico, sino también teniendo en cuenta otro tipo de factores que afectan muy directamente a su viabilidad. De esta forma, el método de ayuda a la decisión se convierte en una herramienta multicriterio que tiene en cuenta numerosos aspectos relativos al grupo de Medidas de Ahorro Energético (MAEs) que constituyen el conjunto de elección.

Para el desarrollo del método de decisión, objetivo de este trabajo, y su posterior aplicación a un centro hospitalario que constituya el caso de estudio, se hace uso de una de las técnicas de análisis multicriterio más conocidas actualmente, el Proceso Analítico Jerárquico según sus siglas en inglés AHP(Analytic Hierarchy Process) según sus siglas en inglés (Saaty, 1980). Dicha técnica presenta unos sólidos fundamentos teóricos corroborados con la experiencia práctica derivada de numerosos casos de estudio (Saaty, 2005, cap. 9), por lo que la utilización del método de decisión buscado dota a los responsables de la decisión de una herramienta rigurosa que les ayudaría a seleccionar las MAEs que deberían ser implantadas teniendo en cuenta múltiples criterios así como justificar sus decisiones ante los superiores jerárquicos y la Sociedad en general.

El método de decisión elaborado ofrece, tras su aplicación al caso de estudio, una lista de MAEs ordenadas en función de la prioridad con la que deberían ser implantadas, siendo las más idóneas aquellas que supongan mayores beneficios y oportunidades, y comprometan menores costes y riesgos.

La solución al problema que se aborda en el presente trabajo supone una herramienta útil para la toma de decisiones sobre la priorización de la implantación de proyectos de ahorro energético en centros hospitalarios, mientras que la búsqueda de dicha solución constituye una oportunidad para la investigación en la aplicación de los Métodos de Decisión Multicriterio a problemas de decisión reales y complejos, y más concretamente a problemas de decisión relativos a proyectos de eficiencia energética en grandes edificaciones.

3. Metodología aplicada al caso de estudio

3.1. Breve descripción del método AHP

El AHP es un conocido método de toma de decisiones multicriterio, propuesto por Th Saaty en 1980 (Saaty, 1980). Según su autor, el método constituye una teoría de la medida relativa de criterios intangibles para el análisis de decisiones. Se basa en la descomposición del problema de decisión en varios niveles de tal modo que se establece una jerarquía con relaciones unidireccionales entre cada uno de los niveles. El nivel más alto de la jerarquía está formado por el objetivo del problema. En el siguiente nivel se sitúan los criterios, tangibles e intangibles, y subcriterios, en base a los cuales se valorarán las alternativas, las cuales forman el nivel más bajo de la jerarquía. AHP utiliza comparaciones pareadas para asignar pesos a los elementos de cada nivel, midiendo su importancia relativa mediante la escala 1-9 de Saaty y finalmente calcula la prioridad global correspondiente a los elementos del último nivel que son las alternativas del proceso de decisión (Saaty,2008). El método también calcula un ratio de consistencia asociado a cada matriz de comparaciones pareadas para verificar la coherencia del DM. AHP está reconocido actualmente como una de las técnicas de ayuda a la toma de decisiones multicriterio discretas más utilizadas (Wallenius et al. 2008)

3.2. Definición del problema

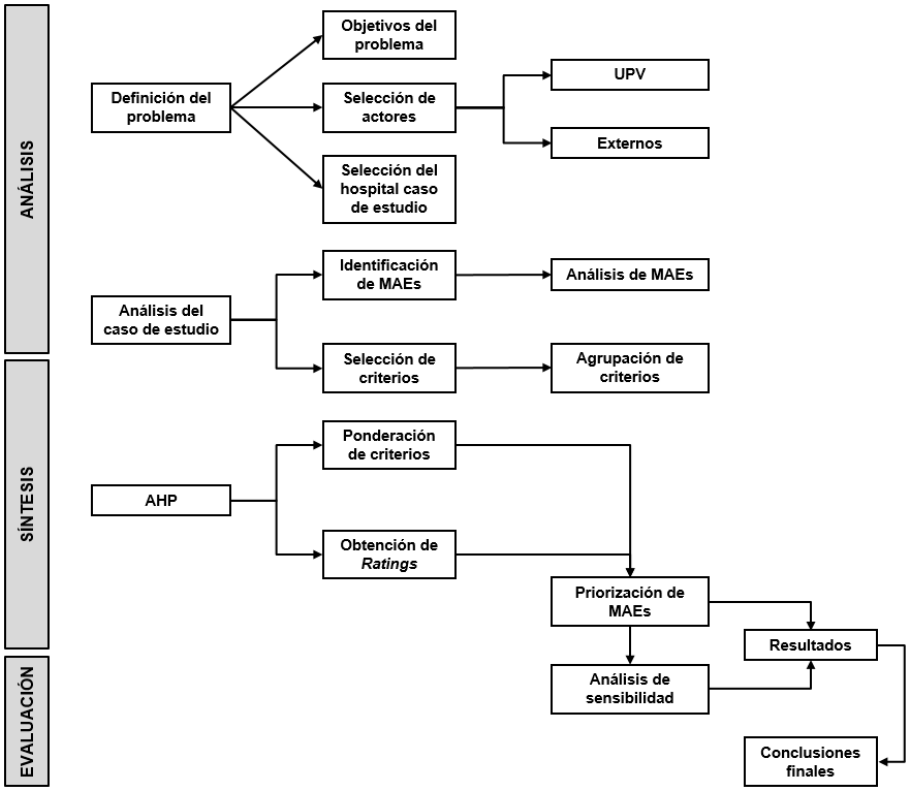
La subjetividad es inherente a cualquier proceso de toma de decisiones (Belton y Stewart, 2002), (Saaty y Peniwati, 2008), por ello es esencial identificar a la persona o grupo de personas responsables de la decisión. En este trabajo el proceso se desarrolla con la ayuda del grupo de analistas, miembros de la Universitat Politècnica de València (UPV), autores de este trabajo, que actuarán como facilitadores del proceso y el grupo de decisores, formado por miembros del Instituto de Ingeniería Energética de la UPV y también por el Director Técnico de un complejo hospitalario con gran experiencia en el desarrollo e implantación de proyectos de ahorro energético en hospitales.

Para este trabajo y por razones de confidencialidad, no se especifica el hospital que se ha tomado como referencia, pero sí se exponen las medidas de ahorro energético que estaban en cartera en el momento de realizar el análisis. El hospital seleccionado se sitúa en una de las Comunidades Autónomas del corredor mediterráneo y está integrado en la red de hospitales de la Seguridad Social. Dicho hospital tiene más de veinte años de vida y supone un gran potencial de ahorro energético y, por tanto, de implantación de MAEs. Está constituido por varios edificios comunicados, con una superficie de más de 30.000 metros cuadrados, y que cubre la asistencia sanitaria de unos 200.000 habitantes. Además cuenta con una dotación de cerca de 300 camas y, dado el carácter general de los servicios que presta, cuenta con un gran número de equipos de electro-medicina como unidades de TAC (Tomografía Axial Computarizada), mamógrafos, ecógrafos, etc.

3.3. Proceso de decisión

El proceso de toma de decisiones ha seguido las etapas del método AHP, adaptado al caso de estudio, que se muestran en la Figura 1.

Figura 1. Proceso de decisión



3.4. Identificación y análisis de alternativas

El grupo de alternativas que componen el conjunto de elección está constituido por las diferentes MAEs que son susceptibles de ser implantadas en el hospital que constituye el caso de estudio. A continuación se describen brevemente cada una de las MAEs:

- MAE 1-Sustitución de las enfriadoras actuales por enfriadoras condensadas por agua de alta eficiencia con tecnología *inverter*.
- MAE 2-Sustituución de las calderas de gasóleo por calderas de gas natural con quemador modulante y recuperadores de calor de humos.
- MAE 3-Sustitución de la tecnología de iluminación interior actual, basada principalmente en lámparas de fluorescencia y halógenas, por iluminación de tecnología LED.
- MAE 4-Sustitución de la tecnología de iluminación exterior actual, basada ésta lámparas de fluorescencia, vapor de sodio y halogenuros metálicos, por tecnología moderna de inducción magnética y LED.
- MAE 5-Sustitución del grupo de transformadores actuales por transformadores de alta eficiencia.
- MAE 6-Instalación de variadores de frecuencia en elementos del circuito secundario de climatización.
- MAE 7-Instalaciones de láminas anti-solares en las ventanas y otro tipo de huecos del edificio.

- MAE 8-Instalación de variadores de frecuencia y sonda de calidad de aire en las Unidades de Tratamiento de Aire.
- MAE 9-Instalación de una central de trigeneración en autoconsumo.
- MAE 10-Instalación de paneles solares fotovoltaicos para autoconsumo.
- MAE 11- Instalación solar térmica para la producción de ACS (Agua Caliente Sanitaria).

3.5. Selección, agrupación y ponderación de criterios

Tras las dos primeras reuniones con el equipo decisor se consideró seguir un enfoque basado en criterios de *Riesgos, Costes, Beneficios y Oportunidades*, los cuales deben ser comparados en una matriz de comparación pareada y ponderados para la obtención de sus pesos en el modelo de decisión. Estos cuatro grupos principales pueden ser considerados como los criterios del primer nivel jerárquico del modelo.

El siguiente paso fue realizar agrupaciones de segundo nivel y tercer nivel dentro de cada grupo principal. A continuación se describen los criterios que se utilizaron para la posterior evaluación de las alternativas.

3.5.1. Criterios del grupo Riesgos

C1.1 Económicos

C1.1.1 Precio del dinero. Riesgo de que se produzca una subida en los tipos de interés afectando por tanto a la rentabilidad de la inversión y al periodo de retorno de la misma

C1.1.2 IPC. Influencia de la tasa de influencia en el retorno de la inversión. Pretende evaluar el riesgo de que un aumento en la tasa de inflación general disminuya la rentabilidad de la inversión.

C1.1.3 Precio de la energía. Riesgo de que se produzcan reducciones significativas en el precio de la energía o combustible que consumen las instalaciones que conforman la MAE.

C1.2 Energéticos

C1.2.1 Demanda energética. Riesgo de que se produzca una disminución del consumo energético, ya sea por la disminución de la asistencia médica, por el cambio en las especialidades médicas, por el aumento de la eficiencia de los equipos de electro-medicina.

C1.3 Legales

C1.3.1 Legislación de apoyo a las energías renovables. Se pretende evaluar el riesgo de que se produzca una reducción del apoyo a las energías renovables que afecte a la política de primas o a su marco regulatorio, ya sea a nivel nacional o europeo.

C1.3.2 Legislación de apoyo a la eficiencia energética. Evaluación del riesgo de que se produzca una reducción significativa en la legislación y marco regulatorio de las políticas de apoyo a la eficiencia energética, ya sea a nivel nacional o europeo.

C1.3.3 Legislación medioambiental. Riesgo de que se produzca una reducción de las políticas de conservación medioambiental, ya sea a nivel nacional o europeo.

C1.4 Tecnológicos

C1.4.1 Dificultad de implementación de la MAE. Pretende evaluar el grado de dificultad para implementar la MAE, ya sea por la complejidad de la ejecución, porque conlleve la suspensión de algún servicio médico, etc.

C1.4.2. Evaluación prematura de la tecnología. Riesgo de que la tecnología se desarrolle más rápidamente de lo esperado y aparezcan nuevos equipos con un mayor rendimiento energético, dejando obsoletas las instalaciones que constituyen la MAE.

C1.4.3 Fiabilidad de las instalaciones. Pretende evaluar la fiabilidad de las instalaciones que constituyen la MAE en función de la frecuencia de averías y su consiguiente interrupción del servicio.

3.5.2. Criterios del grupo Costes

C2.1 Costes de inversión. Referido a los costes de diseño, ejecución y financiación necesarios para la implantación de MAE.

C2.2 Costes de operación y mano de obra. Costes derivados del funcionamiento de las instalaciones y de la mano de obra que las operan.

C2.3. Costes de mantenimiento. Costes derivados del correcto mantenimiento de las instalaciones que constituyen la MAE.

3.5.3. Criterios del grupo de Beneficios

C3.1 Medioambientales

C3.1.1 Reducción de las emisiones contaminantes. Grado de reducción de las emisiones de CO2 y otras emisiones gaseosas potencialmente peligrosas para el medioambiente, derivado de la implantación de la MAE.

C3.1.2 Reducción de residuos. Grado de reducción de los residuos sólidos o líquidos, derivado de la implantación de la MAE.

C3.2 Rentabilidad económica

C3.2.1 TIR. Evalúa la idoneidad de la Tasa Interna de Retorno de la MAE a implantar.

C3.2.2 Payback. Idoneidad del valor del Payback (tiempo de retorno de la inversión).

C3.2.3 VAN. Idoneidad del Valor Actual Neto derivado de la implantación de la MAE.

3.5.4. Criterios del grupo de Oportunidades

C4.1 Existencia de subvenciones para la implantación de la MAE.

C4.2 Grado de experiencia y conocimiento. Grado de conocimiento de la tecnología de la MAE así como experiencia previa en el uso de dichas tecnologías por parte del personal del hospital encargado de su operación y mantenimiento.

C4.3 Reducción del consumo energético. Potencial directo de reducción del consumo energético por parte del hospital que aporta la implantación de la MAE, en función del tipo de energía y cantidad consumida de la misma.

C4.4 Sinergia con otras instalaciones o MAEs. Pretende evaluar el grado de sinergias positivas que podrían surgir con otras instalaciones gracias a la implementación de la MAE.

3.6. Resultados de la ponderación

En la Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, se presentan los resultados de la ponderación de los diferentes criterios que participan en el modelo de decisión, siendo el peso global de

cada uno de ellos el que determina el grado de influencia del criterio sobre el *goal*, es decir, sobre la priorización de las MAEs.

Tabla 1. Ponderación de criterios del grupo de Riesgos.

	Criterio	Código	Peso Local	Peso local del SUBGRUPO	Peso GRUPO	PESO GLOBAL
ECONÓMICOS	Precio del dinero	C1.1.1	18,3 %	28,8 %	51,3 %	2,7 %
	IPC	C1.1.2	7,5 %			1,1 %
	Precio de la energía	C1.1.3	74,2 %			10,9 %
ENERGÉTICOS	Demanda energética	C1.2.1	100 %	6,4 %		3,3 %
LEGALES	Legislación energías renovables	C1.3.1	20 %	54,8 %		5,2 %
	Legislación eficiencia energética	C1.3.2	68,3 %			17,7 %
	Legislación medioambiental	C1.3.3	11,7 %			3 %
TECNOLÓGICO	Dificultad de implementación	C1.4.1	20 %	14,3 %		1,5 %
	Evolución prematura de la tecnología	C1.4.2	11,7 %			0,9 %
	Fiabilidad de las instalaciones	C1.4.3	68,3 %			5 %

Tabla 2. Ponderación de criterios del grupo de Costes.

Criterio	Código	Peso Local	Peso GRUPO	PESO GLOBAL
Costes de inversión	C2.1	68,3 %	25,3 %	**17,3 %**
Costes de operación y mano de obra	C2.2	11,7 %		**3%**
Costes de mantenimiento	C2.3	20 %		**5,1 %**

Tabla 3. Ponderación de criterios del grupo Beneficios.

	Criterio	Código	Peso Local	Peso de cada subgrupo	Peso GRUPO	PESO GLOBAL
MEDIOAMBIENTALE	Reducción de las emisiones contaminantes	C3.1.1	75 %	12,5 %		**1,7 %**
	Reducción de residuos	C3.1.2	25 %			**0,6 %**
RENTABILIDAD	TIR	C3.2.1	25,8 %	87,5 %	17,9 %	**4,1 %**
	Payback	C3.2.2	63,7 %			**10 %**
	VAN	C3.2.3	10,5 %			**1,6 %**

Tabla 4. Ponderación de criterios del grupo de Oportunidades.

Criterio	Código	Peso Local	Peso GRUPO	PESO GLOBAL
Existencia de subvenciones	C4.1	20,1 %	5,4 %	**1,1 %**
Grado de experiencia y conocimiento	C4.2	10,3 %		**0,6 %**
Reducción del consumo energético	C4.3	63 %		**3,4 %**
Sinergias con otras instalaciones	C4.4	6,6 %		**0,4 %**

3.7. Valoración de las MAEs

En este trabajo el número de alternativas que se presenta es bastante numeroso (mayor de 7). En este caso Saaty sugiere la valoración de las alternativas mediante el uso de *Ratings*. Los ratings se utilizan para valorar cada una de las alternativas, independientemente del resto, en función de unas categorías definidas previamente para cada criterio y a las cuales se les debe de asignar una intensidad de preferencia. (por ejemplo: excelente, bueno, medio, malo y muy malo).

Las categorías se valoran mediante una matriz de comparación para obtener las prioridades de las mismas. Se usa el modo ideal. La idealización de las prioridades de las categorías

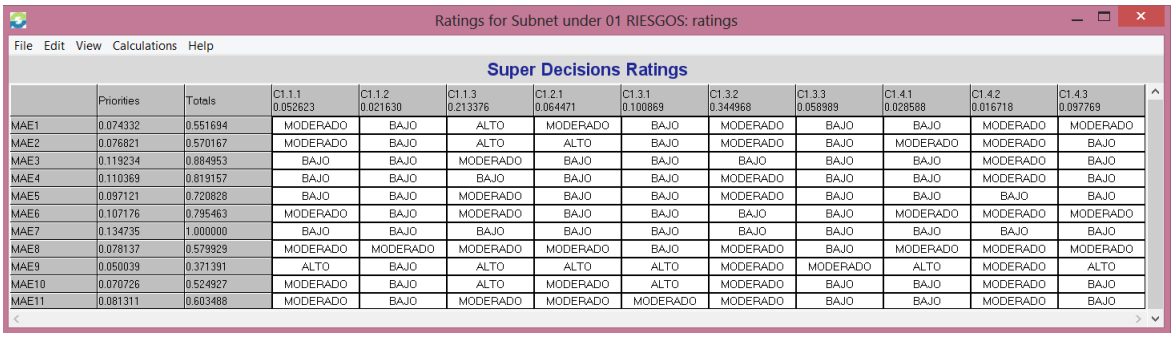
consiste en asignar el valor 1 a la categoría que mayor peso distributivo haya obtenido, y los valores proporcionales en tanto por uno al resto de categorías.

En este caso de estudio, se han diseñado tres categorías que servirán para la valoración de todas las alternativas con respecto a cada criterio:

- Nivel ALTO: La MAE satisface el criterio con el máximo nivel.
- Nivel MODERADO: La MAE satisface el criterio con un nivel medio.
- Nivel BAJO: La MAE satisface mínimamente el criterio.

Para la realización de los cálculos se ha utilizado el software *Super Decisions*. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Figura 2. Valoración de alternativas con respecto a criterios del grupo de Riesgos.

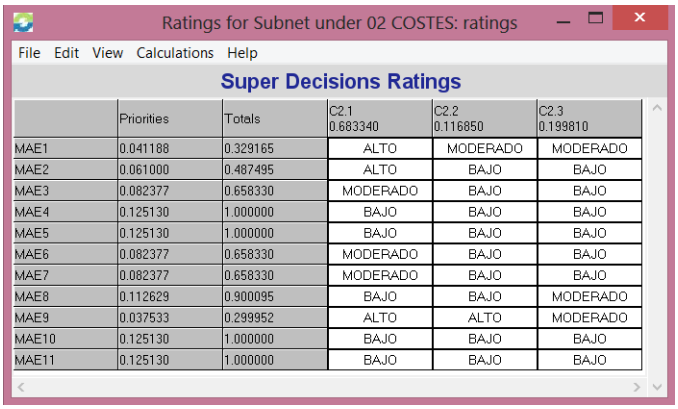

Ratings for Subnet under 01 RIESGOS: ratings

File Edit View Calculations Help

Super Decisions Ratings

	Priorities	Totals	C1.1.1 0.052623	C1.1.2 0.021630	C1.1.3 0.213376	C1.2.1 0.064471	C1.3.1 0.100869	C1.3.2 0.344968	C1.3.3 0.058989	C1.4.1 0.028588	C1.4.2 0.016718	C1.4.3 0.097769
MAE1	0.074332	0.551694	MODERADO	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO
MAE2	0.076821	0.570167	MODERADO	BAJO	ALTO	ALTO	BAJO	MODERADO	BAJO	MODERADO	MODERADO	BAJO
MAE3	0.119234	0.884953	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE4	0.110369	0.819157	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE5	0.097121	0.720828	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
MAE6	0.107176	0.795463	MODERADO	BAJO	MODERADO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO
MAE7	0.134735	1.000000	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
MAE8	0.078137	0.579929	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	BAJO	MODERADO	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO
MAE9	0.050039	0.371391	ALTO	BAJO	ALTO	ALTO	ALTO	MODERADO	MODERADO	ALTO	MODERADO	ALTO
MAE10	0.070726	0.524927	MODERADO	BAJO	ALTO	MODERADO	ALTO	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE11	0.081311	0.603488	MODERADO	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO

Figura 3. Valoración de alternativas con respecto a criterios del grupo de Costes.

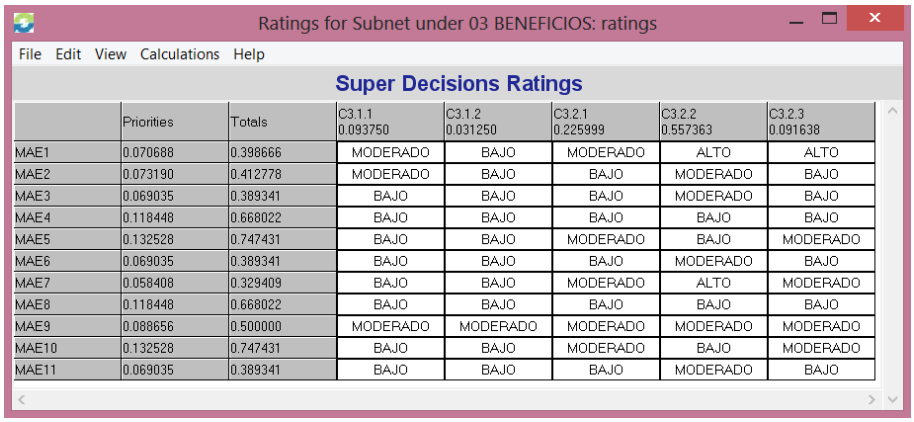

Ratings for Subnet under 02 COSTES: ratings

File Edit View Calculations Help

Super Decisions Ratings

	Priorities	Totals	C2.1 0.683340	C2.2 0.116850	C2.3 0.199810
MAE1	0.041188	0.329165	ALTO	MODERADO	MODERADO
MAE2	0.061000	0.487495	ALTO	BAJO	BAJO
MAE3	0.082377	0.658330	MODERADO	BAJO	BAJO
MAE4	0.125130	1.000000	BAJO	BAJO	BAJO
MAE5	0.125130	1.000000	BAJO	BAJO	BAJO
MAE6	0.082377	0.658330	MODERADO	BAJO	BAJO
MAE7	0.082377	0.658330	MODERADO	BAJO	BAJO
MAE8	0.112629	0.900095	BAJO	BAJO	MODERADO
MAE9	0.037533	0.299952	ALTO	ALTO	MODERADO
MAE10	0.125130	1.000000	BAJO	BAJO	BAJO
MAE11	0.125130	1.000000	BAJO	BAJO	BAJO

Figura 4. Valoración de alternativas con respecto a criterios del grupo de Beneficios.

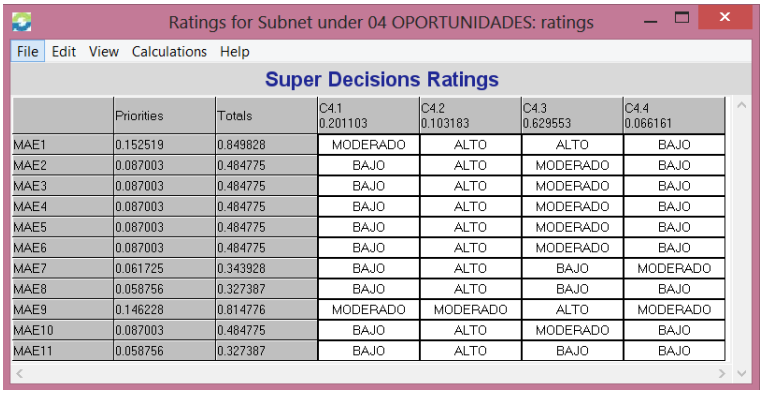

Ratings for Subnet under 03 BENEFICIOS: ratings

File Edit View Calculations Help

Super Decisions Ratings

	Priorities	Totals	C3.1.1 0.093750	C3.1.2 0.031250	C3.2.1 0.225999	C3.2.2 0.557363	C3.2.3 0.091638
MAE1	0.070688	0.398666	MODERADO	BAJO	MODERADO	ALTO	ALTO
MAE2	0.073190	0.412778	MODERADO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE3	0.069035	0.389341	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE4	0.118448	0.668022	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
MAE5	0.132528	0.747431	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	MODERADO
MAE6	0.069035	0.389341	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO
MAE7	0.058408	0.329409	BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MODERADO
MAE8	0.118448	0.668022	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
MAE9	0.088656	0.500000	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO
MAE10	0.132528	0.747431	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	MODERADO
MAE11	0.069035	0.389341	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO

Figura 5. Valoración de alternativas con respecto al grupo de Oportunidades.



	Priorities	Totals	C4.1 0.201103	C4.2 0.103183	C4.3 0.629553	C4.4 0.066161
MAE1	0.152519	0.849828	MODERADO	ALTO	ALTO	BAJO
MAE2	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE3	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE4	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE5	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE6	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE7	0.061725	0.343928	BAJO	ALTO	BAJO	MODERADO
MAE8	0.058756	0.327387	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO
MAE9	0.146228	0.814776	MODERADO	MODERADO	ALTO	MODERADO
MAE10	0.087003	0.484775	BAJO	ALTO	MODERADO	BAJO
MAE11	0.058756	0.327387	BAJO	ALTO	BAJO	BAJO

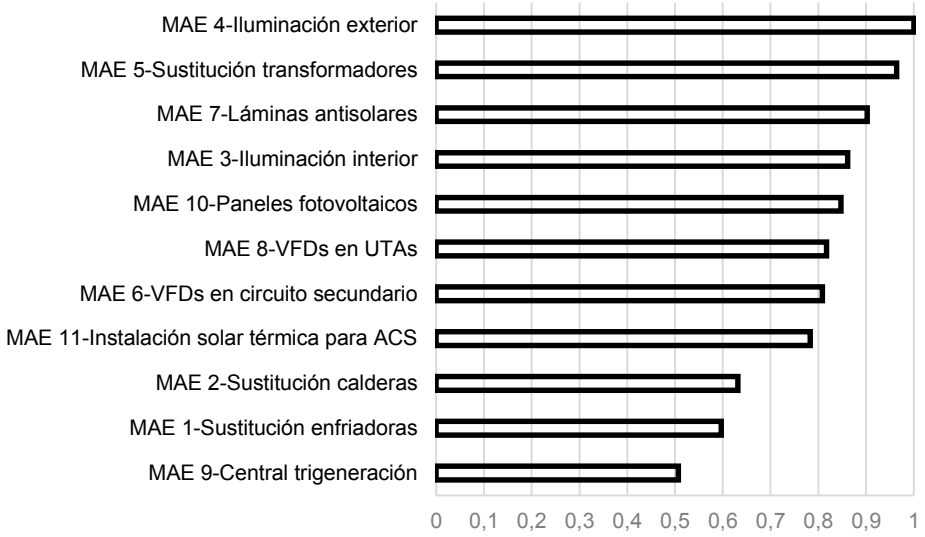
3.8. Resultados finales

Las prioridades de las alternativas con respecto a cada grupo principal de criterios (RCBO) así como con respecto a la priorización global se muestran en la siguiente tabla de forma idealizada, significando esto último que aquella alternativa que recibe una prioridad por valor de *1* es la más idónea.

Tabla 6. Prioridades idealizadas de las MAEs.

	Subred de RIESGOS	Subred de COSTES	Subred de BENEFICIOS	Subred de OPORTUNIDADES	GLOBAL
MAE 1-Sustitución enfriadoras	0,551694	0,329165	0,533381	1	**0,597129**
MAE 2-Sustitución calderas	0,570167	0,487495	0,552262	0,57044	**0,631375**
MAE 3-Iluminación interior	0,884953	0,65833	0,520905	0,57044	**0,861538**
MAE 4-Iluminación exterior	0,819157	1	0,893757	0,57044	**1**
MAE 5-Sustitución transformadores	0,720829	1	1	0,57044	**0,963764**
MAE 6-VFDs en circuito secundario	0,795463	0,65833	0,520905	0,57044	**0,80847**
MAE 7-Láminas antisolares	1	0,65833	0,440722	0,404703	**0,902693**
MAE 8-VFDs en UTAs	0,579929	0,900095	0,893757	0,38524	**0,817261**
MAE 9-Central trigeneración	0,371391	0,299952	0,668958	0,958755	**0,507235**
MAE 10-Paneles fotovoltaicos	0,524927	1	1	0,57044	**0,847594**
MAE 11-Instalación solar térmica para ACS	0,603488	1	0,520905	0,38524	**0,783014**

Figura 6. Prioridades ideales globales de las MAEs.



4. Conclusiones y desarrollos futuros

Mediante este trabajo se ha desarrollado una herramienta metodológica, basada en AHP, para priorizar las Medidas de Ahorro Energético propuestas para su implantación en grandes centros hospitalarios, constituyendo cada una de ellas un proyecto de ahorro y eficiencia energética que pretende ser ejecutado por la Gerencia del centro con un horizonte temporal determinado.

En el caso de estudio se observa que, según los expertos consultados, hay un grupo de cuatro criterios que son los que más peso tienen en relación con el resto y juntos suman casi el 47% de la importancia y que son: el riesgo de cambios en la legislación de eficiencia energética (C1.3.2), los costes de inversión (C2.1), el precio de la energía (C1.1.3) y el payback (C3.2.2). Respecto a las MAEs cabe concluir que se deberían implantar de modo prioritario la renovación del alumbrado exterior e interior, la sustitución de transformadores y la colocación de láminas antisolares en cerramientos acristalados.

Aunque la aplicación del método AHP no constituye una novedad científica, su aplicación en el campo de la gestión hospitalaria sí es una novedad. El análisis de los criterios de decisión y la propuesta de valoración de las alternativas puede suponer una ayuda eficaz, rigurosa y trazable para que los gerentes y responsables de las instalaciones técnicas de los hospitales puedan realizar un plan director de implantación de Medidas de Ahorro Energético.

Muchas medidas de este tipo no se implantan por la incertidumbre que tiene su viabilidad, tanto económica como técnica y por los riesgos que lleva su implantación. Este trabajo es una primera aproximación al problema. Durante su realización se ha comprobado que se puede mejorar el modelo teniendo en cuenta las interacciones e influencias cruzadas entre los elementos del sistema (criterios y alternativas). Por tanto queda mucho desarrollo futuro en esta investigación.

5. Referencias

Agencia Internacional de la Energía (2014). *World Energy Investment Outlook 2014-Special Report.* Informe diseñado y dirigido por Fatih Birol, economista jefe de la Agencia Internacional de la Energía.

Belton, V., & Stewart, T. J. (2002). Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach (p. 372). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

CADDET(1997). *Saving energy with Energy Efficiency in Hospitals*. Folleto.

Carrillo, F. J. (2014). *Diseño de un método de evaluación y selección de cartera de proyectos de ahorro energético en complejos hospitalarios basado en la técnica AHP.* Proyecto Fin de Carrera dirigido por los doctores Pablo Aragonés Beltrán y Fidel Chaparro González. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

España. Orden Ministerial FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico en la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. *Boletín Oficial del Estado*, 12 de septiembre de 2013, núm. 219, pp. 67137-67206.

España. Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. *Boletín Oficial del Estado*, 13 de abril de 2013, núm. 89, pp. 27548-27562.

España. Real Decreto 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por el Real Decreto 1027/3007, de 20 de julio. *Boletín Oficial del Estado*, 13 de abril de 2013, núm. 89, pp. 27563-27593.

IDAE (2013). Informe anual de consumos energéticos. Año 2013. Consumo de Energía Final: Sector Servicios. Obtenido el 18 de abril de 2015 desde http://www.idae.es/index.php/idpag.802/relcategoria.1368/relmenu.363/mod.pags/mem.detalle.

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process (p. 287). McGraw-Hill.

Saaty, T. L. (2005). The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. En J. Figueira, S. Greco & M. Ehrgott (Eds), *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys* (pp. 345-405). New-York: Springer.

Saaty, T. L. (2006). Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. *European Journal of Operational Research*, *168*(2), 557–570.

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, 1(1), 83.

Saaty, T. L., & Peniwati, K. (2008). Group Decision Making: Drawing out an Reconciling Differences.

Unión Europea. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 18 de junio de 2010, núm. 153, pp. 13-35.

Unión Europea. Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 14 de noviembre de 2012, núm. 315, pp. 1-56.

01-020

COMPLEXITY IN ENGINEERING PROJECTS. AN APPROACH TO THE SOCIAL DIMENSION FROM A CASE STUDY

Moreno Escobar, Begoña; Martínez Montes, Germán; Alegre Bayo, Francisco Javier
Universidad De Granada

Advanced engineering project management is essential especially in those projects that can be considered complex because of their dimension and scope. Determining the complexity and how to address it, reducing and allocating risk has been the subject of many studies to date. Of the technical, economic and social components of the complexity of engineering projects, the management of the latter has an increasing. In this paper we develop an approach to the concept of project complexity and different management proposals. Subsequently, we analyze the complexity of a specific project, and the consequences of each of the decisions taken in relation to their management.

Keywords: *Engineering projects; Project management; Complexity*

LA COMPLEJIDAD EN LOS PROYECTOS DE INGENIERÍA. UNA APROXIMACIÓN A LA DIMENSIÓN SOCIAL DESDE EL ESTUDIO DE UN CASO

La gestión avanzada de proyectos de ingeniería es imprescindible especialmente en aquellos que por su dimensión y alcance pueden considerarse como complejos. Determinar esta complejidad, así como la forma de abordarla, reduciendo y asignando riesgos existentes ha sido objeto de muchos estudios a fecha de hoy. De entre las componentes técnica, económica y social de la complejidad de los proyectos de ingeniería, cada vez cobra una mayor importancia la gestión de esta última. En este artículo se hace una aproximación al concepto de complejidad de proyectos y a las distintas propuestas para gestionarla. Posteriormente, mediante el estudio de un caso se analiza el grado de complejidad de un determinado proyecto, así como las consecuencias de cada una de las decisiones tomadas en relación con su gestión.

Palabras clave: *Proyectos de Ingeniería:; Gestión; Complejidad*

Correspondencia: Germán Martínez Montes gmmontes@ugr.es

Agradecimientos: Para el desarrollo de la presente investigación ha sido necesario el acceso a datos y documentos correspondientes a las obras del Campus Universitario de Ciencias de la Salud, promovido por la Universidad de Granada, que han sido proporcionados por el Vicerrectorado de Infraestructuras y Campus de esta universidad, habiendo contado con su colaboración para todo ello. Igualmente se ha contado con la financiación facilitada por la empresa UCOP, Construcciones, S.A., con cargo a contratos de investigación centrados en la gestión del riesgo y la complejidad en los proyectos de construcción.

1. Introducción

La gestión de proyectos, como disciplina, ha ido consolidándose en las últimas décadas con objeto de dar respuesta a la necesidad del correcto desarrollo de proyectos. De esta forma, desde los años cincuenta del pasado siglo han sido notables las aportaciones de Henry Gantt (*Work Breakdown Structure - WBS*) y los diagramas que llevan su nombre, Booz-Allen & Hamilton (*Program Evaluation and Review Technique - PERT*), DuPont Corporation and Remington Rand Corporation (*Critical Path Method - CPM*), the American Association of Cost Engineers (*Total Cost Management Framework*) y del Project Management Institute (PMI) que en el año 1981 publicó la primera edición de "*A Guide to the Project Management Body of Knowledge*" (PMBOK Guide) y sus posteriores reediciones.

Se puede asegurar, por tanto, que existen gran cantidad de herramientas, técnicas, procedimientos y procesos que deberían asegurar que, tras su correcta aplicación, todo proyecto terminase consiguiendo los objetivos fijados de partida.

A fecha de hoy, a pesar del desarrollo tecnológico del último siglo, los proyectos siguen fallando tanto en objetivos, como en calidad, plazos y costes, especialmente en el sector de la construcción (Ogunlana et al., 1996; Flyvbjerg et al, 2003; Sambasivan et al., 2007; Gonzalez et al., 2013).

Algunos estudios concluyen que solo el 5,4% de los proyectos de construcción terminan consiguiendo los objetivos de partida en cuanto a plazo y coste, mientras que más del 70%de ellos exceden sus presupuestos iniciales en más de un 10% (Chaos Manifesto 2013; Construction Industry Institue, 2012).

El tamaño y la complejidad de los proyectos de construcción han crecido notablemente en los últimos años, siendo habitual soluciones técnicas inéditas que suponen trabajar en el entorno de la innovación y por tanto de la incertidumbre y el riesgo (Leijten, 2009).

En paralelo se han seguido desarrollando gran cantidad de herramientas y procesos para su gestión, casi siempre desde una visión cartesiana y lineal del proyecto (correspondiente al pilar de la gestión de proyectos relativo a estructuras, procesos, sistemas, métricas, etc.) frente a la gestión que analiza los agentes y la realidad social del proyecto (relaciones personales, motivaciones, comunicación, etc.).

Se hace imprescindible por tanto considerar la variable social para asegurar el éxito en la gestión de proyectos. Dicha variable cobra más protagonismo si cabe cuando el tamaño, alcance y complejidad son mayores. La forma en que las personas implicadas en la gestión de proyectos establecen sus relaciones son la causa principal y más volátil de la complejidad de proyectos (Syed et al., 2010).

La línea de investigación centrada en la complejidad social y su desarrollo es esencial para una reformulación de la gestión de proyectos complejos (Cicmil et al., 2006). Es una de las más demandadas por investigadores y profesionales de la gestión de proyectos que son conscientes de las consecuencias que hasta la fecha ha tenido su falta de consideración.

2. Objetivos y metodología

El objetivo principal de esta investigación es el análisis de la importancia de la dimensión social en el grado de complejidad de proyectos.

Para ello se lleva a cabo una profunda revisión bibliográfica que permita aclarar los conceptos de complejidad y sus dimensiones.

Posteriormente se plantea el estudio de un caso concreto, con un grado de complejidad elevado, analizando las distintas circunstancias que se han ido presentando a lo largo del ciclo de vida de alguna de sus fases (quedando pendiente la última de ellas).

Se analizan y discuten las distintas causas de dicha complejidad y la influencia sobre ella de las medidas adoptadas con objeto de asegurar el éxito del proyecto. Finalmente se exponen de forma sumaria las principales conclusiones del estudio.

3. Revisión del concepto de complejidad y su evaluación

3.1. Complejidad

Para llevar a cabo la gestión adecuada de un proyecto es necesario conocer su grado de complejidad con objeto de poder planificar los recursos y procesos realmente necesarios.

Previo a poder medir la complejidad y sus componentes o factores se hace imprescindible formular su definición correcta. En este sentido han sido muchos los investigadores que han tratado de encontrar una definición que se muestre útil como punto de partida para el posterior desarrollo de modelos de gestión de la complejidad de proyectos.

Uno de los autores de referencia, Baccarini (1996), señala que la complejidad se debe a la interrelación de muchas partes, perfectamente diferenciadas e interdependientes. El carácter no lineal de las relaciones indicadas es defendido por otros autores como un hecho diferencial de los proyectos complejos (Dombkins, 2012).

Existen otros enfoques que abordan el estudio de la complejidad desde el punto de vista de la información necesaria y la información disponible para la ejecución de cualquier proyecto (Winch, G.M., 2000). Este autor defiende que la incertidumbre es el espacio entre las dos informaciones citadas y se debe fundamentalmente a dos fuentes: la complejidad, correspondiente a la información teóricamente disponible pero muy costosa de obtener, y la imprevisibilidad, relativa a aquella información imposible de predecir con datos disponibles.

Ya de forma específica en los proyectos de construcción, la gestión de riesgos es abordada desde cuatro conceptos: incertidumbre, riesgo, complejidad y caos (Lehtiranta et al., 2010). Esta distinción permite plantear la gestión del riesgo como una actividad sistemática y ordenada, mientras que la gestión de la complejidad exige una gestión mucho más flexible, centrada en la capacidad individual de reorganización frente a una realidad cambiante e interrelacionada (Van Eijnatten. 2004).

La imposibilidad de formular una definición clara y concisa supone que frecuentemente se confundan proyectos grandes con proyectos complejos. Igual ocurre cuando diversos autores hablan de proyectos complicados frente a proyectos complejos. Los primeros tienen multitud de agentes, elementos y condiciones así como distintas formas de relacionarse entre ellos, pero todas pueden ser conocidas. En el caso de los proyectos complejos se presentarán circunstancias e incluso elementos y agentes que son impredecibles (Bawden, 2007).

3.2. Dimensiones de la complejidad

A la hora de analizar la naturaleza de la complejidad y por ende las distintas causas o circunstancias que subyacen tras la misma, son muchos los autores (Payne, 1995; Baccarini, 1995; Whitty et al., 2009; De los Rios-Carmenado et al., 2014) que defienden la existencia de tres componentes claramente diferenciados: técnica, organizativa-estructural y social.

La complejidad técnica se puede definir a partir de las propuestas tecnológicas recogidas en el proyecto que permitirán alcanzar los objetivos en plazo, coste y calidad. En función de la naturaleza del proyecto, su grado de innovación, las tecnologías y procesos propuestos, su

grado de definición en la fase de proyecto y la coherencia de los elementos que lo componen, se podrá hablar de proyectos complicados técnicamente o complejos técnicamente.

La orientación en la fase de diseño al producto olvidando la definición de los procesos necesarios puede traducirse posteriormente en situaciones complejas que sumadas a las condiciones de contorno (contratos, agentes, instituciones, marco legal) pueden dificultar la consecución de los objetivos del proyecto.

La complejidad organizativa y estructural engloba todos los aspectos relacionados con el contexto en donde se formulan los objetivos del proyecto: promotor, instituciones, administraciones, legislación, agentes sociales, situación económica, así como todas las interrelaciones que se puedan presentar.

Por último, *la complejidad social* corresponde a la red de relaciones interpersonales presentes y necesarias para que puedan alcanzar todos los objetivos del proyecto. Es evidente que a mayor número de agentes e instituciones implicadas habrá más relaciones personales que deben ser correctamente gestionadas para no lastrar el desarrollo del proyecto.

Es importante señalar que esta clasificación de la complejidad de proyectos en tres componentes no es excluyente, dándose la paradoja que los dos primeros siempre confluyen en una complejidad social adicional ya que no podrán ser resueltos sin nuevas relaciones interpersonales de los agentes implicados en cada caso.

Esta circunstancia ha sido puesta de manifiesto por diversos autores (Van Eijnatten, 2004; Yinluo, 2008; Senuscu et al., 2013), los cuales no dudan en señalar como esencial los valores sociales y sus capacidades de interrelación en situaciones cambiantes como las que se producen a lo largo del ciclo de vida de los proyectos complejos.

3.3. Evaluación de la Complejidad

Tal y como se ha descrito, la dificultad a la hora de encontrar una definición que permita un acercamiento pragmático a la realidad de los proyectos complejos y a la necesidad de su correcta gestión, ha supuesto que determinados autores defiendan que la mejor manera de definir la complejidad es reformularla como una pregunta: ¿Cómo de complejo es determinado proyecto? (Bar Yan, 2003). La respuesta obliga, por tanto, a encontrar mecanismos de métrica de la complejidad.

Por otra parte, Crawford L. (2013) argumenta entre otras razones de interés para la implantación de estándares y calificaciones, la demanda de las empresas de normas y requisitos que sean aplicables a nivel global como base para las metodologías de gestión de proyectos y para la selección del personal o la necesidad por parte de los profesionales del reconocimiento mundial de las cualificaciones profesionales y académicas en la gestión de proyectos.

Se empezaron a definir estándares de competencia a nivel internacional para evaluar la complejidad de los proyectos y, en esta línea, en 1999 surgió la Global Alliance for Project Performance Standards (GAPPS), impulsada por voluntarios con conocimiento y experiencia, pertenecientes a asociaciones profesionales, organismos e instituciones.

La GAPPS propone como estándar la herramienta Crawford-Ishikura Factor Table for Evaluating Roles *(CIFTER)* que presentaun modelo de competencias generales *"basadas en el desempeño"* que todo Project Manager debe cubrir y permite clasificar los proyectos, con los que se evaluará al Project manager, según su nivel de complejidad. (GAPPS, 2007, Crawford, 2013).

Las normas GAPPS son deliberadamente genéricas con objeto de complementar otros estándares de gestión de proyectos y programas, incluyendo los de las asociaciones

profesionales. Son aplicables a cualquier ámbito profesional y, en el proceso evaluador de la complejidad, inciden en sus aspectos contextuales y sociales. A partir de ellas se han desarrollado diferentes estándares como el del Instituto Australiano de Dirección de Proyectos (AIPM), la Asociación Internacional de Dirección de Proyectos (IPMA), la Asociación de Dirección de Proyectos de Japón, Instituto de Dirección de Proyectos (PMI), Proyectos en Entornos Controlados (PRINCE2) (De Los Ríos et al. 2014).

4. Estudio del caso

4.1. Caracterización del proyecto

El Proyecto "Campus Universitario de Ciencias de la Salud" (CUCS), promovido por la Universidad de Granada y financiado por la Junta de Andalucía, se ubica en la zona central del Plan Parcial PP-S2 del Parque Tecnológico de Ciencias de la Salud (PTS), Parque ubicado al sur en la ciudad de Granada, ocupando a su vez terrenos en los términos municipales de Armilla y Ogíjares. En dicho Parque se desarrollan las áreas de docencia, asistencia sanitaria, investigación y desarrollo empresarial, siendo un espacio de referencia para la creación, implantación y expansión de instituciones y empresas, que transforma el conocimiento en desarrollo económico y social, especialmente en los sectores farmacéutico, biosanitario, asistencial y alimentario, lo que lo convierte en el primero de España y uno de los pocos del mundo especializado en salud.

El desarrollo del CUCS, consiste en la construcción de 5 edificios para uso docente e investigador en una parcela de 100.214 m^2 que se destinarán a Servicios Generales (SSGG) del Campus y a las Facultades de Ciencias de la Salud, Medicina, Farmacia y Odontología.

Debido a la financiación existente para este proyecto, obtenida a través de una subvención de la Junta de Andalucía, así como a sus plazos de ejecución, el promotor se ha visto obligado a desarrollarlo en tres fases: en **una primera fase** se redactaron todos los proyectos de ejecución, contratados a través de un concurso internacional de ideas, contando con un total de cuatro estudios de arquitectura que asumen tanto la redacción del proyecto como la dirección de las obras, teniendo en cuenta que el diseño general del Campus, desde el punto de vista urbanístico y geométrico, le correspondía al estudio que recibió el primer premio del concurso; **en una segunda fase**, se han ejecutado las obras de urbanización de la parcela y los edificios de Servicios Generales, Facultad de Medicina y Facultad de Ciencias de la Salud y **en una tercera fase**, aún pendiente por falta de financiación para ello, se desarrollarán las obras de las Facultades de Farmacia y Odontología.

Las actuaciones recogidas en la segunda fase, han tenido un presupuesto de contrata de 110 millones de euros, y se han desarrollado entre Noviembre de 2.009 y Febrero de 2.015.

Otro aspecto importante ha sido el hecho de que en la misma parcela del Campus se han ejecutado otras actuaciones de forma simultánea promovidas por otros organismos, que han provocado interferencias con las anteriores, como son la ejecución de un encauzamiento que recorre la parcela docente de norte a sur, siendo el promotor de la obra la Junta de Andalucía, y la construcción de un edificio y la rehabilitación de un cortijo, ambos para albergar la sede de la Fundación PTS, incluyendo la urbanización existente entre ambos edificios.

Hay que destacar dentro de la gestión del proyecto la gran cantidad de agentes que han concurrido en el mismo, tanto internos como externos, y tanto públicos como privados.

Dentro de los agentes internos se encuentran: la Universidad de Granada como promotora de las obras y los usuarios finales, profesorado, personal de administración y servicios y estudiantes; Proyectistas y dirección de obra, siendo un estudio de arquitectura responsable de los proyectos y dirección de obra de la urbanización, Edificio de Servicios Generales y

Facultad de Medicina y un segundo estudio responsable del proyecto y dirección de obra de la Facultad de Ciencias de la Salud; tres contratistas principales para la ejecución de las obras, estando dos de ellos constituidos por uniones temporales de tres empresas; dos organismos de control de calidad que desarrollaban las funciones recogidas en la Ley de Ordenación de la Edificación y una Dirección Integrada que asumía todas las funciones propias del Construction Manager (CM). Esta figura, introducida por la Universidad de Granada tras el análisis global del proyecto y de sus riesgos asociados, fue contratada de forma simultánea a las empresas constructoras, pero no en la fase previa de redacción de los proyectos.

Dentro de los agentes externos hay que mencionar los siguientes: Administración autonómica, como organismo financiador y promotor del encauzamiento ejecutado en la parcela; Administración local, como responsable de los permisos y licencias relacionadas con cada obra; Fundación PTS, como promotora de la construcción de su sede, así como entidad urbanizadora de todo el Plan Parcial en el que se desarrolla este Campus; empresas suministradoras y de servicios, para proveer de los distintos servicios urbanos necesarios en la parcela y otros agentes como los medios de comunicación e incluso equipos de gobierno de las distintas administraciones implicadas (agentes políticos).

4.2. Evaluación de la complejidad del proyecto

Para analizar y valorar el nivel de complejidad del proyecto del CUCS se utiliza el factor CIFTER, el cual identifica siete ítems que afectan a la complejidad de la gestión de un proyecto (tabla 1). Cada factor tiene una clasificación de 1 a 4 aplicando una puntuación cualitativa de menor a mayor complejidad. Se suman las valoraciones resultando un índice de complejidad del proyecto, tomado como referencia para caracterizar los niveles de estándares para la dirección de proyectos (G1 y G2) (GAPPS, 2007).

De esta manera, el modelo establece tres rangos, desde el proyecto simple (11 puntos o menos), el proyecto complejo moderado (nivel G1, de 12 a 18 puntos) al proyecto con alto grado de complejidad (nivel G2, más de 19 puntos).

Es importante señalar que la metodología desarrollada por GAPPS no establece la forma objetiva de asignación de puntuaciones para cada uno de los ítems, quedando ésta a criterio del evaluador del proyecto.

Tal y como reconoce Duncan (2006), en todas las propuestas de evaluación existe un grado de subjetividad a la hora de establecer las fronteras entre cada una de las categorías por ser necesaria una apreciación subjetiva de todos los elementos y las relaciones existentes entre ellos pero, con un mínimo de coherencia en las evaluaciones, se podrá vislumbrar la diferencia en la complejidad entre proyectos. Además, hay una cierta correlación entre los factores (Aitken y Crawford, 2007).

Una vez aplicado al proyecto del CUCS el proceso descrito, teniendo en cuenta la caracterización realizada en el apartado 4.1., se obtienen las puntuaciones recogidas en la tabla 1.

Tabla 1: Valoración de la complejidad del proyecto de las obras del CUCS. Factores CIFTER.

Factor de complejidad	Valoración
La estabilidad del contexto general del proyecto	3 (Moderada)

El número de distintas disciplinas, métodos, o enfoques que participan en la ejecución del proyecto	3 (Alta)
La magnitud de las implicaciones jurídicas, sociales o ambientales de la realización del proyecto	3(Alta)
Incidencia de las expectativas financieras, positivas o negativas, sobre las partes interesadas del proyecto	3(Alta)
Importancia estratégica del proyecto para la organización u organizaciones involucradas	4(Alta)
Cohesión de las partes interesadas sobre las características del producto del proyecto	3 (Baja)
Número y variedad de interfaces entre el proyecto y otras entidades organizativas	3 (Moderada)
TOTAL	**22**

En la valoración realizada se ha tenido en cuenta que se trata de un proyecto de larga duración, lo que ha provocado incertidumbre en su financiación y en las necesidades finales de los usuarios, así como la aparición de nuevos aspectos normativos, afectando a su estabilidad general. En el desarrollo han participado un número muy elevado de agentes internos y externos, tanto públicos como privados, con relaciones muy intensas entre ellos y no siempre bien definidas, tratándose de un proyecto que repercute en un elevado número de usuarios de manera directa y con una implicación social elevada, tanto en los servicios públicos, infraestructuras, como en la actividad económica generada en la zona, afectando a los planes estratégicos de la Universidad y de la Ciudad. Tal y como puede observarse en el índice de complejidad obtenido, se trata de un proyecto con un alto grado de complejidad que exige un nivel G2 para su dirección.

5. Análisis y discusión del proyecto desde el punto de vista de la complejidad social

A lo largo de todo el proyecto, incluidas las fases de diseño y construcción, se han dado multitud de relaciones entre las distintas personas implicadas directa o indirectamente en el mismo.

Estas relaciones se desarrollaron en el marco de los contratos específicos, normativa y legislación de aplicación y, en otros muchos casos, por la sola buena voluntad de las partes.

La confianza ha sido reseñada por multitud de autores como el elemento fundamental en el desarrollo de los proyectos de construcción (Graafland et al. 2007; Wong et al. 2000; Emmitt et al. 2003) En esta línea se puede asegurar que si bien la confianza no es un mecanismo de control sí supone un elemento sustitutivo de éste, adelgazando las tareas de seguimiento cuando los niveles de confianza son elevados (Rousseau, 1998; Lewicki, 2006)

Las relaciones personales existentes en el proyecto del CUCS han puesto en evidencia todos los roles posibles por parte de los distintos agentes (conductor, facilitador, analítico, agresivo, evasivo, cooperativo y manipulador). Dichos roles han cambiado a lo largo de todo el proceso, principalmente por intereses y objetivos de cada una de las partes y no precisamente por los objetivos principales del proyecto (calidad, plazo y coste).

Estos roles han estado condicionados por los distintos factores presentes en cualquier proceso de negociación. Estos son: poder, relación, posición, tiempo y táctico. En el caso particular que se estudia el factor tiempo condicionó todos los roles y factores citados ya que existía una limitación de plazos en la ejecución del proyecto que podía condicionar la financiación de la inversión, circunstancia ésta que pudo ser utilizada por las distintas partes

para acondicionar los objetivos principales del proyecto a los intereses propios de sus empresas e instituciones.

Todos estos elementos constitutivos de la complejidad social del proyecto se presentaron de forma más intensa por el hecho de que la práctica totalidad de las relaciones eran inéditas (Dainty et al., 2007), por lo que todo el trabajo de construcción de confianza partía de cero (o próximo a cero). Esta circunstancia junto con el hecho de que se plantearon conflictos sobre indefiniciones de proyecto, retrasos en el abono de certificaciones y, finalmente, problemas de plazo y calidad del producto provocó que los niveles de confianza fuesen en términos absolutos negativos ya que las posibilidades de recuperación de la confianza excedían los horizontes temporales del proyecto (véase figura 1). En la misma se recoge de forma esquemática, tal y como propone el autor citado, la evolución del nivel de confianza a lo largo del proyecto, sin que ello suponga una cuantificación numérica del mismo.

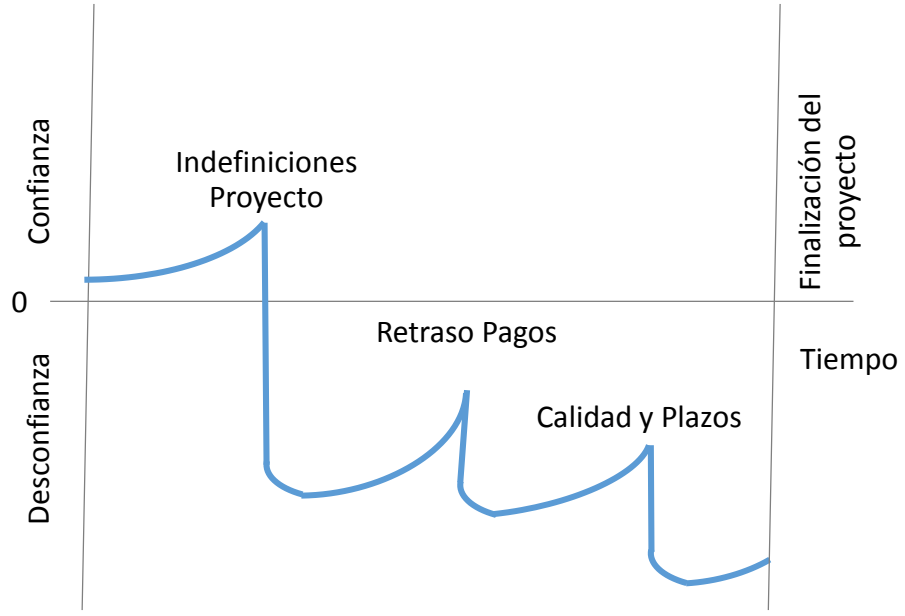


Figura 1: Nivel de confianza a lo largo del proyecto. (Elaboración propia a partir de Ceric, 2012).

En cada uno de los escalones de confianza perdidos se articularon medidas (incorporación de dirección integrada, de la gerencia de la Universidad de Granada y de los Servicios Jurídicos) teniendo que retomar nuevas posiciones de trabajo en común pero en los que los mecanismos de control han de ser mucho mayores ante la desconfianza entre todas las partes. Algunas de éstas han sido la sustitución de interlocutores e incluso la incorporación de facilitadores de las distintas negociaciones.

Perdidos determinados niveles de confianza se pone en evidencia que los objetivos de cada parte son totalmente distintos y en muchos casos contrapuestos. El proceso entra en una dinámica de trabajo en la que priman los intereses propios de cada empresa, e incluso, en determinadas ocasiones, de los individuos que las representan.

En relación con los niveles de confianza entre todos los agentes implicados en el desarrollo del proyecto es importante señalar que la comunicación es un elemento esencial y clave para el establecimiento ya no solo de las distintas relaciones sino para poder compartir objetivos comunes y establecer líneas de trabajo para su consecución (Diallo et al. 2005).

En la figura 2 se detallan todas las relaciones, su naturaleza así como las líneas de comunicación derivadas de las mismas. Tal y como puede observarse, dada la naturaleza del proyecto desarrollado, su magnitud, alcance geográfico e importancia estratégica para el promotor (Universidad de Granada), la probabilidad de disfunciones en el proceso de

comunicación y por ende en las relaciones intra-agentes e inter-agentes, era realmente elevada.

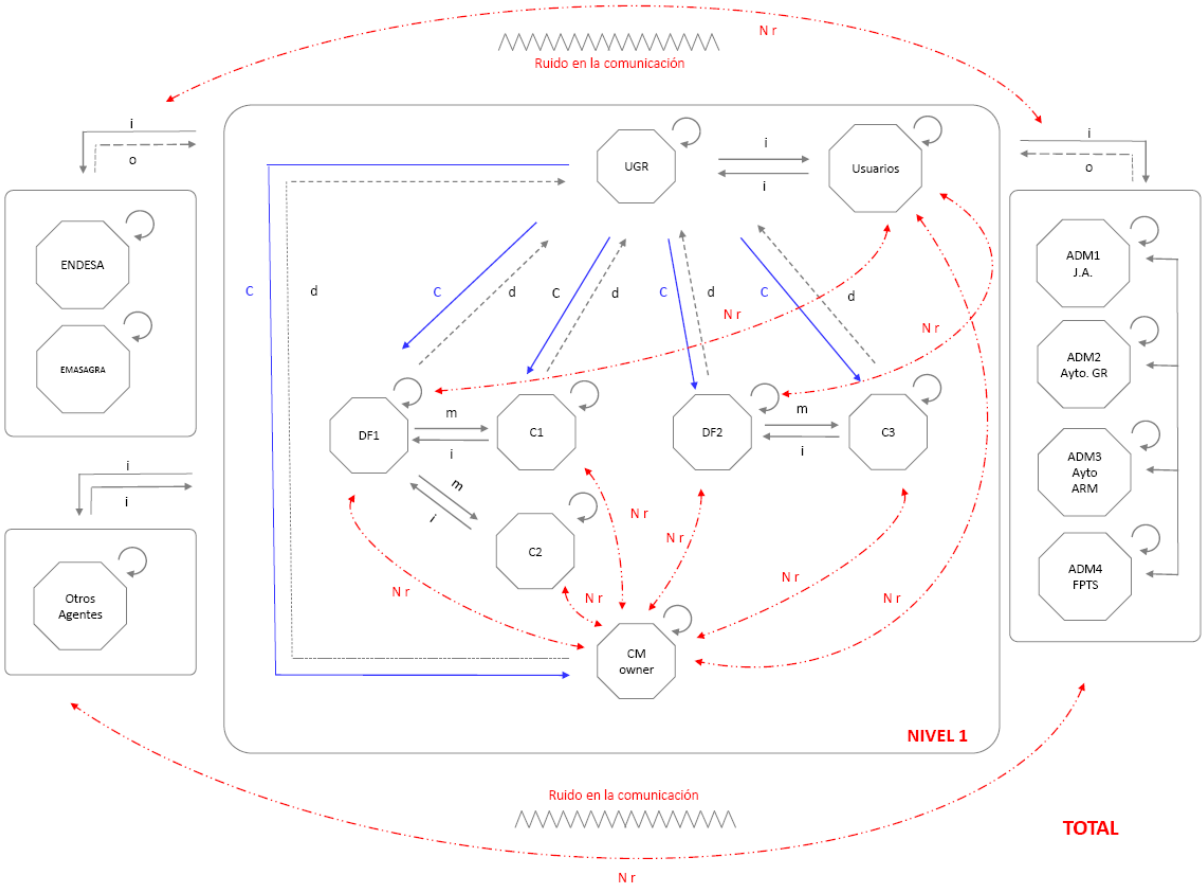


Figura 2: Agentes, relaciones y posibles comunicaciones en el proyecto del CUCS. Fuente: Elaboración propia. Leyenda: c: contrato; d: desarrolla; i: informa; o: obliga; Nr: No regulada; m: monitorea y controla.

El número de canales de información era realmente elevado, siendo muy diferentes su naturaleza y funcionamiento.

Atendiendo a la expresión N(N-1)/2 (White et al, 2002), que determina el número de canales de comunicación en un proceso, en función del número de participantes (N), se puede llegar a cuantificar su número (véase tabla 2).

Tabla 2: Número de canales de comunicación en función del número de interlocutores

	Cantidad	Nº de Canales
Nivel 1 Instituciones / Empresas	8	28
Nivel 1 Interlocutores	35	595
Total Instituciones / Empresas	15	105
Total Interlocutores	50	1225

Es importante señalar la relación exponencial existente entre el número de interlocutores presentes y los canales de comunicación posibles, muchos de los cuales no tienen un marco

reglado de desarrollo y que por tanto pueden llegar a aportar poco al éxito del proyecto e incluso, en muchas ocasiones, lastrarlo.

De igual manera, durante el proceso de comunicación existía ruido que añadía complejidad al proceso. Este ruido procedía de:

- Agentes internos. La naturaleza del ruido respondía a la distracción y la falta de interés de quien recibe el mensaje, al exceso de información, información no necesaria y/o asimétrica e incluso por actitudes de los interlocutores que no tenían en cuenta los valores y actitudes de las otras partes (Domínguez, 2010).
- Agentes externos. Dada la naturaleza pública del proyecto, a lo largo del mismo han existido pronunciamientos, declaraciones e incluso noticias que, partiendo de personas o entes inicialmente no implicados en el proceso, sí terminaban afectándolo al llegar de alguna manera a los distintos agentes directamente implicados.

Dicha comunicación ha cambiado incluso el lenguaje base, partiendo de un enfoque técnico y de gestión y terminando claramente en escritos y comunicaciones de orientación jurídica que se anticipan a la posible falta de acuerdos y una solución de las diferencias vía judicial, dificultando, sin lugar a dudas, las posibilidades de entendimiento por la naturaleza específica del lenguaje empleado.

6. Conclusiones

Los proyectos de construcción son cada vez más ambiciosos, planteando retos tecnológicos y organizativos que en muchos de los casos pueden considerarse sistemas complejos, y que son necesarios gestionar desde una visión moderna de la dirección de proyectos.

La importancia de la dimensión social es evidente, debiéndose establecer los mecanismos adecuados y tomar las decisiones oportunas para su correcta gestión. La simplificación, siempre que no suponga una pérdida de información de concionantes del proyecto, es esencial para evitar que el grado de complejidad haga el proyecto inabordable.

En el caso de los proyectos de infraestructuras públicas es necesario mejorar las condiciones de gestión partiendo de la modificación del marco legal regulatorio, caracterizado por una rigidez extrema lo que es incompatible con una de las exigencias primarias en la gestión de la complejidad: la flexibilidad.

La existencia de relaciones entre partes no reguladas contractualmente dificulta enormemente los procesos de comunicación y de transferencia de información, actividad clave para el éxito del proyecto. Dicha falta de regulación se traduce en muchas circunstancias en transferencia de información asimétrica que responde a los intereses de las partes y no a los del propio proyecto. El desarrollo de nuevos marcos legales ha de centrarse en modelos de gestión de proyectos que incluyan relaciones de confianza, función directa de los niveles de riesgo e incertidumbre del proyecto.

Por último, es importante señalar la necesidad de llevar a cabo una evaluación de la complejidad del proyecto en las primeras etapas del ciclo de vida, previa a la implantación de cualquier modelo o sistema de gestión. Esta es la forma de conocer la complejidad inherente del proyecto, ya que cualquiera de los sistemas de gestión elegidos añade nuevos componentes a la complejidad social, la cual se ha mostrado determinante en el desarrollo de las sucesivas etapas del proyecto.

8. Referencias

Aitken A. and Crawford L.(2007) *A study of project categorization base on project management complexity*. IRNOP VIII, Brighton, 2007.

Baccarini, D. (1996). *The concept of project complexity a review*, International Journal of Project Management 14(4), 201-204.

Bar-Yam, Y. (2003). Unifying Themes in Complex Systems Volume II. HarperCollins Canada / Westview S/Dis ISBN: 081334123X, number of pages: 644.

Bawden, R. (2007). *Complexity - unruly and otherwise*. Perspectives in Biology and Medicine, 50(4), 614-624

Ceric, A (2012), *Communication risk in construction projects: application of principal-agent theory*, Organization, Management and Technology an International Journal, 4(2), 522-533

Chaos Manifesto 2013. The Standish Group, Boston, MA, 2013.

Cicmil, S; Williams, T; Thomas, J.; Hodgson, D. (2006). *Rethinking Project Management: Researching the actuality of projects*. International Journal of Project Management, Volume 24, Issue 8, November, Pages 675-686.

Construction Industry Institute (2012). Performance Assessment 2012 Edition. Construction Industry Institute. University of Texas at Austin, TX, 2012.

Crawford L. (2013) *Competition, Comparison, Collaboration - Mapping a Pathway through Project Management Standards*. Procedia – Social and Behavioral Sciences.Vol.74, p.1-9.Doi: 10.1016/j.sbspro.2013.03.004.

Dainty, A., Green, S. and Bagihole, B. (Eds.) (2007). People and Culture in Construction: A Reader, Oxon, Taylor & Francis.

De Los Rios-Carmenado, I., Herrera-Reyes, A., Guillen-Torres, J..(2014). *Complexity In Project Management: Dimensions and frameworks at international level*. DYNA Management, 2(1). DOI: http://dx.doi.org/10.6036/MN7008

Diallo, A. and Thuillier, D. (2005) *The success of international development projects, trust and communication: an African perspective.* International Journal of Project Management, 23(3), 237-252.

Dombkins, DH (2012). *Complex Project Manager Competency Standards* Version 4.1. Department of Defense, Australian Government. Commonwealth of Australia.

Domínguez, I. (2010). *Comunicación y texto*. La Habana. Editorial Pueblo y Educación.

Duncan, W. R. (2006) *Sifting With the CIFTER*. Disponible en http://www.asapm.org/asapmag/articles/cifter.pdf.

Emmitt, S. and Gorse, C. A. (2003), *Construction Communication*, Oxford, Blackwell Publishing.

Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M.K.and Buhl,S.L. (2003). *How common and large are cost overruns in transport infrastructure projects?.* Transport Reviews Vol. 23, No.1, pp 71-88.

GAPPS (2007) *A Framework for Performance Based Competency Standards for Global Level 1 and 2 Project Managers*. Sydney. Global Alliance for Project Performance Standards

González, P., González, V., Molenaar, K., and Orozco, F. (2013). *Analysis of Causes of Delay and Time Performance in Construction Projects.* Journal of Construction Engineering and Management, 10.1061/(ASCE)

Graafland, J. and Nijhof, A. (2007). *Transparency, market operation and trust in Dutch construction industry: an exploratory study*, Construction Management and Economics, 25(2), 195-205.

Lehtiranta, L., Huovinen, P., Kiiras, J., Palojärvi, L., and Jansson, N. (2010). *Managing uncertainty, complexity, risk, and crisis in construction.* TKK Structural Engineering and Building Technology Publication TKK-R-BE7, Aalto University, Espoo, Finland.

Leijten, M (2009). *Manageability of complex construction engineering projects: Dealing with uncertainty*. 2nd International Symposium on Engineering System. MIT, Cambridge, Massachusetts, June 15-17, 2009.

Lewicki, R. J., Tomlinson, E. C. and Gillespie, N. (2006), *Models of interpersonal trust development: theoretical approaches, empirical evidence, and future directions,* Journal of Management, 32(6), 991-1022.

Ogunlana S., Promkuntong K. &Vithool J. (1996). *Construction delays in a fast-growing growing economy*. International Journal of Project Management, 14 (1), pp. 37–45.

Payne, JH (1995). *Management of multiple simultaneous projects: a state of the art review.* International Journal of Project Management, 1995. Vol.13 Nº3, p. 163-168.

Rousseau, D. M., Sitkin, S. B., Burt, R. S. and Camerer, C. (1998). *Not so different after all: a cross-discipline view on trust, Academy of Management Review*, 23(3), 393-404.

Sambasivan, M. & Soon, Y.W. (2007), *Causes and Effects of Delays in Malaysian Construction Industry,* International Journal of Project management, Vol. 25, Issue 5, pp 517-526

Senescu, R., Aranda-Mena, G., and Haymaker, J. (2013). *Relationships between Project Complexity and Communication.* J. Manage. Eng., 29(2), 183–197.

Syed Azim, Andy Gale, Therese Lawlor-Wright, Richard Kirkham, Ali Khan, MehmoodAlam, (2010). *The importance of soft skills in complex projects*, International Journal of Managing Projects in Business, Vol. 3 Iss: 3, pp.387 - 401

Van Eijnatten, F. M. (2004*). Chaos and complexity: an overview of the 'new science' in organization and management.* Rev. Sci. de Gestion Q. , 40 , 123–165.

White, D., Fortune, J. (2002). *Current practice in project management — an empirical study,* International Journal of Project Management, Volume 20, Issue 1, January 2002, Pages 1-11, ISSN 0263-7863.

Whitty, S.J., Maylor, H (2009). *And then came Complex Project Management (revised),* International Journal of Project Management, Volume 27, Issue 3, April 2009, Pages 304-310, ISSN 0263-7863

Winch, GM (2000). *The management of projects as a generic business process*. R. Lundin, F. Hartman (Eds.), Projects as business constituents and guiding motives, Kluwer (2000), pp. 117–130

Wong, E. S., Then, D. and Skitmore, M. (2000), *Antecedents of trust in intra-organizational relationships within three Singapore public sector construction project management agencies,* Construction Management and Economics, 18, 797-806.

Yinluo, W.(2008). *Contemporary Engineering Values and Engineering Education*. Journal of Xl' an Jiaotong University, 28, pp. 6-8.

01-021

NEW WAYS OF PROJECT DEVELOPMENT. CROWDPROJECTS.

Rubio Díaz, Aitor; Rodríguez Montequín, Vicente; Martínez Huerta, Gemma Marta;
Luiña Fernández, Rocío
Universidad de Oviedo

Nowadays, collaborative projects are known as the act of taking a job traditionally performed by a designated agent (usually an employee) and outsourcing it to an undefined, generally large group of people in the form of an open call. Thanks to the Internet and the new technologies, that kind of initiatives has increased considerably in recent years. However, as it is a recent term, there is no widely accepted definition. Furthermore, all existing classifications of those kind of initiatives only consider the finality that they pursue. In this paper, an exhaustive study of those activities is carried out in order to classify them taking into account other features that are founded in these collaborative initiatives. Applying the concepts and characteristics related to traditional projects and project management, a new type of initiatives is founded, that could be called crowdprojects. However, most collaborative initiatives that have been studied in this paper cannot be considered as crowdprojects due to the fact that currently there is no methodology or a management system which ensures their success and encourage the development of such projects.

Keywords: *collaborative initiatives; project management; crowdprojects*

NUEVAS FORMAS DE DESARROLLO DE PROYECTOS. CROWDPROJECTS

Actualmente se entiende por proyecto colaborativo la externalización, por parte de una empresa o institución, de una función realizada por un empleado a un grupo indefinido (y normalmente grande) de personas mediante una convocatoria abierta. Gracias a internet y a las nuevas tecnologías, este tipo de iniciativas ha aumentado considerablemente en los últimos años. Sin embargo, al tratarse de un término muy reciente no existe una definición ampliamente aceptada. Por otro lado, todas las clasificaciones existentes de este tipo de iniciativas solo tienen en cuenta la finalidad que persiguen. A lo largo de este trabajo, se realiza un estudio exhaustivo de estas actividades para clasificarlas teniendo en cuenta otras características que se encuentran en estas iniciativas colaborativas. Aplicando los conceptos y características relacionadas con los proyectos tradicionales y la gestión de proyectos (project management), se encuentra un nuevo tipo de iniciativas que pasan a llamarse crowdprojects. Sin embargo, la mayoría de las iniciativas colaborativas estudiadas no pueden ser consideradas crowdprojects debido a que actualmente no existe una metodología o un sistema de gestión que garantice su éxito fomentando así el desarrollo de este tipo de proyectos.

Palabras clave: *proyectos colaborativos; gestión de proyectos; crowdprojects*

Correspondencia: Vicente Rodríguez Montequín montequi@api.uniovi.es

1. Introducción

La llegada de Internet ha supuesto un gran cambio en la dinámica de los entornos de trabajo. Internet se ha convertido en la principal herramienta de búsqueda de información, no sólo por su rapidez, sino también porque permite que la información sea compartida y distribuida de manera más efectiva entre la población. El ingente desarrollo de herramientas telemáticas que pueden manejarse a través de la red desde cualquier lugar ha influido de manera muy notable en el desarrollo de iniciativas de trabajo global. Así, por ejemplo, herramientas como la videoconferencia permite desarrollar reuniones de trabajo sin la necesidad del traslado del personal de la empresa a una sede en concreto, con el consiguiente ahorro de tiempo y dinero.

Internet ha abierto la puerta a un amplio abanico de aplicaciones, servicios, recursos formativos y plataformas con las que se puede interconectar con otros usuarios y profesionales de múltiples disciplinas. Gracias a la red, se puede estar cerca de aquellos que geográficamente están lejos, facilitando la colaboración y la participación online. Actualmente son muchas las empresas que tienen equipos de trabajo multidisciplinares cuyos componentes están ubicados en sedes diferentes pero que, gracias a la red, pueden desarrollar un proyecto determinado y compartir conocimientos y herramientas como si estuviesen sentados en el mismo espacio de oficinas.

Sin embargo el avance de las TIC (Tecnologías de la información y la comunicación) no sólo ha afectado a la forma interna de trabajo de las organizaciones, sino que ha permitido una nueva forma de trabajar en la que diversas organizaciones o individuos trabajan de forma colaborativa con un fin único, sin pertenecer realmente a la misma organización. Ejemplos como Wikipedia o el desarrollo del sistema operativo Linux, dan una idea de las nuevas formas de trabajo facilitadas por el desarrollo de las redes. El modo en que estas personas colaboran puede ser muy variado: desde trabajo desinteresado hasta teletrabajo freelance, o desde la creación de nuevas fuentes de información hasta el desarrollo de aplicaciones complejas, todo ello con estructuras de trabajo que no se pueden definir con los parámetros actuales.

Un caso típico es OpenStreetMaps, herramienta libre en la que diferentes personas pueden ir introduciendo de forma voluntaria la cartografía de su zona de preferencia. El objeto final de esta acción es la creación de un mapa mundial completo y de acceso libre para todas las personas, por lo que se podría considerar un proyecto.

Otro caso de desarrollo participativo es el entorno R para tratamiento estadístico y gráfico de información. Creado por Robert Gentleman y Ross Ihaka, pertenecientes al Departamento de Estadística de la University of Auckland, su extensión actual se debe a la involucración de personas de muy diferente procedencia que con su trabajo contribuyeron donando código, reparando errores o resolviendo problemas y aportando documentación.

En los casos mencionados, a diferencia de los proyectos tradicionales, no existe un conocimiento de los recursos disponibles, ni de los plazos de desarrollo, ni siquiera de las tareas o sistemas de control de los avances o la calidad, por lo que no es posible considerarlo un proyecto tradicional. Evidentemente, no todos los casos son iguales: la colaboración mediante la introducción de información como en el caso de Wikipedia es simplemente una aportación personal y voluntaria no dirigida sin organización superior que dirija el rumbo final, mientras que en el caso de R o de TopCoder hay una estrategia global que se alcanza a través de las contribuciones individuales.

En todo caso estas nuevas formas de trabajo, que han desarrollado aplicaciones muy potentes, carecen de estructuras similares a las de los desarrollos tradicionales, sin una formalización en la actualidad que permita optimizar su funcionamiento. El objeto del

presente trabajo es precisamente estudiar estas actividades, clasificarlas y caracterizarlas de modo que se pueda obtener una categorización que permita definir, gestionar y controlar este tipo de proyectos colaborativos que se pueden denominar crowdprojects.

2. Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es determinar con claridad qué son los proyectos colaborativos. Además de este objetivo principal, se desarrollan otros objetivos secundarios, que también son importantes, como es la identificación de tales proyectos dentro de las actividades crowdsourcing, así como una caracterización y clasificación a partir de las propiedades estudiadas en este tipo de iniciativas.

A partir del objetivo principal, se realiza un estudio de los sistemas de control y gestión de este tipo de proyectos, así como una posterior valoración.

3. Metodología

Para alcanzar los objetivos de este trabajo, se recopilará información sobre actividades colaborativas, determinando sus características principales. A partir de los casos analizados y recopilados, se llevará a cabo la identificación de los parámetros clave que definen los proyectos colaborativos permitiendo su distinción de otro tipo de desarrollos no proyectuales.

Por otro lado, de acuerdo con los condicionantes genéricos de los proyectos y estas características y parámetros, se determinará cuáles son las actividades que pueden clasificarse dentro del concepto de proyectos colaborativos, analizando los sistemas de gestión utilizados para su desarrollo.

4. Participación masiva de terceros en el desarrollo de actividades: crowdsourcing

La generalización de las redes informáticas y de los sistemas TIC ha permitido la entrada de nuevas formas de colaboración, tanto a nivel altruista como de negocio. Este tipo de actividades suelen incluirse dentro del término conocido como crowdsourcing.

El término crowdsourcing es una contracción y un neologismo de la palabra inglesa crowd (masa de gente o multitud) y outsourcing (externalización). Fue acuñado por primera vez por Jeff Howe en junio de 2006. Debido a que se trata de un término de reciente acuñación, no existe actualmente un desarrollo bibliográfico amplio sobre el concepto expresado por Howe. Sin embargo, su definición o significado ha generado una gran controversia, no habiéndose llegado a un acuerdo por parte de la comunidad científica sobre una acepción unánimemente aceptada.

Jeff Howe acuñó el término crowdsourcing por primera vez en junio de 2006 en un artículo de la revista Wired "The Rise of Crowdsourcing", que vendría a significar El Ascenso del Crowdsourcing. En este artículo, Howe definió el crowdsourcing como “el acto, iniciado por una empresa o institución, que tiene como objetivo externalizar una tarea, normalmente realizada por un empleado, a un grupo de individuos grande e indefinido mediante una convocatoria abierta” (Howe, 2006).

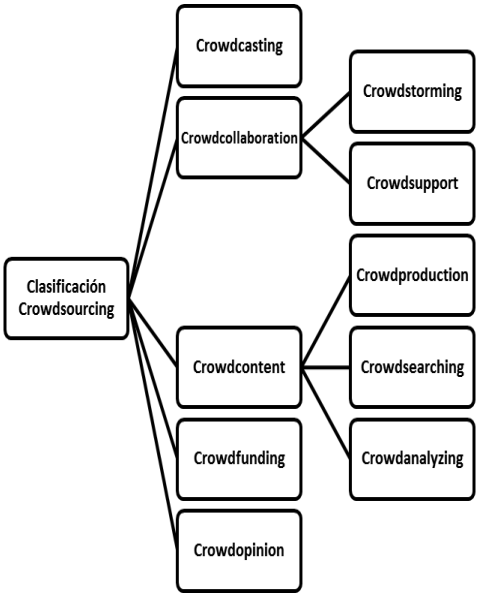
Daren Brabham, uno de los autores que más ha escrito sobre crowdsourcing, ha dado principalmente dos interpretaciones. En la primera de ellas, lo define como un modelo online de producción y de resolución distribuido de problemas que aprovecha la inteligencia colectiva de las comunidades online para propósitos específicos establecidos por un

organizador, bien sea corporación, gobierno o voluntariado. En resumen, es una combinación del proceso creativo abierto de estructura bottom-up con los objetivos de la organización de estructura top-down (Brabham, 2008). En la otra definición, cataloga el crowdsourcing como un modelo estratégico para atraer un grupo interesado y motivado de individuos, capaces de proporcionar soluciones superiores en calidad y cantidad a aquellas que pueden proporcionar formas de negocio tradicionales. Considera que el crowdsourcing no es una mera producción de código abierto, que carece del componente top-down, y tampoco es una encuesta de estudio de mercado que ofrece a los participantes una breve lista de opciones, sino que es cualitativamente diferente de la innovación abierta previa a la era digital y de los procesos de producción colaborativa, ya que estos carecían de la velocidad, el alcance y la adaptabilidad para el aprovechamiento de internet en ellos.

Por otro lado, Enrique Estellés, como conclusión al trabajo de investigación de más de 40 definiciones realizado con motivo de su tesis, da la siguiente definición: "actividad participativa online en la que un individuo, institución, organización sin ánimo de lucro o empresa propone a un grupo de individuos de conocimiento, heterogeneidad y número variable, la realización voluntaria de una tarea a través de una convocatoria abierta flexible. La realización de esta tarea, de complejidad y modularidad variable, y en la que la multitud debe participar aportando su trabajo, dinero, conocimiento y/o experiencia, siempre implica un beneficio mutuo. El usuario, o crowdworker, recibirá la satisfacción de una necesidad, sea esta económica, de reconocimiento social, de autoestima o de desarrollo de capacidades personales, mientras que el crowdsourcer obtendrá y utilizará en su beneficio la aportación del usuario, cuya forma dependerá del tipo de actividad realizada" (Estellés, 2013).

Una vez confeccionada su definición, Estellés desarrolla una nueva clasificación a partir de las realizadas por autores anteriores, intentando recoger las aportaciones y subsanar las carencias del resto. La clasificación realizada por Estellés puede verse en la Figura 1.

Figura 1: Clasificación de los tipos de proyectos de crowdsourcing realizada por Estellés (Estellés, 2013)



5. Proyectos crowdsourcing

Los proyectos crowdsourcing existen desde hace muchos años, antes incluso de que Jeff Howe acuñara el término. Sin embargo, con la llegada de internet, el número de proyectos

crowdsourcing ha aumentado a un ritmo incalculable. Hoy día, este tipo de iniciativas son llevadas a cabo tanto por pequeñas marcas como por grandes corporaciones, y en algunas ocasiones, incluso por países y gobiernos. No solo numerosos proyectos han aparecido, sino que en los últimos años han visto la luz numerosas plataformas para dar soporte a estos nuevos proyectos. Inicialmente, estas plataformas eran genéricas y podían abarcar cualquier tipo de iniciativa. Sin embargo, poco a poco han ido especializándose en un determinado tipo de proyecto.

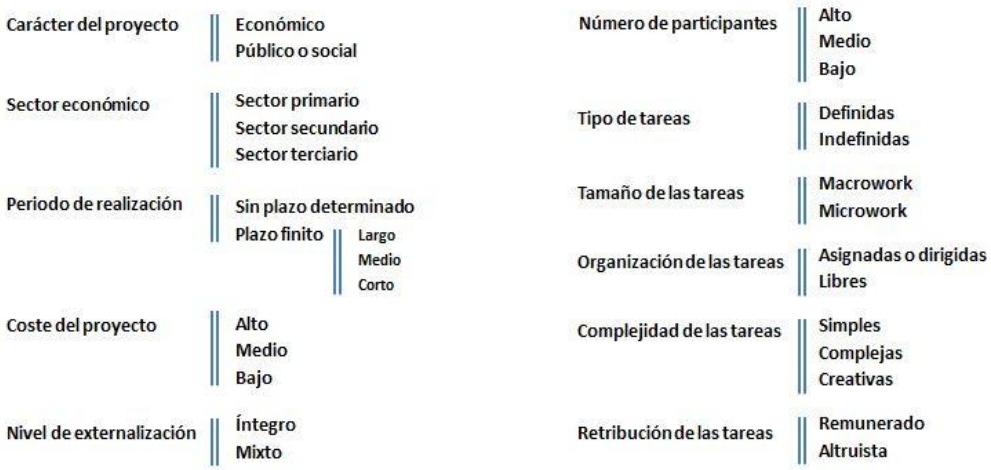
Figura 2: Proyectos y plataformas crowdsourcing

6. Clasificación de proyectos crowdsourcing

Todas o la mayoría de las clasificaciones realizadas sobre este tipo de proyectos solo tienen en cuenta su finalidad o los objetivos que persiguen. Es decir, pretenden categorizar los proyectos basándose únicamente en si se pretende conseguir ideas, mano de obra, financiación, conocimiento, etc.

A continuación, se van a caracterizar dichos proyectos atendiendo a otros factores. Para realizar dicha clasificación, se tendrán en cuenta aquellos proyectos en los que la multitud, aportando su mano de obra o su conocimiento, crea o encuentra contenido de diversa naturaleza. Es decir, aquellos proyectos en los que cada individuo de la multitud trabaja de manera individual para finalmente reunir el resultado de todos.

Figura 3: Características de los proyectos colaborativos



Tras una revisión exhaustiva y detallada de numerosas iniciativas o proyectos crowdsourcing, se han podido observar una serie de características a partir de las cuales nuevas clasificaciones podrían ser desarrolladas.

Estas propiedades unas veces están relacionadas con directamente con el proyecto, mientras que en otras ocasiones están vinculadas con los participantes o con las tareas.

7. Crowdprojects: definición y características

El *PMBOK* define proyecto como un "esfuerzo temporal encaminado a la creación de un producto, servicio o resultado único" (PMI, 2000). De esta definición se puede deducir que al tratarse de un esfuerzo temporal es necesario que tenga un comienzo y un final, así como que sean desarrollados por personas, donde los recursos son limitados además de necesitar ser planificado, ejecutado y controlado. Por otro lado, de la creación de un producto, servicio o resultado único se deduce que cada proyecto es diferente de otro.

Según Parodi, un proyecto "es una planificación que consiste en un conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas. La razón de un proyecto es alcanzar objetivos específicos dentro de los límites que imponen un presupuesto, calidades establecidas previamente y un lapso de tiempo previamente definido" (Parodi, 2001).

Como se puede ver en esta definición, al igual que en la anterior es necesario que los proyectos tengan un principio y un final definido previamente, al igual que unas tareas o actividades definidas y coordinadas.

La *International Project Management Association* (IPMA) por su parte define lo que es un proyecto de la siguiente forma: "un proyecto es una operación en la cual los recursos humanos, financieros y materiales se organizan de forma novedosa, para realizar un conjunto de tareas, según unas especificaciones definidas, con restricciones de coste y plazo, siguiendo un ciclo de vida estándar, para obtener cambios beneficiosos, definidos mediante objetivos cuantitativos y cualitativos" (IPMA, 1999).

Al igual que en las definiciones anteriores, la IPMA se centra en la organización de recursos disponibles para realizar un conjunto de tareas conocidas dentro de un plazo y un coste, por lo que todo proyecto tiene que tener un principio y un final.

Por otro lado, según el *Project Management Institute* (PMI), la disciplina del ***Project Management*** consiste en "la aplicación de conocimientos, aptitudes, herramientas y

técnicas a las actividades del proyecto, encaminados a satisfacer o colmar las necesidades y expectativas de una organización mediante un proyecto" (PMI ,2008).

IPMA da otra definición según la cual la disciplina del *Project Management* consiste en "la planificación, organización, seguimiento y control de todos los aspectos de un proyecto, así como la motivación de todos aquéllos implicados en el mismo, para alcanzar los objetivos del proyecto de una forma segura y satisfaciendo las especificaciones definidas de plazo, coste y rendimiento/desempeño. Ello también incluye el conjunto de tareas de liderazgo, organización y dirección técnica del proyecto, necesarias para su correcto desarrollo" (ICB-IPMA, 2006).

Si se aplican las anteriores definiciones a las características anteriores, de forma que se acoten las iniciativas *crowdsourcing* para así obtener un tipo de proyecto que pueda ser definido, gestionado y controlado, se podría conseguir optimizar el funcionamiento de este nuevo tipo de actividades.

De esta forma, se analizarán cada una de las características que se han descrito anteriormente, acotando las iniciativas *crowdsourcing* para poder definir un nuevo tipo de proyectos, sobre los cuales puedan ser estudiados los sistemas que se aplican para gestionar y controlar este tipo de proyectos; y en caso de que no exista ninguno, poder generar un sistema de seguimiento y gestión como ocurre con los proyectos tradicionales. Este nuevo tipo de proyectos, pasará a llamarse ***crowdprojects.***

7.1. Características

A continuación, se van a analizar una por una las características descritas en la Figura 3 apoyándose en las definiciones anteriores para tratar de identificar las iniciativas *crowdsourcing* que sean *crowdprojects*, y poder dar a continuación una definición adecuada de este nuevo término.

Carácter del proyecto

Al igual que ocurre con los proyectos tradicionales, los *crowdprojects* pueden ser indistintamente de carácter económico o de carácter social. Es decir, el carácter del proyecto no es una propiedad que identifique a este nuevo tipo de proyectos colaborativos.

Sector económico

De igual forma que los proyectos tradicionales pueden pertenecer a cualquier sector económico, los *crowdprojects* se desarrollan en un sector económico determinado. De esta forma, puede haber *crowdprojects* relacionados con cualquiera de los tres sectores económicos existentes. Sin embargo, por las características básicas de los proyectos *crowdprojects,* la mayoría de estos se desarrollan en el sector terciario o servicios.

Periodo de realización

Apoyándose en la definición dado por el PMBOK, en la que se define proyecto como un "esfuerzo temporal encaminado a la creación de un producto, servicio o resultado único"; se puede deducir que al tratarse de un esfuerzo temporal es necesario que tenga un comienzo y un final. De este modo, todas aquellas iniciativas *crowdsourcing* que tienen un periodo o plazo de realización sin determinar no pueden ser consideradas *crowdprojects*. Por otro lado, todas aquellas actividades *crowdsourcing* siempre que tengan un plazo finito, independientemente de que este sea largo, medio o alto, podrán ser consideradas *crowdprojects*.

Coste del proyecto

Otra de las características observadas a la hora de categorizar todos los proyectos estudiados, es el coste de dicho proyecto. En esta ocasión y de igual manera que sucede

con los proyectos tradicionales, todas las iniciativas *crowdsourcing* podrán ser consideradas *crowdprojects* independientemente de que su coste sea alto, medio o bajo.

Nivel de externalización

El nivel de externalización de los proyectos *crowdsourcing* no es una característica que intervenga en la decisión de catalogar dicha actividad como *crowdproject* o no. Por lo tanto, siempre que un proyecto tenga al menos una parte realizada mediante la subdivisión de tareas a través de *crowdsourcing* podrá ser considerado *crowdproject*, independientemente de que sea íntegramente realizado por la multitud.

Número de participantes

De igual forma que en los proyectos tradicionales se pueden encontrar equipos de trabajo de muy diferentes tamaños, el número de participantes no es una característica que se utilice para identificar a un *crowdproject*. De esta forma existirán *crowdprojects* donde el número de participantes sea alto, otros donde sea medio y otros proyectos donde el número de participantes sea bajo.

Tipo de tareas

Teniendo en cuenta tanto la definición dada por Parodi a partir de la cual se deduce que es necesario que los proyectos tengan un principio y un final definido previamente, al igual que unas tareas o actividades definidas y coordinadas, dependiendo del tipo de tareas que posean las iniciativas *crowdsourcing* pueden ser o no consideradas *crowdprojects*.

Las actividades *crowdsourcing* en las que se desconozcan las tareas que forman parte del proyecto, bien sea porque son infinitas o porque no tiene límites definidos, no podrán ser consideradas *crowdprojects*.

Tamaño de las tareas

El tamaño de las tareas que forman parte de los proyectos *crowdsourcing* no es una característica que intervenga en la decisión de catalogar dicha actividad como *crowdproject*. Por tanto, pueden existir *crowdprojects* donde la mayoría del trabajo a realizar sea *microwork* otros donde la mayor parte del trabajo sea *macrowork*, y otros, generalmente la mayoría, donde se entremezclen tareas grandes con tareas pequeñas.

Organización de las tareas

Para conseguir organizar los recursos de los que se dispone, es necesario poder controlar y organizar las tareas dentro de un proyecto. En los proyectos tradicionales, las tareas están controladas y asignadas a un determinado equipo de trabajo, evitando así que varios equipos de trabajo estén haciendo trabajo repetido. Además cuando una tarea se da por finalizada, se continúa desarrollando otras tareas y no se puede modificar y rehacer infinitas veces.

De este modo, la organización de las tareas en las iniciativas *crowdsourcing* es una característica a tener en cuenta a la hora de categorizar tal actividad como *crowdproject*. Solo aquellas iniciativas en las que todas las tareas sean asignadas o dirigidas podrán ser consideradas *crowdprojects*, de forma que si existen tareas libres, que no tengan ningún control y puedan ser rehechas infinidad de veces aunque se hayan dado por finiquitadas, no podrán ser consideradas como tales.

Complejidad de las tareas

En los proyectos tradicionales la complejidad varía de unas tareas a otras. De esta forma, se pueden encontrar tareas simples y complejas, e incluso tareas creativas. Si aplicamos este aspecto a las iniciativas crowdsourcing, se puede ver que no es una característica que

determine si es crowdproject o no. Por lo tanto, independientemente de que las tareas sean simples, complejas o creativas, las iniciativas pueden ser consideradas crowdprojects.

Retribución de las tareas

Aunque la mayoría de las tareas que se realizan en un proyecto tradicional son remuneradas, puede ocurrir que en ocasiones alguna tarea sea realizada de manera altruista. Por lo tanto, la retribución de las tareas no es un factor a tener en cuenta a la hora de catalogar una iniciativa *crowdsourcing* como *crowdproject*.

7.2. Definición

Tras haber analizado todas las características estudiadas, así como las definiciones más representativas del término proyecto, se podría definir crowdproject como **esfuerzo temporal encaminado a la creación de un producto, servicio o resultado único a través de una iniciativa crowdsourcing con un periodo de realización limitado, donde las tareas a realizar son conocidas y se encuentran claramente definidas, además de ser dirigidas** (Rubio, 2014). Es decir, se pueden considerar *crowdprojects* todas aquellas iniciativas *crowdsourcing* que poseen las características generales de los proyectos tradicionales.

Teniendo en cuenta que una iniciativa *crowdcasting* se define como la iniciativa en la que un individuo, empresa u organización plantea a la multitud un problema o tarea, siendo recompensado quien lo resuelva primero o mejor lo realice (Estellés, 2012), este tipo de iniciativas nunca puede ser considerado como *crowdproject* ya que el problema o tarea se plantea íntegramente a la multitud, por lo que además de ser considerado como una única tarea, esta no es dirigida, si no libre, y todos los *crowdworkers* trabajan de forma individual en la misma tarea.

Por otro lado, las iniciativas *crowdcollaboration* se han definido como aquellas "actividades en las que se produce una comunicación entre los individuos de la multitud, mientras que la empresa iniciadora del proceso queda relativamente al margen. En estas tareas, los individuos aportarán su conocimiento para resolver problemas o plantear ideas de forma colaborativa" (Doan, Ranakrishnan & Halevy, 2011), por lo que a diferencia de los *crowdprojects* que consisten en la creación de un producto, servicio o resultado único, en estas iniciativas no se crea, sino que únicamente se aporta conocimiento para resolver problemas o plantear ideas.

En lo referente a las actividades *crowdfunding* donde se realiza "una convocatoria abierta, fundamentalmente a través de Internet, para la provisión de recursos financieros, ya sea en forma de donación o a cambio de algún tipo de recompensa y/o los derechos de voto con el fin de apoyar las iniciativas para propósitos específicos" (Schwienbacher & Larralde, 2010), tampoco puede ser considerado como *crowdproject* por la misma razón que las iniciativas *crowdcollaboration*, es decir, no hay creación de un producto, servicio o resultado único, si no que los individuos únicamente aportan recursos financieros. En esta ocasión, lo que sí podría ser considerado *crowdproject*, sería la iniciativa que es apoyada a través de la iniciativa *crowdfunding,* en caso de cumplir las características mencionadas en su definición.

Por otra parte y de igual manera que en los casos anteriores, las iniciativas *crowdopinion* tampoco pueden ser consideradas crowdprojects. Por medio de estas actividades únicamente se busca recoger la opinión de los usuarios a cambio de algún tipo de recompensa, por lo que tampoco aparece la creación de un proyecto o servicio único.

Finalmente, se llega a la última actividad *crowdsourcing*. En este caso, las iniciativas *crowdcontent*, en las cuales "la multitud aporta su mano de obra y su conocimiento para crear o encontrar contenido de diversa naturaleza" (Doan, Ranakrishnan & Halevy, 2011) si

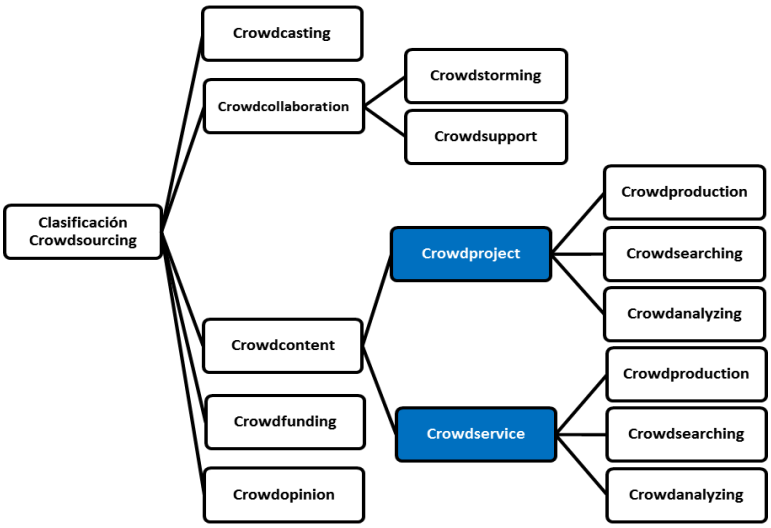
pueden ser consideradas *crowdprojects*. Sin embargo, no todas las actividades *crowdcontent* son *crowdprojects*.

Dentro de las iniciativas *crowdcontent*, se pueden encontrar los subtipos *crowdproduction*, *crowdanalyzing* y *crowdsearching*. Analizando uno a uno, para identificar aquellas actividades que pueden ser considerados *crowdproject*, se llega a la conclusión de que ambos subtipos pueden ser *crowdprojects* siempre que el proyecto tenga un periodo de realización limitado, además de estar formado por unas tareas a realizar conocidas y claramente definidas, además de ser dirigidas; ya que este tipo de iniciativas consisten en la creación de un proyecto o servicio único.

Por tanto, teniendo en cuenta la definición dada para el término *crowdproject* así como la clasificación anteriormente, que únicamente tiene en cuenta la finalidad de las iniciativas *crowdsourcing*, este tipo de proyecto sería un subtipo de actividades *crowdcontent*. En la Figura 4 se puede ver la incorporación de este tipo de proyectos en la clasificación dada por Estellés.

Al no ser todas las iniciativas *crowdcontent* de tipo *crowdproject*, es necesario acuñar un nuevo término para aquellas iniciativas que no son de este tipo. Al igual que aquellas actividades que no son consideradas proyectos tradicionales, y generalmente se les aplica el término de servicios, en esta ocasión, el término elegido para este tipo de actividades *crowdcontent* que no cumples los requisitos de los *crowdprojects*, será el de ***crowdservice*** (Rubio, 2014).

Figura 4: Clasificación de las iniciativas crowdsourcing.



8. Conclusiones

Aunque Jeff Howe acuñó el término crowdsourcing en el año 2006, ya existían numerosas iniciativas de este tipo muchos años antes, como por ejemplo The Longitude Prize o el Oxford English Dictionary. Sin embargo, gracias a internet y a las nuevas tecnologías, las iniciativas crowdsourcing han aumentado considerablemente en los últimos años. Sin embargo, no existe una definición ampliamente aceptada y todas las clasificaciones existentes de este tipo de iniciativas solo tienen en cuenta la finalidad que persiguen. A lo largo de este trabajo y tras haber realizado un estudio exhaustivo de estas actividades se ha realizado una serie de clasificaciones que tienen en cuenta otras características encontradas en las iniciativas crowdsourcing.

Tras aplicar los conceptos y características relacionadas con los proyectos tradicionales y el project management, se encuentra un nuevo tipo de iniciativas que pasan a llamarse crowdprojects. Sin embargo, la mayoría de las iniciativas crowdsourcing estudiadas no pueden ser consideradas crowdprojects. Esto se debe a que actualmente no existe una metodología o un sistema de gestión que garantice su éxito y de esta forma fomente el desarrollo de este tipo de proyectos. Surge por tanto, la necesidad de crear una metodología o sistema de gestión, seguimiento y control de este tipo de proyectos que podría dar un gran valor a las empresas e instituciones ya que permitiría tener unos recursos humanos altísimos y que el futuro de este tipo de proyectos es prometedor si se consiguen buenas metodologías porque se puede conseguir un gran ahorro económico y temporal al mismo tiempo que se dispone de muchos más recursos. Es necesaria una vigilancia tecnológica debido a que el número de iniciativas crowdsourcing, y sobre todo crowdproject, seguirá aumentando.

9. Referencias

Brabham, D. (2008). Crowdsourcing as a model for problem solving: An introduction and cases. International Journal of Research into New Media Technologies, 14, 75–90.

Doan, A., Ramakrishnan, R., & Halevy, A. Y. (2011). /Crowdsourcing systems on the World-Wide Web. Comunication of the ACM, 54/, 86-96.

Estellés, E. & González, F. (2012). Clasificación de iniciativas de crowdsourcing basada en tareas. El profesional de la información, 21(3), 283-291.

Estellés, E. (2013). Tesis Doctoral: Relación entre el crowdsourcing y la inteligencia colectiva: el caso de los sistemas de etiquetado social. Universitat Politècnica de Valencia.

Howe, J. (2006). The rise of crowdsourcing. Wired, 14, 6.

ICB-IPMA (2006). Competence Baseline Version 3.0.

International Project Management Association. IPMA. (1999). ICB: IPMA Competence Baseline. Caupin, G, Knopfel, H, Morris, P, Motzel, E, and Pannenbacker, O.

Parodi, C. (2001). El lenguaje de los proyectos. Gerencia social. Diseño, monitoreo y evaluación de proyectos sociales. Lima-Perú: Universidad del Pacífico

Project Management Institute (PMI). (2000). PMBOK Guide. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Project Management Institute

PMI. (2008). Guía del PMBOK, Cuarta Edición. Project Mananagement Institute

Rubio, A. (2014). Trabajo Fin de Máster: CROWDPROJECTS: Caracterización y clasificación de proyectos colaborativos. Universidad de Oviedo.

Schwienbacher, A. & Larralde, B. (2010). Crowdfunding of small entrepreneurial ventures. Book chapter forthcoming in Handbook of Entrepreneurial Finance. Septiembre

01-023

STUDY OF COLLUSION IN BIDDING AND INTEREST FOR PROJECT MANAGER

González-Cruz, Mª Carmen [1]; Ballesteros Pérez, Pablo [2]; Fuentes Bargues, José Luis [1]; López Colomer, Antonio [3]

[1]Universitat Politècnica de València, [2]Universidad de Talca, [3]Dinámica Construcción S.A.

This communication shows an analysis of the collusion phenomenon and concepts related with collusion, the impact of this phenomenon in tenders, and how its implementation is carried out, and a study of the consequences in those areas where it can incur. The methodology was, through case studies from literature, legislation and case law, and other studies to attempt to obtain standardized behavior in order to prevent or minimize the effects of the collusive agreements patterns, allowing conclusions to give some recommendations/ guidelines for project managers to help them study, analyze and minimize the risk of collusive agreements which can adversely affect the development of the project

Keywords: *tender; auction; collusion; bidder*

ESTUDIO DE LA COLUSIÓN EN LICITACIÓN PÚBLICA Y SU INTERÉS PARA EL DIRECTOR DE PROYECTOS

En la presente comunicación se realiza un análisis del fenómeno de la colusión y otros conceptos afines, las implicaciones que conlleva su realización, y el estudio de sus consecuencias en los ámbitos en los que puede incurrir. La metodología que se ha seguido es, a través de casos estudio de la bibliografía existente, de la legislación y jurisprudencia al respecto, así como de los intentos por obtener patrones normalizados de comportamiento que permitan evitar, prevenir o minimizar los efectos de los acuerdos colusivos, lo que ha permitido extraer conclusiones para dar unas recomendaciones/indicaciones a los directores de proyectos que les ayude a estudiar, analizar y minimizar el riesgo sobre acuerdos colusivos que puedan afectar al correcto desarrollo del proyecto.

Palabras clave: *licitación; subasta; colusión; ofertante*

Correspondencia: María Carmen González Cruz mcgonzal@dpi.upv.es

1. Introducción

Se define el término “Colusión” como un pacto ilícito en daño de un tercero. (DRAE). Esta definición, aplicable a cualquier ámbito, en este trabajo se centra en el concepto económico de la colusión, y más concretamente, en el campo de la adjudicación de contratos con la administración pública, donde este fenómeno resulta de mayor extensión en los países desarrollados.

Los entes, organismos y entidades del sector público, han de recurrir con frecuencia a los servicios de empresas privadas, para proveerse de múltiples bienes y servicios, para la construcción de infraestructuras de uso público o para la gestión de algún servicio de titularidad pública. Con la finalidad de hacer un buen uso del dinero público, es de vital importancia que los órganos de contratación estén en disposición de garantizar una competencia legítima entre los ofertantes que participan en una licitación, ya que, de este modo, es más probable que paguen un precio inferior por un determinado bien o servicio, y/u obtengan una calidad superior que en el caso en el que esta competencia no se produzca o se vea alterada por alguna falsedad en el proceso de adjudicación y licitación. Para tratar de alcanzar esta situación de competencia legítima, tanto la normativa española como la comunitaria en materia de contratación pública establecen un conjunto de principios, técnicas e instrumentos para su cumplimiento.

A pesar de que los organismos públicos disponen de herramientas para tratar de asegurar la libre competencia en las licitaciones públicas, uno de los principales elementos negativos que puede incidir en los procesos de licitación y que no está contemplado expresamente en la normativa de contratación pública es el riesgo de que se produzcan acuerdos colusorios entre las empresas que participan en dichas licitaciones, y se desvirtúen, por tanto, los resultados finales de la Adjudicación. (Autoridad catalana de la competencia, 2010)

2. Conceptos

Aunque hasta ahora se ha introducido únicamente la definición de colusión y su vertiente económica, se deben distinguir diversos conceptos que afectan en cierta medida a la libre competencia:

Oligopolio, que designa lo que a menudo ha sido calificado como “competencia imperfecta”, en el que una cantidad limitada de empresas se dirige a una gran cantidad de clientes. En las economías modernas es habitual ver como algunas empresas absorben a sus competidoras con el fin de ejercer un monopolio “de facto” en una determinada rama de la actividad económica. Puesto que esto supone un coste muy elevado, a veces pueden producirse acuerdos entre diversas firmas competidoras en un mismo mercado. Los oligopolios se caracterizan, generalmente, por la disminución de las luchas comerciales, por la homogenización de los productos y por precios más altos y producciones menores lo que hace más difícil la elección a los consumidores, de productos o servicios similares. Aunque la existencia de un pequeño número de empresas en la disputa del mercado, no tiene por qué afectar a la libre competencia en este sector, veremos más adelante que la presencia en una licitación de un número reducido de ofertantes es un factor favorecedor de la colusión.

Cártel. En un cártel, las empresas tratan de obtener el máximo beneficio posible, y, generalmente, la diferencia de beneficio que se obtiene con respecto al previsto si no hubiera existido el acuerdo, se reparte entre los productores que cooperan. Existen ejemplos muy conocidos a nivel mundial, como la OPEP, que controla el comportamiento del mercado. (Ruiz-Caro, 2001). Las principales actuaciones que un cártel suele acometer para “controlar” un mercado, son fijar los precios, limitar la oferta disponible y tratar de obtener

mayores beneficios posibles del mercado. Aunque el concepto de cártel está más orientado a un mercado de producción, se puede considerar que la colusión es el resultado de las actividades de un Cártel empresarial.

Colusión administración-empresa. Dentro de la definición de colusión como pacto ilícito para perjudicar a un tercero, al restringirse al ámbito de la contratación pública, se debe hacer la distinción entre un acuerdo producido entre empresas en perjuicio de la administración, y el que se puede producir por el acuerdo entre empresas y funcionarios administrativos en perjuicio igualmente de la administración. Este término, también llamado corrupción política, afecta negativamente al desarrollo económico. En el sector privado, la corrupción incrementa los costes de las actividades empresariales, y también genera grandes distorsiones económicas en el sector público, al desviarse inversiones públicas y no resultar acordes los costes de estas inversiones con los productos o los servicios prestados según los precios de un mercado competitivo. En países con un alto índice de corrupción, es más habitual encontrarse en la situación en la que la colusión se produce por un acuerdo entre una empresa y un funcionario público, donde la empresa resulta favorecida en la adjudicación pública a cambio de un soborno. El índice de percepción de la corrupción, elaborado por la organización internacional “Transparencia Internacional”, mide en una escala de 0 a 10 los niveles de corrupción del sector público en un país determinado. De los últimos datos publicados en 2011 se obtiene que los países con mayor índice de corrupción son Asiáticos, Africanos y de América del Sur, y apenas son 25 los que obtienen una nota igual o superior a 7, entre los que no se encuentra España.

Colusión. Es la situación que se produce cuando existe un acuerdo entre empresas que concurren a una licitación con el objeto de alterar la competencia en beneficio propio. En los países con una legislación más desarrollada y un mayor control de los funcionarios públicos, es la forma más común de colusión, y es sobre la que se va a incidir en este texto.

3. Regulación en la contratación en la Administraciones Públicas

3.1 Introducción

Probablemente el hecho de que en las licitaciones públicas los criterios de adjudicación sean fijados y publicitados, sin posibilidad de modificaciones posteriores resulta favorecedor para, conocidos dichos criterios, sea más viable que se produzcan acuerdos para alterar el funcionamiento normal del proceso de adjudicación. En una adjudicación privada, la posibilidad de modificación de los criterios de contratación por razones subjetivas hace que, salvo que se controle la práctica totalidad de la oferta (monopolios o cárteles), hace que dicho tipo de acuerdos puedan resultar menos efectivos, ante la posibilidad real de que las ofertas presentadas sean rechazadas por la simple sospecha de una alteración injustificada de los precios. Por tanto, ante el hecho de que la mayor parte de estos acuerdos se producen en licitaciones públicas, y que muchos de los proyectos gestionados por los directores de proyectos se mueven en este ámbito, en este punto se recogen las normas comunes de contratación en la administración pública española, para poder conocer mejor los mecanismos que rigen este tipo de licitaciones y entender cómo se relacionan estas normas con las actuaciones colusivas de las empresas que optan a ellas.

Para el análisis de todos los aspectos relacionados con la contratación pública, se ha tenido en cuenta la Ley 30/2007 de 30 de octubre de contratos del sector público, en vigor desde el 1 de Mayo de 2008 y modificada por los reales decretos 817/2009 y 30/2011.

3.2 Aspectos básicos

Los contratos públicos, que regulan la compra de bienes y suministros, la contratación y gestión de servicios y el encargo de obras por parte de cualquier ente, entidad u organismo

del sector público, están regulados en España por normativa a distintos niveles. En este capítulo se toman como referencia las directivas europeas 2004/17/CE y 2004/18/CE.

La propia legislación Española define qué organismos tienen, o no, la consideración de Administración Pública y por tanto a que organismos afecta la aplicación de esta normativa.

3.3 Procedimientos de contratación

El procedimiento de contratación depende de la cuantía del contrato, y se distinguen tres casos, a saber, contratos menores, los cuales ofrecen mayor facilidad para ser objeto de acuerdos colusivos entre personal de la propia administración y las empresas, y aunque por su pequeña cuantía individualmente pueden no suponer un gran perjuicio para las administraciones, el mantenimiento prolongado de acuerdos colusivos en este ámbito puede ser de bastante importancia. Otros tipos de contratos son los ordinarios y los sujetos a regulación armonizada. Los expedientes pueden ser de dos tipos, de tramitación ordinaria y de tramitación abreviada, dividida esta última también en otros dos, Urgente y de Emergencia.

En muchos casos, la lentitud de la burocracia, así como la necesidad de ejecución de algunos de los contratos a licitación, hacen que los expedientes de tramitación abreviada se usen de manera más habitual de la que debiera. Este tipo de tramitaciones facilita, por sus características, la consecución de acuerdos colusivos por parte de las empresas.

3.4 Procedimientos de adjudicación

Existen 4 procedimientos de adjudicación de contratos. Los más habituales son el abierto y el restringido. El negociado y el diálogo competitivo solo pueden utilizarse en determinados supuestos autorizados expresamente. En los concursos de proyectos, se sigue un procedimiento diferenciado. El tipo de procedimiento de adjudicación puede ser de gran importancia para restringir la posibilidad de verse afectado por acuerdos colusivos.

3.5 Requisitos empresariales

Cualquier persona física o jurídica no puede, sin más, contratar con el sector público, puesto que se tienen que cumplir con una serie de requisitos. La inclusión de este tipo de requisitos, tanto técnicos como financieros, puede afectar de manera decisiva en el número de empresas que pueden presentarse a la licitación, y por tanto, incidir en la posibilidad de verse afectado por acuerdos entre empresas.

3.6 Licitación y adjudicación, formalización y ejecución del contrato

Son las últimas fases del proceso de contratación. Los contratos se adjudicarán a la oferta económicamente más ventajosa, pudiendo utilizar para su determinación uno o más criterios. Estos criterios adicionales pueden ser determinantes a la hora de evitar que las empresas puedan realizar acuerdos que modifiquen los precios que podría determinar la libre competencia.

4. El fenómeno de la colusión en la literatura científica

Es en el ámbito de la economía donde se han encontrado multitud de trabajos en los que se cita el término colusión, especialmente ligado a los cárteles empresariales, que son una especie de “acuerdo marco” colusorio. Puesto que el presente estudio trata de centrase en el análisis de los acuerdos colusivos, se ha excluido toda la literatura generalista hallada.

Tras la recopilación de documentación al respecto, y el análisis de la misma, se puede englobar la información obtenida en varios campos:

4.1 Guías para la detección y prevención de la colusión

Las guías publicadas por las diversas administraciones públicas son algunos de los elementos más útiles para comprender el concepto de la colusión, su alcance y su repercusión en el ámbito de la adjudicación de contratos públicos. Introducen las tipologías más comunes de colusión en el ámbito de las licitaciones, muestran una serie de indicadores del riesgo de una posible colusión y proponen herramientas para minimizar las posibilidades de colusión en las empresas que se presentan a una licitación pública.

4.1.1 Formas de comportamiento colusivo

A este respecto, las guías publicadas por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), introducen guías básicas para la lucha contra la colusión en la contratación pública. Capobianco y Danger, (2009) exponen las formas más comunes de ejecutar los acuerdos colusivos para facilitar la obtención del contrato a la empresa acordada. Estas formas son las siguientes:

Ofertas de resguardo: diseñadas para simular una competencia auténtica, y, por este motivo, se dificulta su detección. Generalmente suelen ser ofertas más elevadas que las del ganador designado o bien con términos no aceptables para el órgano de contratación. Suele ser el método más habitual, especialmente en el sector de la construcción. (Khumalo, Nqojela y Njisane, 2010).

Eliminación de ofertas: es una estrategia que adoptan las empresas que coluden, consistente en que una o más de estas compañías acepten abstenerse de presentar oferta, retirar una oferta presentada o presentar una oferta conjunta cuando la podrían haber formulado por separado. Es una práctica complementaria a las ofertas de resguardo, en el que el objetivo es igualmente simular una competencia real hasta el momento de la adjudicación del contrato.

Asignación de mercados: los competidores se reparten el mercado por áreas geográficas o por carteras de clientes, de manera que sus competidores no presentarán ofertas en los ámbitos no asignados. Éste tipo de acuerdos colusivos suele presentarse en contratos de bienes y/o servicios muy afectados en sus costes por los gastos de transporte. Se han encontrado casos publicados, relativos a diversos Estados de EEUU, entre los años 1994 y 1998 (Bajari y Ye, 2001), o en contratos de repavimentación de firmes en la prefectura de Osaka durante abril de 2002 y marzo de 2006 (Ishii, 2008)

Rotación de ofertas: las empresas que suelen coincidir en procesos de licitación, acuerdan cual es la empresa seleccionada para adjudicarse la licitación por “turnos”. Este esquema para obtener la adjudicación de los contratos públicos se complementa con el de ofertas de resguardo para la simulación de un mercado competitivo. Las empresas diseñan sistemas para tratar que sus acuerdos colusivos no sean detectados por las autoridades, utilizando, en ocasiones, sofisticados sistemas matemáticos para evitar ser identificados por los algoritmos diseñados para su detección (Bajari y Summers, 2002).

4.1.2 Indicadores de colusión

A este respecto, se pueden encontrar listados de indicadores en multitud de guías estatales, como las de la autoridad de la competencia Holandesa (Netherlands Competition Authority, 2010), o Nueva Zelanda (Commerce Comision, 2010), de otras autoridades gubernamentales, como estados de Estados Unidos de América, (Oregon state Bar Antitrust, 2004), e incluso de autoridades españolas, (Agencia de defensa de la competencia de Andalucía, 2010) (Autoridad catalana de la competencia, 2010).

En los procesos de licitación pública se produce la sustitución de la competencia en el mercado por una competencia “por el mercado” ya que las empresas rivalizan para obtener

el derecho a explotar unos servicios o actividades durante un periodo de tiempo determinado de una manera exclusiva. En estos casos la competencia se produce en el momento de la licitación del contrato administrativo. Una vez adjudicada la oferta, la competencia por el mercado desaparece hasta la próxima licitación. Por ello es especialmente importante que el procedimiento de licitación sea lo más competitivo posible, ya que en el caso de que se introduzcan elementos de distorsión, sus consecuencias persistirán durante toda la vida del contrato público. Algunas variables que permiten ponderar la probabilidad real de colusión en un determinado mercado son las que se indican a continuación (Autoridad catalana de la competencia, 2010):

Interacción repetida: para que la conducta colusoria sea llevada a cabo, es necesario que las empresas potencialmente involucradas interaccionen repetidamente en el tiempo. De hecho, es habitual que un mismo grupo de empresas con el mismo objeto social (Constructoras, empresas de servicios determinados….), presente ofertas en las mismas licitaciones, y por tanto establezcan una relación profesional que pueda convertirse en una relación de cooperación.

Concentración de la oferta: la probabilidad de manipulación de ofertas aumenta en aquellos mercados en el que existen pocas empresas. Cuanto menos sean éstas, es más fácil coordinar sus comportamientos, vigilar el cumplimiento de los acuerdos y obtener ganancias mayores si estas se han de repartir entre las empresas que coluden.

Competencia actual: si la competencia actual es elevada, es poco probable que la colusión tenga éxito, porque es más probable que los competidores que no forman parte de los acuerdos, puedan desestabilizarlos.

Homogeneidad de los productos: la homogeneidad de los productos favorece la colusión. Si existen diferencias relevantes, la empresa más competitiva pierde interés en alcanzar acuerdos con las competidoras, puesto que tiene mayor probabilidad de resultar adjudicataria por méritos propios.

Asociaciones empresariales o industriales: las asociaciones crean entornos de reunión y coordinación para todos sus miembros y pueden favorecer el intercambio de información relevante para la preparación de licitaciones. Dado que la interacción repetida puede favorecer la colusión, las reuniones de empresas que comparten un mercado crean un entorno propicio para crear y mantener estos acuerdos.

Vínculos estructurales entre empresas: las relaciones entre empresas favorecen la colusión, puesto que la presencia cruzada de sus miembros puede contribuir a incrementar los incentivos para maximizar beneficios y además facilitan el control de los acuerdos.

Contactos multi-mercado: las empresas que coinciden en licitaciones de ámbitos de mercado diferentes tienen más facilidad para llegar a acuerdos colusorios, dado que tienen intereses similares y los beneficios de una hipotética colusión serían mayores.

Barreras de entrada: cuando el acceso a un determinado mercado es difícil, las empresas que operan en él se tienen mutuamente identificadas y puede ser más fácil llegar a un acuerdo que las incorpore a todas.

4.1.3 Métodos para evitar la colusión

Se han identificado ciertos mecanismos para minimizar los riesgos de colusión antes de la adjudicación del contrato. Muchos de estos instrumentos comportan efectos tanto positivos como negativos para la competencia y el riesgo de colusión, y ha de ser el órgano correspondiente quien evalúe el punto de equilibrio teniendo en cuenta los riesgos. Se ha realizado un análisis a través de su implementación en la legislación española. (Autoridad catalana de la competencia, 2010).

Acuerdos marco: solo pueden concurrir las empresas que sean parte en el acuerdo previo con el órgano de contratación. Está regulado por el RDL 3/2011 Arts. 196 y ss. Del análisis de este sistema, se identifica como ventaja el que la participación será de, al menos 3 empresas, pero por contra, el acuerdo se cierra por hasta 4 años, lo que puede facilitar la colusión.

Procedimiento restringido: este procedimiento implica la participación de, al menos 5 empresas, pero los invitados son conocidos y la competencia se produce únicamente entre ellos. Es más fácil coludir.

Procedimiento negociado: tiene a su favor, la participación de, al menos 3 empresas en la fase final, pero puede facilitar el reparto de mercado o la rotación de ofertas.

Fraccionamiento en lotes: por un lado facilita el acceso a las pymes y aumenta el número de licitadores, pero por otro, las empresas colusorias se pueden repartir los lotes.

Pluralidad de criterios de contratación: dificulta acuerdos colusorios, pero puede restringir la competencia.

Subasta electrónica: el procedimiento iterativo mejora el precio, pero no evita acuerdos previos.

Establecimiento de plazos de contrato cortos: más procesos de licitación implica más competencia, pero facilita acuerdos de rotación de ofertas.

Prescripciones técnicas y de solvencia que fomenten la igualdad: se incrementa la competencia, pero puede no resultar adecuado para el objeto de contratación.

Garantías provisionales: disminuye el riesgo de eliminación de ofertas, pero dificulta la participación.

Publicidad y transparencia: aumenta el número de participantes, pero con mayor información aumenta el riesgo de colusión.

Utilización de medios electrónicos: incentiva la participación, pero promueve el contacto entre empresas competidoras.

Constitución de UTEs: facilita el concurso de pymes, pero las UTEs pueden ser contrarias a la competencia.

Clasificación empresarial: simplifica los trámites de participación, pero una excesiva compartimentación de la oferta restringe la competencia.

Subcontratación: facilita la entrada de Pymes, pero puede encubrir un reparto de beneficios contractuales.

4.1.4 Indicios de colusión

Detectar acuerdos colusorios no resulta sencillo. Las empresas son conscientes de que han de tomar medidas para mantener sus pactos ocultos. Pero hay ciertos elementos que pueden resultar ser un indicio de la existencia de comportamientos colusivos, como la identificación de los mismos errores de cálculos en los documentos presentados por diferentes licitadores, o encontrar mucha similitud en los formatos de la documentación presentada por diferentes empresas. En el análisis de los precios, pueden ser indicios, el identificar grandes diferencias entre la oferta ganadora y el resto, o un mismo proveedor ofreciendo precios muy diferentes en relación a otras ofertas en contratos similares, o detectar una variación de precios en un suministro, por ejemplo, comparado con otros del mismo proveedor en mercados cercanos.

También se pueden identificar indicios en los comportamientos de las empresas licitadoras, como por ejemplo, la detección de encuentros de licitadores previos a las presentaciones de

ofertas, empresas presentando ofertas al mismo tiempo, una empresa que presenta diversas ofertas y retira todas menos una cuando se conocen el resto de licitadores, empresas que aun sabiendo que no cumplen requisitos se presentan a una licitación o la identificación de ofertas manifiestamente inaceptables.

Para tener mejores herramientas de detección, resultaría adecuado incorporar los datos en un documento electrónico para configurar una base de datos que permitiera identificar patrones de comportamiento recurrente en los procesos de adjudicación que pudieran constituir indicios de una posible colusión. Una vez analizados los datos de las licitaciones, se podrían buscar elementos que indicaran una posible colusión, como pueden ser los siguientes (Autoridad catalana de la competencia, 2010): a) aumentos idénticos en los precios que no pueden explicarse por un aumento similar en costes con respecto a licitaciones anteriores; b) la desaparición inesperada de descuentos en relación con licitaciones anteriores; c) la entrada de un nuevo competidor asociada a la una variación drástica en los precios del resto de ofertas con respecto a licitaciones anteriores o d) la repetición sistemática de un ganador en una misma zona (reparto de mercado), entre otros.

Por último, se han analizado los estudios matemáticos en relación a la colusión. Éstos tratan de encontrar parámetros comunes en los diversos casos de colusión analizados para poder encontrar un modelo que pueda aplicarse a otros casos con el fin de detectar posibles comportamientos colusivos y evitarlos. Cabe referenciar el trabajo de Abrantes-Metz, et al, (2005), que refleja que, tras el colapso del cártel formado por varias empresas para el suministro de pescado congelado al ejército de los Estados Unidos, el precio medio de adjudicación disminuyó en un 16%, mientras que la desviación estándar aumentó en un 263%. Justificaciones teóricas y empíricas demuestran que existe una disminución de la varianza mientras se mantienen los acuerdos colusivos, y ésta incrementa cuando por intervención de algún agente exterior resulta más difícil coordinar los precios de las ofertas, o cuando existen otro tipo de problemas que afectan al cártel. Otros estudios previos, (Athey, 2004), también sugieren una correlación entre la disminución de la varianza y un probable acuerdo colusivo, lo que hace patente que es complejo tratar de analizar comportamientos colusivos mientras el acuerdo se encuentra todavía vigente, puesto que cada acuerdo puede hacer variar el comportamiento del mercado según sean los parámetros modificados por este, y además resulta muy complejo extrapolar los resultados de un tipo de industria a otro. Tan solo el análisis de los datos en acuerdos probados y concluidos puede ofrecer más alternativas al estudio del comportamiento del mercado en estos casos, lo que se considera interesante para futuras investigaciones en este ámbito.

5. Una visión práctica para el Director de proyectos

Es posible considerar como un riesgo potencial para los proyectos la posibilidad de que algunos de los agentes implicados en estos proyectos realicen acuerdos colusivos en beneficio propio y en perjuicio de la optimización de los costes del proyecto en alguna de sus fases, y bajo este enfoque, será el Director del Proyecto quien asuma la responsabilidad de utilizar las herramientas a su alcance para, en la medida de lo posible, actuar, tanto en el momento de la planificación como en el del control de la ejecución del proyecto, en pro de evitar que estas actuaciones afecten negativamente a los costes del proyecto.

En este apartado se aplican los resultados obtenidos del análisis para elaborar una serie de recomendaciones prácticas (a integrar en el ámbito de las herramientas, metodologías para la dirección del proyecto) que sirvan como salvaguardas para prevenir o mitigar el impacto de este riesgo en los proyectos. Aunque dichas recomendaciones son aplicables a la gestión de los proyectos independientemente de la posición en la que se encuentre el Director de Proyectos, y dado que según la posición del mismo, se debe hacer más hincapié en la planificación y las metodologías para dificultar dichos acuerdos, o bien para el control y la

minimización de sus efectos en las fases ejecutivas, sería conveniente dar las pautas para los diferentes enfoques de la dirección del proyecto (desde el punto de vista de la Administración, desde el un promotor privado y desde el punto de vista del contratista), pero en esta comunicación, se presenta dicha perspectiva desde el punto de vista de la Administración Pública.

5.1 Dirección de proyectos desde la Administración

Para tratar de afrontar el fenómeno de la colusión en la contratación pública, se propone al director de proyectos, una serie de medidas, distribuidas en tres fases, con objeto de minimizar las posibilidades de que acuerdos colusivos puedan afectar negativamente a los costes de los proyectos

5.1.1. Fase 1: Análisis de datos históricos

Crear y mantener una base de datos históricos de los proyectos, parametrizada por sus elementos comunes, puede resultar interesante para detectar desviaciones en las medias, que den indicios de que algo fuera de lo normal puede estar sucediendo en una licitación concreta. A este respecto podemos identificar dos tipos de parámetros a analizar en un conjunto de proyectos similares. Por un lado, los parámetros específicos de la tipología de proyecto en cuestión, como, por ejemplo, si el caso fuese proyectos de pavimentación, estos parámetros podrían ser la superficie a asfaltar, el precio por Tm de asfalto según su tipo, la repercusión en los precios de la distancia existente desde la base de las empresas licitantes al lugar de ejecución de la obra. Igualmente podemos tomar cualquier otro ejemplo, especialmente en los contratos de suministro de materiales, donde el material suministrado generalmente suele ser bastante homogéneo, y son unos pocos parámetros los que marcan las diferencias en los precios finales de las ofertas. Por otro lado, podemos identificar indicios de comportamientos colusivos en las ofertas realizadas, parametrizando los indicadores más comunes de colusión, que ya identificamos en la primera parte de este trabajo, para observar cómo evolucionan los precios según exista variación en alguno de estos parámetros.

Otra medida que se puede adoptar en esta fase de análisis de datos históricos es desarrollar un modelo matemático que simule el comportamiento de los precios de las adjudicaciones incluyendo estos parámetros. Como se ha podido ver en alguno de los ejemplos estudiados en la literatura existente, aunque es difícil encontrar un modelo generalista para detectar “anomalías” que indiquen la posible presencia de acuerdos colusivos en las licitaciones, cuando un modelo se crea a partir de una tipología específica de proyectos y licitaciones, puede dar resultados muy ajustados a la realidad. Más aún si en dicha tipología de proyectos se han documentado casos probados de colusión, con lo que, además de modelizar el comportamiento “normal” del mercado, tenemos una guía de cómo reacciona el modelo ante un comportamiento “anormal” provocado por la presencia de acuerdos colusivos.

Aunque esta primera fase de análisis del histórico de licitaciones y desarrollo de un modelo de simulación del comportamiento de los precios de adjudicación es costosa, y requiere el empleo de una gran cantidad de recursos, a medio y largo plazo, puede resultar beneficioso, ya que salvaguarda del riesgo que supone la posibilidad de que los precios de adjudicación se vean afectados por acuerdos colusivos que perjudiquen a la administración.

5.1.2. Fase 2: Diseño de la Licitación

Con independencia del tamaño de la administración o del tipo de trabajo a someter a licitación, la ley que regula la contratación pública facilita una serie de mecanismos para adaptar las condiciones y “reglas” de la licitación a las necesidades puntuales en cada caso.

Los directores de proyectos en las administraciones, tienen la capacidad de utilizar estas herramientas para diseñar licitaciones que dificulten, en la medida de lo posible, la consecución de acuerdos colusivos. Por tanto, a continuación se muestra cuadro resumen de las posibilidades que tiene un Director de proyectos en el diseño de una licitación, así como de los indicadores que deberá observar para tratar de detectar si las herramientas resultan efectivas como método disuasorio de acuerdos colusivos. (ver tabla 1)

Tabla 1. Indicadores para el diseño de la licitación

Herramienta	Ventajas	Inconvenientes
Acuerdos Marco	Se realizan acuerdos por un tiempo determinado, lo que resulta muy adecuado para pequeños proyectos recurrentes en el tiempo. Se presentan un mínimo de 3 empresas.	Contratos muy largos pueden incitar a las empresas a llegar a acuerdos para no quedar sin contratos durante tanto tiempo.
Procedimientos restringidos	Las empresas concurrentes son seleccionadas previamente por la administración. Han de participar un mínimo de 5 empresas.	El hecho de que el número de empresas a licitar sea limitado y el nombre de estas sea público hace que resulte más fácil coludir.
Procedimientos negociados	Las empresas concurrentes son seleccionadas previamente por la administración y las condiciones del contrato son negociadas con ellas. El procedimiento puede ser sin publicidad.	Al ser un procedimiento muy restrictivo, el número de empresas suele ser menor y resulta más fácil que acuerden un reparto de mercado o una rotación de ofertas.
Fraccionamientos por lotes	Puede optimizar costes y aumentar el número de licitadores al permitir acceso a pymes y empresas especializadas.	Puede facilitar los acuerdos colusorios al realizar las empresas un reparto en la adjudicación de los lotes.
Aumento de los criterios de contratación	Un aumento del número de criterios permite ponderarlos y obtener una mayor adaptabilidad a las necesidades del proyecto.	Demasiados criterios pueden restringir el número de empresas que cumplan y facilitar la posibilidad de acuerdos entre estas.
Subastas electrónicas	El procedimiento iterativo incita a una mejora en el precio de las ofertas.	No evita la consecución de acuerdos previos.
Establecimiento de plazos de contrato cortos	Al haber mayor cantidad de licitaciones, se facilita la inclusión de mayor cantidad de empresas ofertantes.	Pueden facilitar acuerdos de rotación de ofertas.
Ajuste de prescripciones técnicas y de solvencia	Ponderar adecuadamente requisitos técnicos y de solvencia puede permitir el acceso a más licitantes.	Solo puede ser aplicado a licitaciones muy determinadas en que estos requisitos puedan ser suficientemente flexibles.
Aumento de garantías provisionales	Minimiza el riesgo de acuerdos con ofertas de cobertura, ya que se reduce el riesgo de eliminación de ofertas por el coste que ello supone.	Aumentar las cantidades de las garantías puede limitar el acceso a algunas empresas.
Aumento de la publicidad y la transparencia	Al aumentar la publicidad y dar a conocer los criterios de adjudicación puede aumentar el número de empresas interesadas en licitar	Con mayor información para las empresas aumenta el riesgo de colusión entre ellas.
Utilización de medios electrónicos	Facilitar los trámites para licitar incentiva a un mayor número de empresas a presentar ofertas.	Se puede promover el contacto entre empresas competidoras.
Fomentar la constitución de UTEs	Facilita el concurso de pymes asociadas, y por tanto la competencia.	Las empresas con mayor probabilidad de ser adjudicatarias coludir formando una UTE para repartirse el contrato.
Requerir clasificación empresarial	Simplifica los trámites de participación a las empresas que tienen la clasificación requerida.	Restringe la competencia a las empresas poseedoras de las clasificaciones requeridas.
Permitir la subcontratación	Facilita la entrada de pymes que pueden no tengan capacidad suficiente para ejecutar el contrato sin subcontratar.	Posibilita los acuerdos colusorios pudiendo ser alguna empresa potencialmente licitante, subcontratista de la adjudicataria.

5.1.3. Fase 3: Vigilancia de las ofertas

Como complemento a lo anterior, resulta conveniente monitorizar las ofertas recibidas para tratar de detectar indicios de acuerdos colusivos que hayan superado las trabas impuestas

por los requisitos de la licitación. En la tabla 2, se muestran los elementos que pueden resultar indicativos de acuerdos colusivos, y que merecerían una atención especial por parte del director de proyectos.

Tabla 2. Indicadores para la vigilancia de las ofertas

Dónde buscar	Qué buscar
En los documentos	• Errores tipográficos o de cálculo en ofertas de varios licitantes diferentes. • Similitudes en el formato de la oferta presentada por varios licitantes diferentes.
En los precios	• Grandes diferencias entre la oferta ganadora y el resto. • Precios muy diferentes de un mismo proveedor en ofertas de diferentes licitantes. • Precios de suministro muy diferentes del mismo proveedor en otras ofertas del mismo licitante o en mercados cercanos o similares..
En las afirmaciones	• Proponer precios estándar de mercado o hacer referencia a ofertas de otros competidores.
En los comportamientos	• Encuentros injustificados de licitadores previos a la presentación de las ofertas. • Empresas presentando ofertas al mismo tiempo. • Empresas que presentan diversas ofertas y retiran todas menos una, una vez conocidos el resto de licitadores. • Empresas que presentan oferta a sabiendas de no cumplir los requisitos. • Ofertas manifiestamente inaceptables.
En otras licitaciones similares	• Aumentos idénticos en los precios que no pueden explicarse por aumentos similares en costes con respecto a licitaciones similares o cercanas en el tiempo. • Desaparición inesperada de descuentos en precios respecto a licitaciones similares o cercanas en el tiempo. • Entradas de nuevos competidores que provocan variaciones drásticas en los precios respecto a licitaciones similares o cercanas en el tiempo. • Repetición sistemática de un ganador en una misma zona o un patrón de repetición en el tiempo.

5.1.4. Fase 4: Puesta en conocimiento al organismo competente

Ante la sospecha de que la licitación puede estar afectada por la conducta colusiva de dos o más empresas licitantes, el Director del proyecto debe ponerlo en conocimiento del órgano competente, suministrándole cuanta documentación, pruebas e indicios puedan resultar relevantes, desde el mismo momento de las sospechas de estas actividades. (RDL 3/2011, Disposición adicional vigesimotercera). A partir de este punto, es el organismo competente el responsable de continuar con la investigación, analizando la documentación aportada con el fin de valorar si existen razones para abrir un expediente sancionador. La detección de indicios no es suficiente para poder sancionar una conducta colusoria. Hay que reunir las pruebas suficientes para concluir que esta conducta se ha producido sin ninguna duda. Para facilitar la recogida de pruebas, los organismos disponen de programas de “clemencia” en la que cualquier persona física o empresa puede ser beneficiada de exenciones de las multas o reducciones de estas, si se denuncia la existencia de los acuerdos y aporta pruebas fehacientes de este hecho.

6. Conclusiones

Las guías para la detección y prevención de la colusión ofrecen una información muy completa para enfocar, dentro de la legalidad vigente, los procesos de licitación como las reglas que permiten, en la medida de lo posible, asegurar la libre competencia de las empresas que presentan oferta, y así obtener un precio de adjudicación acorde a las circunstancias del mercado, sin verse afectado por acuerdos entre ofertantes que eleven los precios de adjudicación en beneficio propio.

El estudio de los casos de colusión documentados en la bibliografía, ha servido para detectar los patrones anómalos en comparación con cómo hubiera sido el desarrollo de las licitaciones en una situación de competencia pura.

El estudio aporta una visión de la extensión global del fenómeno de la colusión, que abarca, tanto la práctica totalidad de los sectores productivos, como territorialmente todos los lugares del planeta.

Del análisis de las diversas teorías estadísticas que tratan de modelizar matemáticamente la evolución de las licitaciones en las que se han presentado variaciones por la existencia de acuerdos colusivos, se puede llegar a afirmar que, si bien alguno de los esquemas matemáticos propuestos se ajustan bastante a la realidad de los casos particulares, extrapolar dichos modelos a otros casos de licitaciones resulta realmente complicado, dada la variedad de parámetros que se manejan en una licitación y también la variedad de formas en que se pueden mostrar dichos acuerdos colusivos.

Todo el análisis realizado, sobre el fenómeno, la legislación de contratación pública española y la literatura existente, se ha focalizado sobre la función del Director de proyectos, para aportar medios y herramientas para prevenir, detectar y minimizar los efectos que los acuerdos colusivos puedan tener en los proyectos que éste dirige.

7. Referencias

Abrantes-Metz, R., Froeb, L., Geweke, J.& C. Taylor. (2006) A variance screen for collusion. International Journal of Industrial Organization. Nº24, 467-486

Athey, S.(2004). Collusion and price rigidity. Review of economic Studies. 71 (2). 317-349

Bajari, P. y Summers, G. (2002). Detecting Collusion in Procurement Auctions. Antitrust law Journal. Nº70

Bajari, P., Ye, L. (2001). Competition versus collusion in Procurement Auctions: Identification and Testing. Working Papers 01001, Stanford University, Department of Economics.

Berasategui, J. (2007). La integración de la contratación pública en la Defensa de la Competencia. Gaceta jurídica de la Unión Europea y de la competencia, ISSN 1575-2054, Nº 247 , págs. 35-52

Capobianco, A. y Danger, K. (2009) OECD Guidelines for fighting bid rigging in public procurement

Ishii, R. Collusion in Repeated Pocurement Auctions: A Study of a Paving Market in Japan. Discussion Paper Nº262. Center of Excelence Program. Osaka University, 2008.

Khumalo, J. Nqojela, P.& Njisane, Y. (2010) Cover pricing in the construction industry: understanding the practice within a competition context

Ruiz-Caro, A. (2001). El papel de la OPEP en el comportamiento del mercado petrolero internacional. Proyecto CEPAL/Comisión europea. “Promoción del uso eficiente de la energía en América Latina”.

Legislación:

Agencia de defensa de la competencia de Andalucía. Recomendaciones para facilitar el acceso y promover la competencia en el ámbito de la contratación pública Andaluza. 2010.

Commerce Comision of New Zealand. Guidelines for procurers – How to recognize and deter bid rigging. 2010.

Guía para la prevención y detección de la colusión en la contratación pública. Autoridad catalana de la competencia.

Ley 30/2007, de 30 de octubre, de contratos del sector público.

Oregon State Bar Antitrust, trade regulation and unfair business practices section. Bid rigging detection in government construction contracts.

01-025

EVALUATION OF THE DOCUMENTATION CRITERIA OF DOCUMENTS REQUIRED IN PUBLICLY FINANCED R&D CALLS FOR PROPOSALS

Laine, Guillermo [1]; Mesa Fernández, José Manuel [2]; Villanueva Balsera, Joaquín [1]; Concepción Suárez, Ramiro [1]

[1] Universidad de Oviedo, [2] Universidad de Oviedo. Area de Proyectos de Ingeniería

Research projects present a set of distinctive features due to their higher risk level, financial needs or the different actors involved. Due to the importance and needs of this type of projects, there are multiple organizations and administrations, at regional, national and international level, that contribute to the project funding through different programs and calls for proposals. Both content and organization of documents required in each case is changing and diverse. Currently there is no generic model for documentation, which, in a way, makes it difficult to create the forms, especially for those actors with fewer resources as, for example, SME's. This paper analyzes the different documents required in regional (Principality of Asturias)and national calls for proposals, with the aim of identifying common as well as different elements, in both form and substance. Thus, we aim to provide criteria which enable organizations to, initially, formulate projects with more complete documentation and, facilitate the subsequent development of applications for the different calls for proposals.

Keywords: *R&D; publicly financed projects; documentation*

VALORACIÓN DE LOS CRITERIOS DE DOCUMENTACIÓN EN CONVOCATORIAS PÚBLICAS DE FINANCIACIÓN DE I+D+I

Los proyectos de investigación presentan un conjunto de características diferenciales, debido a su mayor nivel de riesgo, las necesidades de financiación, o los distintos agentes participantes, etc. Dada la importancia y necesidades de este tipo de proyectos, existe una multitud de organismos y administraciones que contribuyen a la financiación de estos proyectos, tanto a nivel regional como nacional e internacional, a través de distintos programas y convocatorias. El contenido y la organización de la documentación exigida por cada caso son cambiantes y diversos, no existiendo en la actualidad un modelo genérico, lo que dificulta en cierta medida la elaboración de las solicitudes, en especial a aquellos agentes con menor disponibilidad de medios como por ejemplo, las pymes. En este trabajo se aborda el análisis de la distinta documentación solicitada en convocatorias de nivel regional (Principado de Asturias) y nacional, con el objetivo de identificar tanto aquellos elementos comunes como las diferencias existentes, tanto formales como de contenido. De este modo se pretende proporcionar criterios que permitan a las organizaciones formular inicialmente sus proyectos elaborando una documentación más completa, que facilite la elaboración posterior de las solicitudes a las distintas convocatorias de financiación.

Palabras clave: *I+D+i; Proyectos con financiación pública; documentación*

Correspondencia: José Manuel Mesa Fernández mesa@api.uniovi.es

1. Introducción.

Desde un punto de vista teórico, la intervención de la financiación pública en el fomento de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación, se justifica por la existencia de fallos o defectos en el proceso y en el sistema mismo, por ejemplo para progresar en determinadas áreas que no son cubiertas por el ámbito privado, así como en la esperanza de que puedan ser subsanados a través de la aplicación de diferentes fórmulas de incentivación. La gran variedad de instrumentos de financiación existentes refleja las intenciones que tienen los organismos públicos de resolver estos problemas, sin embargo, los objetivos inicialmente perseguidos no siempre se cumplen y se hace importante analizar el porqué de estos fallos. La teoría sugiere que si estos instrumentos se diseñan de manera correcta, la respuesta de los participantes en términos de motivación y proyectos será la adecuada (Bach, Matt y Wolff 2014). Cuando se habla de financiación pública debe entenderse desde un punto de vista amplio, ya que los mencionados instrumentos se desarrollan a varios niveles –local, autonómico, estatal o internacional-, y los organismos y entidades de carácter sectorial o orientados hacia agentes específicos son muy diversos.

Dada la complejidad de los programas con los que se desarrollan estos mecanismos de financiación, se requieren estudios más detallados de los mismos para su mejor entendimiento y comprensión, tales como los desarrollados por Nelson (1993), en relación con los mecanismos de financiación pública de países como Francia, Italia, Japón, Estados Unidos, Reino Unido o Alemania, entre otros. Por otra parte, Chung (2002), analiza cómo se debería estructurar un determinado sistema nacional de innovación tomando los modelos regionales como base y haciendo un estudio de caso con el sistema de innovación coreano. Existen otros trabajos en donde se reflexiona sobre cómo se complementan los distintos sistemas de innovación de un país, como los realizados por Freeman (2002); o que analizan el impacto de los mismos en los países menos desarrollados, como los trabajos de Intarakumnerd, Chairatana y Tangchitpiboon (2002). En otros análisis destacados, diversos autores centran los estudios en los mecanismos de financiación pública de innovación completos de diferentes países, como los de Tshipamba et al. (2012), en donde analizan los casos de Estados Unidos, Corea, Finlandia y México para su comparación.

Centrándose en el ámbito del presente trabajo –dedicado a analizar la distinta documentación solicitada en convocatorias de nivel regional y nacional con el objetivo de identificar los elementos comunes y las diferencias existentes en las mismas-, es necesario destacar aquellos que tratan de homogeneizar o clasificar ciertos aspectos del sistema de financiación. En este sentido, es destacable el trabajo de Rodríguez, Fihser y Schuurbiers (2013), que aboga por una clasificación en diferentes sectores –Salud, Alimentación, Energía y Nanotecnologías-, pero orientando su estudio hacia la integración social de la ciencia, su traducción y su comunicación. Para lograr este objetivo, estos autores analizan más de 2.500 solicitudes correspondientes a tres Programas Europeos de Investigación y Desarrollo (*Framework Pogrammes*), durante el periodo 1998-2010 con el fin de poder establecer la evolución del nivel de integración social de los trabajos desarrollados.

Sin embargo, se requiere un análisis más en profundidad de estas solicitudes para ver qué puntos son los más interesantes a tener en cuenta a la hora de analizar la documentación presentada en una convocatoria. Para ello, son de interés los trabajos realizados por Proctor et al. (2012), en donde realiza un análisis de cuáles son los principales ingredientes a la hora de presentar una propuesta para una subvención. A grandes rasgos, estos autores explican qué se considera importante dejar claro a la hora de redactar la documentación para una convocatoria, como el caso de evidencias que realmente representan un avance (*Impacto* o *Valorización*), o que las estrategias de implementación propuestas son correctas (*Plan de Difusión*, *Planificación*). Por otro lado, resultan también interesantes los trabajos

desarrollados por Schwinn, DeLong y Shafer (1998), en donde analizan cuál es la mejor manera de presentar una propuesta –aunque en el campo de la medicina-. Ambos ejemplos constituyen una buena herramienta en la que basar los futuros análisis, ya que ofrecen un punto de vista interesante, como es el de los evaluadores.

Por último, y en esta misma línea, es necesario destacar los trabajos de Chung y Shauver (2008), Parker y Steeves (2005) y Madden y Wiles (2003), en donde, todos ellos, intentan identificar cuáles son los elementos clave a desarrollar a la hora de presentar una solicitud de financiación y cómo deberían ser redactadas las propuestas de proyectos.

Los diferentes Planes de Investigación que han ido apareciendo en España a lo largo de tiempo, han tenido –y tienen-, como objetivo, definir y concretar los ámbitos de actuación en los que se ofrecerán las distintas ayudas. Estos campos surgen del análisis de la situación actual del país, así como del estudio de los resultados de los Planes de Investigación anteriores. Además, cada Plan está estructurado en varios niveles –Estatal, Autonómico, Local-, y, a su vez, utilizan distintos organismos de financiación. Como consecuencia, son muy numerosas las convocatorias públicas a las que pueden concurrir los distintos agentes del sistema.

El mecanismo de financiación que se analiza en la presente comunicación es, por tanto, la financiación pública a nivel nacional y regional, ya que es un medio ampliamente extendido y cuenta con convocatorias suficientes como para poder desarrollar un estudio lo bastante amplio y bien fundamentado. Por otra parte, resulta también sencilla la búsqueda y el acceso a las diferentes convocatorias que salen desde los distintos organismos de financiación presentes en el Estado Español.

Dichas convocatorias exigen un conjunto de documentación y requisitos particulares en cada uno de los casos debido, entre otras cosas, a:

- Los objetivos perseguidos.
- Los agentes / beneficiaros a los que está destinado.
- Las características de la acción subvencionada.
- Los criterios de evaluación.
- El plazo o periodo de financiación.

Estas particularidades convierten a cada una de ellas en una convocatoria prácticamente nueva. Además de esto, cabe destacar que existen incluso cambios frecuentes dentro de una misma convocatoria de un año a otro. Estos también suponen dificultades adicionales, puesto que deberán ser tenidos en cuenta por quienes deseen participar, ya que serán evaluados conforme a los mismos. Elementos como el formato de la documentación, los plazos, el método para tramitar, los requisitos a reunir para participar o las características de los distintos participantes –entre otros-, son susceptibles de sufrir variaciones.

Con todo lo mencionado hasta ahora, se pretende hacer hincapié en la idea de que la financiación de la investigación y el desarrollo se mueven en un entorno muy cambiante y, por tanto, el objetivo del presente trabajo queda plenamente justificado. En él se aborda el análisis de la distinta documentación solicitada en convocatorias de nivel regional (Principado de Asturias) y nacional, con el objetivo de identificar, tanto aquellos elementos comunes, como las diferencias existentes, bien sean formales o de contenido. De este modo, se pretenden proporcionar criterios que permitan a las organizaciones formular inicialmente sus proyectos, elaborando una documentación más completa que les facilite el desarrollo posterior de las solicitudes a las distintas convocatorias a las que quieran aplicar.

2. Metodología.

La metodología seguida en el presente trabajo se divide en tres fases. La primera de ellas

engloba la búsqueda de las distintas convocatorias públicas (regionales y estatales), para la obtención de una muestra adecuada. En una segunda etapa, se clasifican en función de distintos criterios. Por último, en la tercera, se analiza el contenido de la documentación solicitada.

2.1. Selección de la muestra.

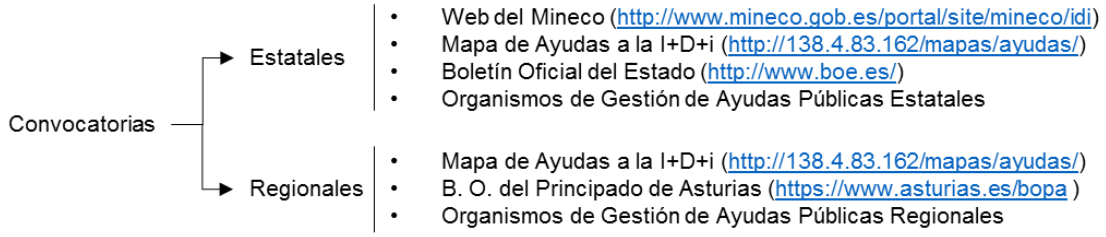
Como se ha indicado anteriormente, existen multitud de organismos a distintos niveles de la administración pública que financian proyectos de I+D. para configurar una muestra representativa y a la vez limitada, se ha decidido acotar el ámbito de estudio a:

- Convocatorias de ayudas públicas comprendidas entre el mes de Enero de 2013 y Julio de 2014, esperando que la muestra sea representativa con este intervalo.
- Convocatorias nacionales provenientes del actual *Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013–2016 (*en adelante *Plan Nacional)*, con independencia del organismo que las convoque.
- Convocatorias regionales que emanen del actual *Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación 2013-2017 (*en adelante*, Plan Regional)*, actualmente vigente en el Principado de Asturias, así como aquellas que, sin pertenecer expresamente al mismo, emanen de los organismos que gestionan y ofrecen ayudas en el Principado de Asturias.

Quedarían excluidas cualesquiera convocatorias de cualquier otro ámbito distinto al señalado anteriormente.

La Figura 1 detalla las fuentes utilizadas para realizar estas búsquedas clasificadas por orden de importancia. Es importante aclarar que es necesario contar con varios métodos de búsqueda con el objetivo de poder encontrar el mayor número de convocatorias posibles –aunque esto suponga obtener resultados redundantes en ocasiones-. Téngase en cuenta que en el momento en el que se requiera rellenar un campo con los parámetros de búsqueda, los resultados variarán en función de las palabras que se introduzcan. Se observa que, tanto para las convocatorias estatales como para las regionales, las fuentes de búsqueda guardan ciertas similitudes en algunos aspectos.

Figura 1 Esquema de fuentes de búsqueda de Convocatorias.



Con respecto a la Figura 1, se considera necesario realizar una serie de comentarios. Por una parte, el Mapa de Ayudas a la I+D+i es un servicio del *Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial* (CDTI), a través del cual el usuario puede realizar búsquedas de Ayudas Públicas pertenecientes a cualquiera de los ámbitos administrativos –local, provincial, autonómico, estatal, comunitario (UE) e internacional-, lo que la convierte en una herramienta muy versátil.

Por otro lado, a la hora de realizar búsquedas en los Boletines Oficiales, el mecanismo seguido siempre es el mismo y pasa por la identificación de la resolución de una convocatoria cualquiera del *Plan* correspondiente y la *Orden* de la que emana para, a continuación, realizar una búsqueda de esa Orden. De este modo, es probable que se

encuentren todas las Resoluciones que hayan salido a raíz de la misma.

Teniendo en cuenta los criterios de búsqueda anteriormente mencionados y las herramientas a emplear, el resultado final es una muestra de cincuenta (50) convocatorias, de las cuales treinta y seis (36), son de ámbito estatal y catorce (14), regional, abarcando un periodo de dieciocho (18), meses (Tabla 1).

Tabla 1 Resultados de la Muestra

Tipo	Cantidad
Estatales	36
Regionales	14
Total	50

2.2. Clasificación.

No se debe perder de vista que el objetivo buscado en el presente trabajo es proporcionar criterios para poder abordar cualquier tipo de convocatoria sin importar el tipo que sea. Sin embargo, resulta obvio resaltar que no todas las convocatorias encontradas tienen el mismo objetivo –unas financian equipos, otras proyectos, otras contratación de personal...-. Por tanto, con el fin de facilitar también un análisis por tipología, se realiza una clasificación de las mismas. Del mismo modo, este proceso ayudará también a ver qué tipo de ayudas son las más habituales –varias convocatorias con objetivos similares-, y cuáles no lo son tanto. Teniendo en cuenta que el mayor volumen de convocatorias corresponde a las de ámbito estatal, se considera oportuno que la clasificación sea similar a la que nos encontramos en el *Plan Nacional* vigente, es decir, cuatro grandes grupos.

De este modo, se decide una agrupación basada en los objetivos de las convocatorias –agentes, beneficiarios…-, y derivada de la propia estructura del *Plan Nacional*:

- *Grupo I –Formación*: englobando todas aquellas convocatorias relacionadas con la formación, incorporación y movilidad de personas en el ámbito de la Investigación y el Desarrollo.
- *Grupo II –I+D+i*: en donde se encuentran las convocatorias que financian Proyectos de I+D+i propiamente dichos, destinados a fomentar la investigación Científica y Técnica.
- *Grupo III –Tejido Empresarial*: referido a aquellas ayudas que buscan favorecer la creación de un Tejido Empresarial más potente –promover la innovación, los avances y difusión de tecnologías, aumentar la competitividad de las empresas…-.
- *Grupo IV –Sociales*: en donde se han introducido las resoluciones que financian proyectos con un marcado carácter social.

Los resultados aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2 Clasificación por tipo de convocatoria

Grupo	Cantidad
I.- Formación	21
II.- I+D+i	19
III.- Tejido Empresarial	3
IV- Sociales	7
Total	50

Se observa que la mayoría de las Ayudas encontradas se distribuyen entre los *Grupos I* y *II*, dando así una idea de qué tipo de iniciativas son las que se financian con mayor intensidad. Por otra parte, las diez convocatorias que se distribuyen entre los *Grupos III* y *IV* no se pueden considerar suficientes como para ser representativas de estos, por tanto, no será necesario entrar a realizar un análisis individual de estos grupos.

3. Análisis de Resultados.

Tal y como se mencionó anteriormente, se realizará el análisis de las convocatorias desde un punto de vista general primero –viendo la estructura general de las mismas sin tener en cuenta su clasificación-, para después, realizarlo con cada uno de los grupos. De esta manera, se pretende obtener la estructura general de la documentación solicitada desde dos puntos de vista.

3.1. Análisis General.

Se procede a realizar el análisis global de todas las convocatorias para ver cuáles son sus similitudes y diferencias y sin importar del *Grupo* que sean, centrando la atención en los *Datos de la Empresa y del Proyecto*, que se han considerado como los fundamentales y de carácter más general (Tabla 3) –y que además, es probable que generen documentación suficiente como para cubrir los demás *Datos* que puedan solicitar-. El objetivo que se persigue es el de encontrar pautas generales que sirvan al propósito mencionado al comienzo de la presente comunicación: proporcionar criterios que permitan a las organizaciones formular inicialmente sus proyectos y elaborar una documentación más completa que les facilite el desarrollo posterior de las solicitudes de las distintas convocatorias a las que se quieran presentar. La Tabla 4 muestra los parámetros que se analizan –se marcan cuáles de ellos se solicitan en cada convocatoria-, mientras que la muestra de análisis se estructura según la Tabla 3.

Tabla 3 Configuración de la Muestra para el análisis

Convocatorias que solicitan…	Número	Porcentaje del total
Documentación de la Empresa	29	58%
Datos del Candidato / Personal Grupo	41	82%
Memoria de Actuación	22	44%
Datos del Grupo de Trabajo	28	56%
Proyecto	31	62%

De la Tabla 3 cabe señalar que, pese a que los *Datos del Candidato* son solicitados en un 82% de las convocatorias analizadas, se ha visto que suele reducirse a la presentación de un CV (93%), y, por lo tanto, debería ser una información rápidamente accesible que apenas requiera preparación.

Tabla 4 Parámetros de documentación analizados de cada Convocatoria

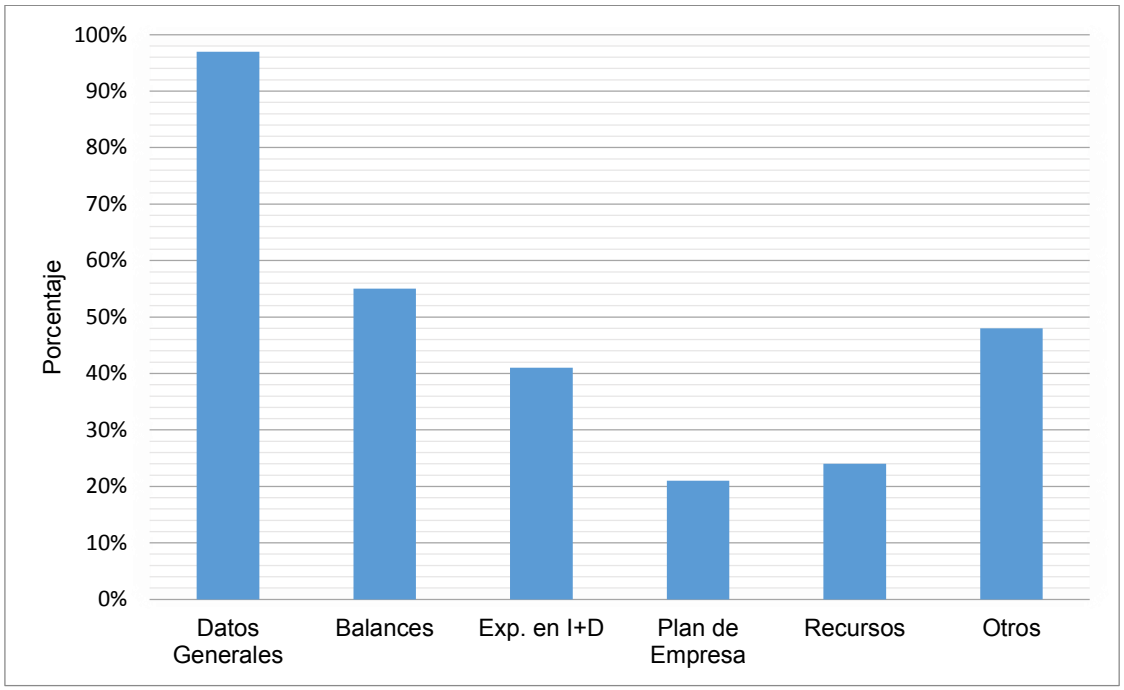
Datos de la Empresa / Grupo	Datos Generales
	Balances
	Plan de Empresa

	Experiencia I+D
	Recursos (humanos, técnicos, económicos)
	Otros
Datos Candidato / Personal Grupo de Trabajo	Certificación Académica
	CV / Experiencia
Memoria de Actuación	Programa / Líneas de Trabajo
	Adecuación Grupo Receptor
	Idoneidad del Candidato
	Impacto sobre el Candidato
	Otros
Datos Grupo de Trabajo	Idoneidad del Grupo
	Equipo y Medios disponibles
	Composición del Grupo (*)
	Experiencia
	Otros
Datos del Proyecto / Memoria	Datos Generales
	Estado del Arte / Grado de Innovación
	Hipótesis y Objetivos
	Adecuación a Convocatoria
	Recursos (humanos, técnicos, económicos)
	Valorización / Impacto
	Metodología / Plan de Trabajo
	Gestión de Riesgos / Contingencias
	Subcontrataciones / Socios
	Presupuesto
	Viabilidad (de cualquier tipo)
	Resultados y Plan de Difusión
	Otros

(*) No es un CV de los miembros, sino información general del Grupo. Habitual cuando se establecen consorcios o son varias empresas las que presentan propuestas conjuntas.

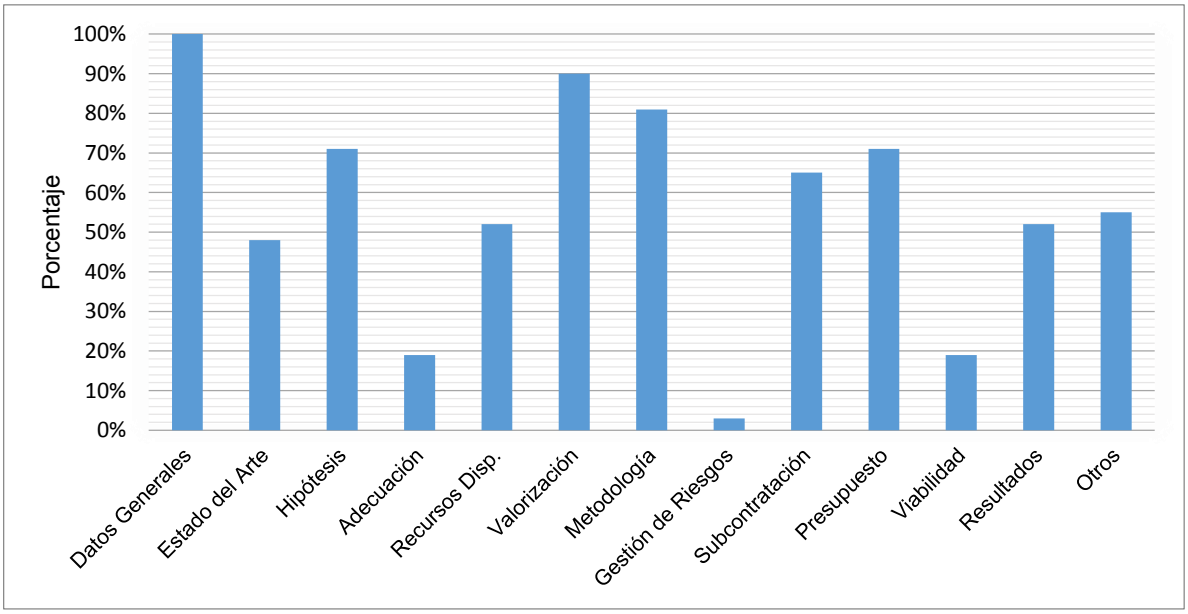
La Figura 2 muestra la frecuencia con la que se solicita determinada información en aquellas convocatorias que exigen *Datos de la Empresa* –o Grupo de Empresas-. No es necesario añadir que, cuando se piden este tipo de datos, los fundamentales son aquellos de carácter *General*, seguidos de algún tipo de *Balance* económico –más o menos detallado-, la *Experiencia en I+D* –que suele ser en líneas generales-, los *Recursos* de que dispone y algún tipo de *Plan de Empresa*. Puesto que no se han encontrado casos en donde se exijan grandes justificaciones de estos apartados, lo que una empresa debería tener preparado y actualizado es un breve documento en donde se resuma su *experiencia en I+D* y los *Recursos* de los que dispone, ya que se entiende que el resto de datos que se les pueden exigir, son obtenibles de manera rápida y sencilla –y sin la necesidad de realizar un *Plan de Empresa*, pues solamente el 20% de las convocatorias que exigen *Datos de Empresa* lo solicitan-.

Figura 2 Documentación solicitada en el apartado "Datos de la Empresa".



Por otra parte, analizando los *Datos del Proyecto* –treinta y un convocatorias-, según lo visto en la Tabla 4, se obtienen los resultados de la Figura 3. Del análisis de los mismos, se puede concluir que hay una serie de apartados que son bastante habituales –pedidos en más del 50% de las Convocatorias que solicitan estos Datos-, mientras que otros aspectos parecen no ser tan importantes –o al menos no lo son en esa etapa de la convocatoria-.

Figura 3 Documentación solicitada en el apartado "*Datos del Proyecto*".



Es decir, que resultaría conveniente que en la etapa de "formulación del proyecto", se preparase la siguiente información, para cada uno de los Proyectos / Líneas de Investigación que se tengan abiertas:

- Datos Generales.
- Hipótesis y Objetivos.
- Metodología y Plan de Trabajo.
- Recursos Disponibles.
- Subcontrataciones / Socios (si aplica).
- Valorización / Impacto.
- Resultados / Plan de Difusión.
- Presupuesto.

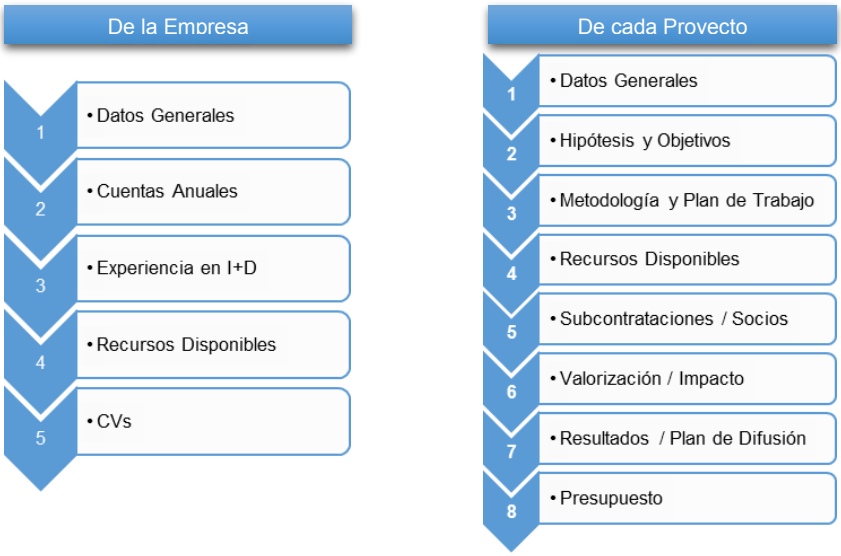
Esto permitiría, además, tener la flexibilidad suficiente como para poder adaptar esa información y acceder a varias convocatorias simultáneamente –siempre que estas lo permitan-.

De los resultados obtenidos, es interesante destacar el relativamente poco interés que parece tener el *Estado del Arte* o el *Grado de Innovación*, ya que solamente una de cada dos Convocatorias que solicitaban la redacción de un *Proyecto*, lo pedían de forma explícita. Del mismo modo, se ha visto que los análisis de *Viabilidad* –de cualquier tipo-, solo se han encontrado en una de cada cuatro, limitándose a poco más que un *Presupuesto* detallado que casi más se podría encajar en otro apartado. Lo que si se ha constatado sin embargo es que es posible encontrarse que la *Viabilidad Técnica* aparezca bajo el epígrafe de *Resultados Previos*.

Por otra parte, es sabido que los Proyectos de I+D+i están sujetos a un grado de incertidumbre muy alto –más, cuanto más alejados estén de una solución de "mercado"-, y que no es extraño preparar algún documento guía que indique cómo proceder según la evolución futra del proyecto. Por lo tanto, se esperaba que en los resultados esto se viese reflejado de algún modo –*Análisis de Riesgos / Planes de Contingencia*-, aunque fuese en forma de experiencias previas –lecciones aprendidas-. Pese a que esto no fue así, se constata, sin embargo, que una documentación similar es solicitada por las Administraciones una vez concedida la ayuda y como parte del proceso de seguimiento, aunque esto se sale del marco del análisis que se está realizando.

Por último, en la Figura 4 se muestra, a modo de esquema, toda la documentación que cualquier empresa debería tener preparada para afrontar cualquier tipo de convocatoria, dividida en *Datos de Empresa* y *Datos del Proyecto*. El esquema responde de manera fiel a lo que normalmente se solicita en ellas y lo que consigue es generar una capacidad de respuesta rápida a las empresas interesadas. Los resultados obtenidos son altamente interesantes ya que permitirán priorizar la documentación a preparar para acceder a cualquier convocatoria y, de esta manera, las empresas que tengan intención de participar en algún tipo de ayudas, podrán tener un listado ordenado de la documentación a preparar en cada uno de los apartados analizados.

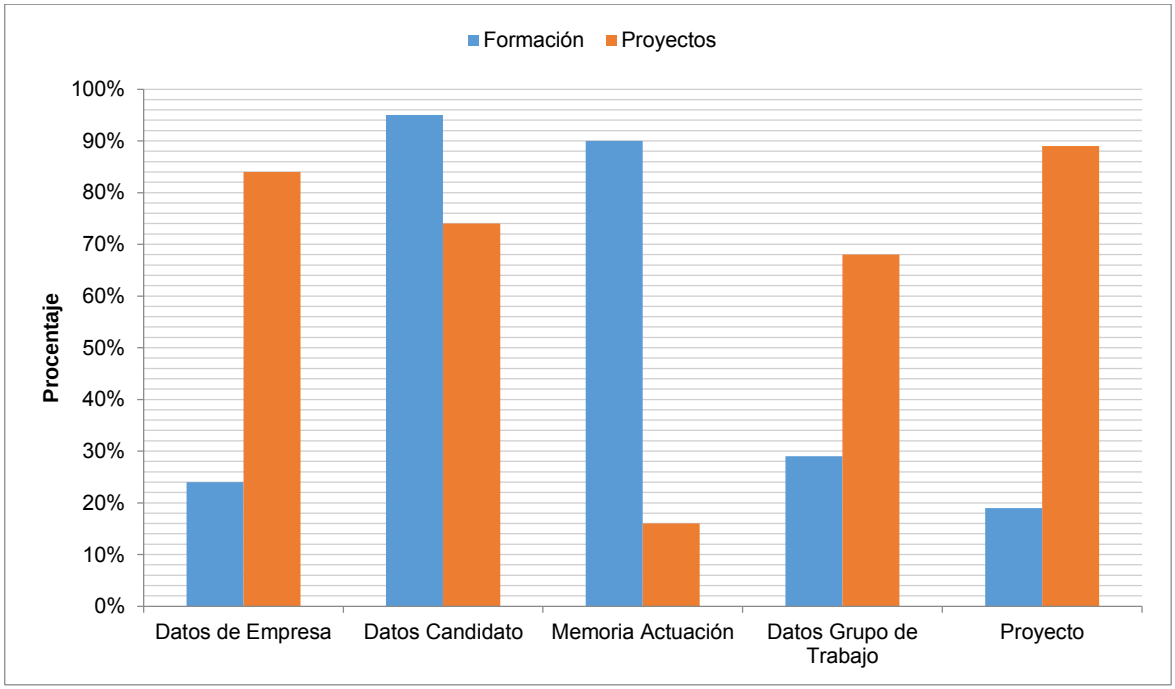
Figura 4 Resumen de Resultados



3.2. Análisis por tipo de convocatoria.

A la vista de los resultados obtenidos al analizar la muestra (Tabla 2), se procede a realizar un análisis por tipo de convocatoria o *Grupo* para poder así ver cuáles son las principales similitudes y diferencias entre ellos en cuanto a documentación solicitada. Esto resulta de interés cuando se conoce de antemano el tipo de convocatoria a la que la empresa se va a presentar. Dado el escaso número de convocatorias encontradas en los *Grupos III* y *IV*, este análisis se centrará solamente en los *Grupos I* y *II*. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5, estando los porcentajes de cada *Grupo* referidos al total de convocatorias de cada uno de ellos.

Figura 5 Resultados del análisis por Grupo.



Las conclusiones obtenidas al analizar la Figura 5 son coherentes con la tipología de cada convocatoria y muestran las razones por las que esta clasificación es interesante. El *Grupo I* está compuesto por convocatorias que buscan la formación de personal y, por tanto, se centran mucho más en los datos del candidato y en las líneas de investigación que va a desarrollar –*Memoria de Actuación*-, que en los *datos de la empresa* o del *Proyecto*, que son los habituales en el *Grupo II*.

A pesar de la tendencia a la normalización de los distintos documentos, en concreto del CV de los candidatos, con el objetivo de reducir el tiempo a dedicar a la elaboración de la documentación, se ha observado que todavía se solicitan en el 20% de las convocatorias formatos de CV específicos y en otro 20% aproximadamente no se especifica.

En otros documentos, se han identificado los apartados más habituales, en función del tipo de convocatoria como, por ejemplo, la *Memoria*, el *Programa* o la *Línea de trabajo a desarrollar*, la *Idoneidad del candidato*, el *Impacto* sobre el mismo o la *Idoneidad del grupo receptor*. Combinando esta información con la presentada en el apartado anterior, es posible optimizar aún más la documentación a desarrollar, pero siempre que se tenga claro qué tipo de convocatoria a la que se tenga previsto presentar.

4. Conclusiones

En la presente comunicación se ha analizado la documentación que se solicita en distintas convocatorias. Para ello, se han clasificado en cuatro grandes grupos y se ha estudiado el contenido de las mismas. Como aspectos más destacados:

- Se aprecia que determinados aspectos relevantes en la elaboración de proyectos, como el *Estado del Arte, la Viabilidad* o la *Gestión de Riesgos*, no aparecen explícitamente solicitados en las convocatorias o descritos como factores de evaluación.
- Se ha visto que las empresas pueden disponer fácilmente de la mayoría de la información que se les requiere en las convocatorias y se han dado unas pautas para centrarse en la elaboración de la propuesta de proyecto.
- En general, la estructura de las solicitudes responde a lo que se esperaba encontrar para cada tipo de convocatoria, pero debería avanzarse en la normalización de la documentación solicitada, en aquellos aspectos comunes y habituales en las solicitudes, con el objetivo de reducir el tiempo necesario para la elaboración de las mismas.

Entre los aspectos en los que se pretende ampliar y profundizar este estudio en el futuro, estaría el recoger un mayor número de convocatorias, añadiendo las de otras Comunidades Autónomas, las privadas, de ámbito europeo o de otros países. Asimismo, resultaría de interés entrar a analizar en detalle algunos aspectos que se han visto como potencialmente relevantes durante el desarrollo del presente trabajo, tales como los criterios de evaluación, los datos relativos a consorcios o grupos de trabajo, duración e intensidad de los gastos subvencionables, regímenes de incompatibilidad entre convocatorias o la documentación solicitada para la justificación y el seguimiento de las ayudas.

5. Referencias.

Bach, L., Matt, M. & Wolff, S. (2014). How do firms perceive policy rationales behind the variety of instruments supporting collaborative R&D? Lessons from the European Framework Programs. *Technovation*, Special Issue: Base of the Pyramid, *34 (5–6)*: 327–37.

Chung, K. C., & Shauver, M. J. (2008). Fundamental principles of writing a successful grant proposal. *The Journal of Hand Surgery, 33 (4)*: 566–72.

Chung, S. (2002). Building a national innovation system through regional innovation systems. *Technovation, 22 (8)*: 485–91.

Freeman, C. (2002). Continental, national and sub-national innovation systems—complementarity and economic growth. *Research Policy, 31 (2)*: 191–211.

Intarakumnerd, P., Chairatana, P. & Tangchitpiboon, T. (2002). National innovation system in less successful developing countries: The case of Thailand. *Research Policy, 31 (8-9)*: 1445–57.

Madden, S. & Wiles, R. (2003). Developing a successful application for research funding. *Physiotherapy, 89 (9)*: 518–22.

Nelson, R. R. (1993). *National innovation systems: A comparative analysis*. Nueva York: Oxford University Press.

Parker, B. & Steeves, R. (2005). The national research service award: strategies for developing a successful proposal. *Journal of Professional Nursing, 21 (1)*: 23–31.

Proctor, E. K., Powell, B. J., Baumann, A. A., Hamilton, A. M. & Santens, R. L. (2012). Writing implementation research grant proposals: ten key ingredients. *Implementation Science, 7 (1)*: 96.

Rodríguez, H., Fihser, E. & Schuurbiers, D. (2013). Intergrating science and society in European Framework Programmes: trends in project-level solicitations. *Research Policy, 42 (5)*: 1126–37.

Schwinn, D. A., DeLong, E. R. & Shafer, S. L. (1998). writing successful research proposals for medical science. *Anesthesiology, 88 (6)*: 1660–66.

Tshipamba, N., Rodríguez Santibáñez, I., Barrios, R., & Julio E. (2012). El marco jurídico de la política científica: Casos de Corea, Estados Unidos, Finlandia y México. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado* 45 (134): 625–54.

01-026

THE USE OF SOCIAL NETWORKS FOR INVIGORATE THE COMMUNICATION DURING THE CONCEPTUAL DESIGN PHASE IN VIRTUAL PROJECTS

García García, Carlos [1]; Chulvi Ramos, Vicente [2]; Galán Serrano, Julia [1]; Felip Miralles, Francisco[1]; Royo González, Marta[2]

[1] Universitat Jaume I, Dep. Enginyeria de Sistemes Industrials i Disseny, [2] Universitat Jaume I, Dep. Enginyeria Mecànica i Construcció

It is usual to see collaborative projects developed by de-localized creative teams. There are specific tools for project management, named Product Lifecycle Management tools. They are mainly focused on files management. They also allow defining lineal flows for project development, which are ramified into phases, milestones, tasks or reports in each sub-phase. These tools present strong working environments, but they miss of effective tools for managing the communication processes within the Project. During the conceptual design phase it is essential to stablish effective discussion lines in order to be able to elaborate a solid proposal which includes all the work team contributions. So, the numbers of corrections in the subsequent design phases will be minimised, and the other milestones delay can be avoided. This work propose to dynamice the communication processes during the conceptual phases by means of Social Networks as a complement to the PLM, since they are specifically built for assisting the communication of a large number of individuals. For this purpose, the paper presents a comparative study within the communication tools offered by Social Networks, by PLM and the different communication solutions commonly used in order to supply the cited lacks.

Keywords: *Collaborative Design; Social Networks; Project management; conceptual design; PDM; PLM*

UTILIZACIÓN DE LAS REDES SOCIALES PARA DINAMIZAR LA COMUNICACIÓN DURANTE LA FASE DE DISEÑO CONCEPTUAL EN PROYECTOS VIRTUALES

Es frecuente ver proyectos de diseño colaborativos desarrollados por equipos creativos deslocalizados. Existen herramientas específicas para la gestión de proyectos, denominadas Product Lifecycle Management. Estas se centran principalmente en la gestión documental. Además, permiten la definición de flujos lineales para el desarrollo del proyecto, que se van ramificando según las fases, hitos, tareas o informes desarrollados en cada subfase. Estas herramientas presentan entornos de trabajo potentes, capaces de gestionar proyectos de ingeniería ambiciosos, pero carecen de herramientas eficaces para gestionar los procesos de comunicación dentro del proyecto. Durante la fase de Diseño Conceptual resulta fundamental establecer hilos de discusión eficaces que permitan elaborar una propuesta sólida, recogiendo las aportaciones del equipo de trabajo. Con ello, es posible minimizar el número de correcciones en fases de diseño posteriores, evitando así demorar los otros hitos. Este trabajo propone dinamizar los procesos de comunicación durante la fase de diseño conceptual utilizando las Redes Sociales como complemento de los PLM, al estar específicamente diseñadas para favorecer la comunicación entre un amplio número de individuos. Para ello se presenta un estudio comparativo entre las herramientas de comunicación ofrecidas por las Redes Sociales, los PLM y diferentes soluciones comunicativas adoptadas comúnmente para suplir las mencionadas carencias.

Palabras clave: *Diseño colaborativo; redes sociales; gestión de proyectos; diseño conceptual; PDM; PLM*

Correspondencia: Carlos García García cgarciag@uji.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto "AVANCES EN CONTENIDO DIGITAL PARA JUEGOS SERIOS", TIN2013-47276-C6-6-R, financiado por MINECO

1. Introducción

Vivimos en una sociedad cada vez más globalizada en la que los procesos productivos están cada vez más deslocalizados (Giménez y Piedecausa, 2015). El auge y crecimiento de los sistemas de distribución están dirigiendo a la sociedad del primer mundo a trasladar sus hábitos de consumo desde sistemas locales, a complejos sistemas internacionales, en los que resulta más económico adquirir un producto en la parte opuesta del mundo que en una tienda próxima a tu domicilio, como son los casos de Amazon (www.amazon.es) o Aliexpress (www.aliexpress.com). Este crecimiento se sustenta gracias al auge y la evolución permanente de los sistemas de comunicación existentes en la actualidad, basados fundamentalmente en el uso de Internet como canal universal de comunicación, que permiten a cualquier usuario comparar diferentes ofertas desde cualquier dispositivo móvil independientemente de su localización. A esto, se une la posibilidad de establecer una valoración por parte de cada comprador del servicio recibido, por lo que los propios usuarios se transforman en el tejido crítico que puede fortalecer o disminuir cualquier estrategia empresarial, a través de una simple valoración personal sobre su experiencia de compra.

Este nuevo paradigma de mundo globalizado, conectado mediante un tejido social de relaciones virtuales, está provocando la aceleración de todo el sistema productivo, obligando a las empresas a reducir su tiempo de reacción (Giménez y Piedecausa, 2015). En él, la obsolescencia de los productos es cada vez más temprana. La búsqueda por parte de los usuarios, de nuevas ofertas que mejoren las anteriores es continua y despiadada debido a la simplicidad con la que cualquier usuario poco experimentado puede acceder a las características pormenorizadas de una tipología de productos, en busca del que cubra mejor sus necesidades o intereses. Por ello, es necesario agilizar los procesos de diseño y desarrollo de nuevos productos industriales, ampliando el espectro de colaboraciones empresariales más allá del entorno próximo, en busca de nuevas oportunidades de negocio.

Cada vez es más común el desarrollo de procesos colaborativos deslocalizados para la creación de nuevas propuestas de consumo, en los que interaccionan equipos multidisciplinares pertenecientes a diferentes empresas (Riba y Molina, 2006). Con estas sinergias se busca complementar conocimientos y experiencias en campos especializados, con el fin de sacar al mercado productos más eficaces, con un mayor potencial de aceptación por parte del usuario y en un menor tiempo posible, pudiendo adelantándose a sus competidores para tomar posiciones ventajosas en un mercado determinado.

Desde finales de los ochenta se viene trabajando en sistemas informáticos que faciliten la gestión del desarrollo de nuevos productos (Eíto, 1999). Dichos sistemas, denominados PDM (*Product Data Management*) se centran en gran medida en la gestión documental del proceso de diseño y desarrollo del nuevo producto, gestionando elementos tan relevantes como los usuarios implicados, sus roles o grupos a los que pertenecen, o el control de versiones de los documentos. A su vez, los PDM son capaces de gestionar todo el plan de desarrollo del proyecto, basado en la definición de las diferentes fases y subfases de desarrollo, la asignación de tareas y la superación de diferentes hitos establecidos a lo largo del flujo de desarrollo, algunos de los cuales, darán lugar a resultados documentales a modo de informes o de componentes diseñados (Ulrich y Eppinger, 2000). Además, permiten gestionar los ciclos de validación de información resultante de cada una de las tareas o hitos, así como clasificar las partes y los componentes utilizados tanto en el diseño, como en los procesos de fabricación (Eíto, 1999; Maranzana, 2012; Staisch, 2012). Para Chen et al. (2012), los PDM, junto a los *Enterprise Resource Planning* (ERP), son la columna vertebral del sistema de información de una empresa, al permitir integrar flujos de trabajo complejos, con el fin de incrementar la eficiencia operativa de la empresa. Como apuntan Ming et al. (2005), los procesos que se suceden a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto son

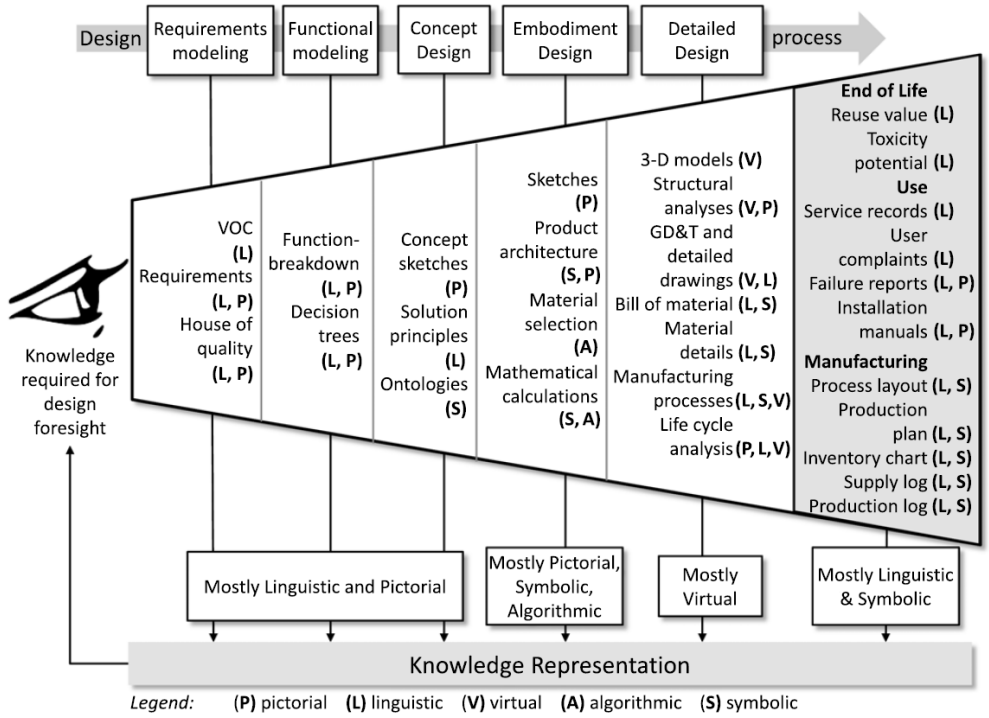
de naturaleza compleja y por ello su control requiere de soluciones tecnológicas que permitan su implementación en los procesos productivos industriales.

En la década de 2000 surge el concepto de PLM (Product Lifecycle Management) como evolución de los sistemas PDM, adaptándose a las demandas de globalización de la industria del diseño. Kititsis (2011) define los PLM como un enfoque estratégico con tres dimensiones fundamentales: (i) acceso y uso de información de definición del producto universal, seguro y gestionado (ii) mantenimiento de la integridad de la definición de producto y la información relacionada a lo largo de la vida del producto (iii) la gestión y el mantenimiento de los procesos de negocio que se utilizan para crear, gestionar, difundir, compartir y utilizar la información. Los PLM pretenden cubrir todas las etapas de desarrollo de productos mediante la integración de los procesos y las personas que toman parte en el proyecto (Maranzana, 2012). Por ello, extienden el alcance de los PDM más allá de las áreas de ingeniería y fabricación, a otras, como el marketing, las finanzas o el servicio postventa, dirigiéndose a todos los actores implicados durante todo el ciclo de vida del producto (Ameri y Dutta, 2004). La vida del producto, que para los usuarios se restringe a la etapa de uso de un producto o servicio, para las empresas se inicia con la idea sobre un nuevo producto y finaliza con la gestión responsable de su fin de vida (Staisch, 2012). Por tanto, una parte de ese ciclo de vida, correspondiente a los procesos de concepción, diseño, desarrollo y producción, puede gestionarse de un modo más eficiente mediante herramientas PDM, quedando fuera del alcance de éstos las fases de uso y fin de vida.

Los PLM proporcionan a clientes, desarrolladores, fabricantes y proveedores, medios eficaces para la gestión colaborativa de las actividades comerciales que se dan a lo largo de todo el ciclo de vida del producto (Ming et al., 2005). La mayor parte de herramientas informáticas de modelado 3D paramétrico orientadas al campo de la ingeniería de proyectos, disponen de sistemas PDM/PLM propios, que se integran con la propia aplicación de diseño 3D, facilitando la gestión de algunos procesos de trabajo colaborativos desarrollados por equipos profesionales deslocalizados.

Chandrasegaran et al. (2013) presentan una clasificación de las fases del diseño de producto en relación al conocimiento necesario para desarrollar cada una de las tareas propias de dicha fase, como se muestra en la Figura 1. Es en estas fases iniciales del proceso de diseño, sobre todo en las de diseño conceptual y diseño preliminar, o en la fase de inicio de vida (BOL) según Kiritsis, en las que los sistemas PDM/PLM resultan menos funcionales. En ellas, los procesos de trabajo son más difusos y las metodologías utilizadas muy dispares. Al tratarse comúnmente de equipos de trabajo deslocalizados, numerosos y multidisciplinares, es necesario disponer de herramientas eficaces que favorezcan una comunicación fluida entre todos ellos, con el fin de aprovechar el conocimiento de todo el equipo de trabajo. Gestionar de forma eficaz y responsable el fin de vida del producto es un proceso complejo (Johnson y Wang, 1995). Sin embargo, tener en cuenta en las fases iniciales de diseño cómo se va a desechar un componente del producto al final de su ciclo de vida, puede dar lugar a un menor número de modificaciones en fases posteriores, que conllevarían un sobrecoste en cuanto a recursos o a tiempo de desarrollo.

Figura 1: Representaciones del conocimiento necesario para abordar las diferentes fases del proceso de diseño de producto (Chandrasegaran et al., 2013).



Algunos estudios proponen complementar las posibilidades de los PDM, con el fin de suplir carencias detectadas en éstos. En este sentido, Benoît et al. (2014), proponen complementar las posibilidades del PDM, ligado a herramientas de diseño y simulación 3D, combinando su uso con *Documentation Management System* (DMS), desde una perspectiva más centrada en la gestión documental, que en la comunicativa. Anderton (citado en LaCarte et al., 2014), sugiere el uso de Facebook y el teléfono móvil para la gestión de proyectos complementando las posibilidades de SolidWorks PDM, junto a otras herramientas de comunicación generalistas como son las incluidas en Google Apps, centrándose finalmente en estas últimas.

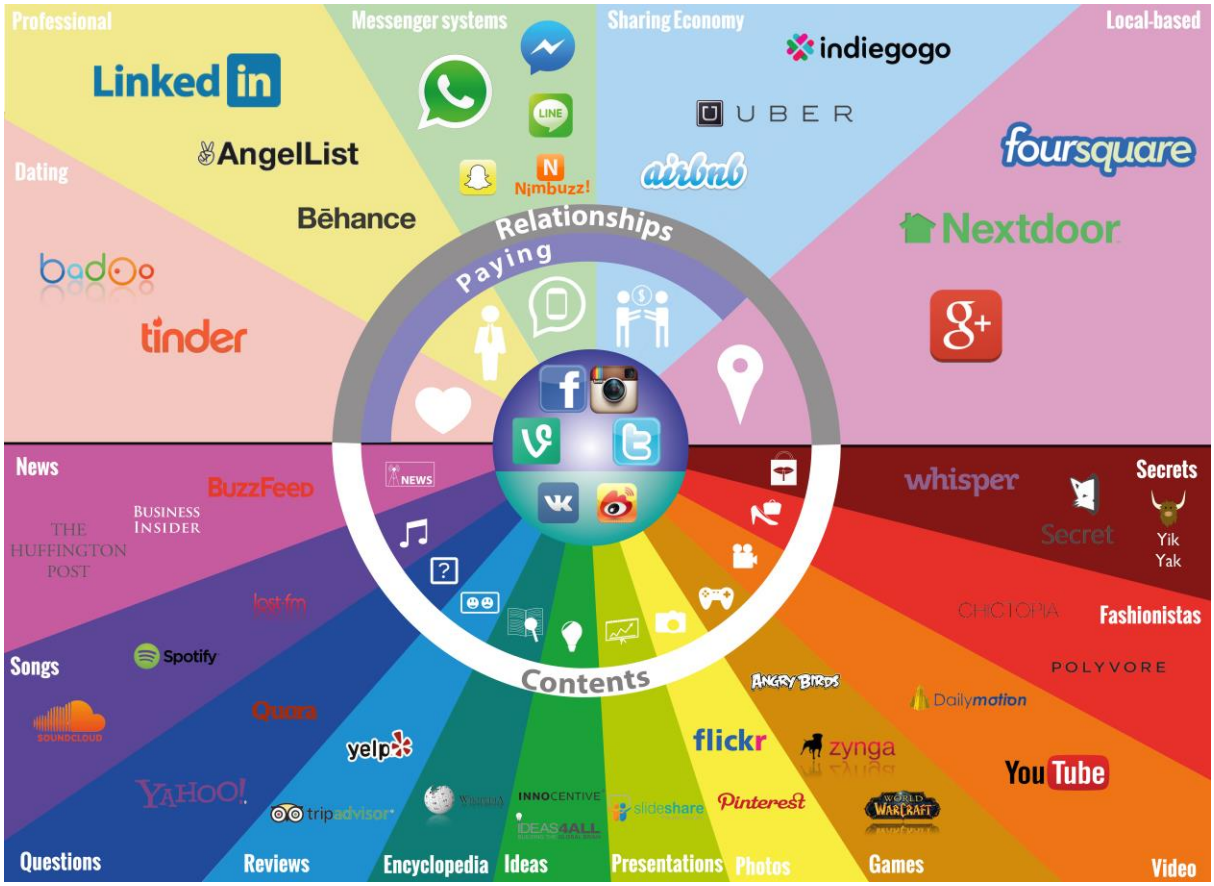
EL presente estudio propone complementar las posibilidades ofrecidas por las herramientas PDM/PLM para la gestión del proceso de diseño y desarrollo de nuevos productos, en las fases iniciales de dicho proceso, con la utilización de Redes Sociales, específicamente diseñadas para favorecer la comunicación entre grupos numerosos de personas. La Redes Sociales son uno de los desarrollos más innovadores de la Web 2.0. Están concebidas con el propósito de interconectar usuarios con intereses comunes. La filosofía de las Redes Sociales está basada en el principio de comunidad abierta y no jerarquizada, que vincula a los usuarios mediante un tema o actividad común y una plataforma web (software social), que permite a los usuarios operar de manera sencilla e intuitiva en lo que se conoce como "ámbito de las 3Cs" (contenido, construcción y colaboración» (Manzano, 2009). Para Adell (2012), las Redes Sociales entendidas como servicios en la nube, afloran y promueven las relaciones entre personas, constituyendo un extraordinario avance para las relaciones humanas y la comunicación entre las personas.

Son estos procesos de comunicación interpersonal los que muestran especial relevancia a la hora de abordar las fases iniciales del proceso de diseño. La mayor parte de estrategias metodológicas de co-creación requieren de la interacción fluida entre los individuos que las

desarrollan. Por ello, es necesario establecer los canales de comunicación necesarios que hagan posible dicha interacción. Estos canales deben permitir y dinamizar los debates en torno a las propuestas creativas realizadas por el equipo de diseño, con el fin de conseguir una solución de compromiso que resulte atractiva y eficaz para todos. Pero además, resulta necesario hacer extensivo el foro de debate a todo el equipo multidisciplinar implicado a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, ya que la participación de otras áreas implicadas, como fabricación, finanzas, marketing o servicio postventa, puede permitir atajar problemas posteriores durante las fases iniciales del proceso.

El panorama actual de los medios sociales basados en la Web 2.0 es complejo, variado y muy cambiante. Continuamente surgen plataformas que tratan de responder a nuevas necesidades sociales o tratan de arañar adeptos a otras plataformas ya consolidadas, ofreciendo nuevas funcionalidades como incentivo. El abanico de medios sociales abarca desde sistemas de mensajería instantánea, a redes profesionales de contactos, redes sociales generalistas, agregadores de noticias, repositorios documentales de imágenes o vídeo, plataformas de geolocalización de espacios, etc. Todos ellos, amparados por las evoluciones tecnológicas que se suceden continuamente en el sector de las telecomunicaciones (Figura 2).

Figura 2. Mapa de los medios sociales (versión 2015) (Del Moral, 2015).



Partiendo de este gran abanico de posibilidades, se presenta un estudio comparativo entre diferentes Redes Sociales que pueden ser utilizadas en las fases iniciales del proceso de diseño y desarrollo de un nuevo producto industrial, bien de un modo directo o mediante un uso específico, pudiendo ser necesario el uso de herramientas de terceros que aporten algunas funcionalidades necesarias a tal efecto.

2. Herramientas

En primer lugar se presentan diferentes herramientas PDM/PLM disponibles en el mercado, comúnmente utilizadas en proyectos de ingeniería de diseño de producto para la gestión del proceso de diseño y desarrollo de nuevos productos industriales, así como diferentes Redes Sociales que pueden servir como complemento a las anteriores para dinamizar la comunicación en las fases iniciales de dicho proceso de diseño.

2.1 PDM /PLM

En la actualidad existen numerosas herramientas CAD/CAM/CAE, comúnmente utilizadas para el desarrollo de proyectos de ingeniería dentro del campo del diseño de producto. La mayor parte de proveedores, ofrecen junto a sus herramientas de modelado, fabricación y análisis, sistemas PDM/PLM para la gestión de proyectos, aunque hay proveedores especializados en herramientas PDM/PLM que se integran en diferentes aplicaciones de diseño. Las herramientas PLM/PDM se integran en mayor o menor medida en las plataformas informáticas utilizadas, permitiendo acceder de un modo sencillo a todos los documentos generados de forma colaborativa como resultado de las diferentes tareas o hitos del proyecto. La mayoría de éstas, están orientadas a gestionarse dentro de redes de trabajo privadas, en las que se centraliza la gestión documental en un servidor local conectado a internet, con el fin de dar acceso documental y a todo el plan de desarrollo del proyecto a todos los clientes del mismo a través de plataformas web. Con ello, se garantiza que cualquier miembro del equipo pueda accedes a toda la información en cualquier momento, de modo que cada división del proyecto pueda avanzar en una parcela determinada del mismo, siguiendo el plan marcado. Por su parte, la comunicación del sistema con cada miembro del equipo, se centra en el uso del correo electrónico, a través del cual el sistema remite notificaciones a cada responsable, en cuanto a plazos de entrega o solicitudes de validación de procesos realizados. Del mismo modo, delega la comunicación entre los miembros del equipo en el correo electrónico, u otras herramientas de comunicación externas al sistema PDM/PLM.

Cabe destacar, que a pesar de que poco a poco se van adaptando a las necesidades actuales, los PDM/PLM presentan dificultades e inconsistencias a la hora de trabajar desde dispositivos móviles, al carecer de APPs específicas que permitan la gestión del proyecto desde el propio dispositivo, de modo que los miembros del equipo puedan acceder al proyecto de un modo eficaz. Algunos de ellos, tratan de adaptarse a los nuevos tiempos, incluyendo plataformas web con diseños "*responsive*" que se adaptan a las proporciones de los dispositivos móviles, sin embargo, el acceso desde un navegador web limita las posibilidades de la aplicación respecto al uso del hardware del propio dispositivo móvil.

Shehab et al. (2013) presentan una recopilación de diferentes sistemas de colaboración, comúnmente utilizados en el campo de la ingeniería de diseño, centrando su atención en las técnicas de modelado propias del sistema, su compatibilidad con diferentes plataformas o los protocolos de comunicación utilizados. El estudio pone el foco de atención en los documentos o productos generados, dejando fuera de estos sistemas de colaboración, o en un espacio periférico, la comunicación entre los miembros del equipo de diseño.

Podemos destacar como herramientas PDM/PLM más utilizadas en proyectos de ingeniería de diseño de productos, en su mayoría por su integración con las aplicaciones CAD/CAM/CAE más comunes en el mercado, las siguientes:

- SolidWorks Enterprise PDM / SolidWorks Workgroup PDM (Dassault Systems)
- Enovia SmartTeam / Enovia Matrix One (Dassault Systems / IBM)
- Windchill (PTC / Creo)

- Teamcenter Engg / Teamcenter Express (Siemens PLM)
- Autodesk PLM 360 / Autodesk PLM 360 Mobile

2.2 REDES SOCIALES

Dentro de las Redes Sociales podemos establecer una relación taxonómica con diferentes categorías generales, dentro de las cuales existen herramientas que representan una idea común, aunque ofrecen pequeñas diferencias y matices en cuanto a las opciones disponibles (Ponce, 2012; García-García, 2014). Así pues, se podrían clasificar según diversos criterios:

Según su público objetivo o temática, diferenciamos:

- **Redes Sociales Horizontales o Generalistas:** Son redes dirigidas a todos los usuarios, sin una temática definida. Algunos ejemplos son Facebook, Google+, Twitter, Pinterest, Instagram, Hi5, MySpace, Orkut, Sonico, Tuenti o Badoo.
- **Redes Sociales Verticales o Especilizadas:** Podemos distinguir, en función de su perfil, entre profesionales o de ocio. Las profesionales están dirigidas a crear relaciones entre usuarios con un objetivo laboral, bien de colaboración o de contratación de servicios por cuenta ajena o propia. Algunos ejemplos son Linkedin, Viadeo, Xing o Behance. Por su parte, las de ocio, se organizan en torno a un tema central. Ejemplo de ellas son Minube, Alpinaut, Kedin, Red social Pymes o Anobii.

Según el sujeto principal de la relación se distinguen:

- **Redes Sociales Humanas:** Están centradas en las relaciones entre personas. Algunos ejemplos son Koornk, Dopplr, Youare o Tuenti.
- **Redes Sociales de Contenidos:** Las relaciones giran en torno al tipo de contenidos publicados. Algunos ejemplos son Scribd, Flickr, Instagram, Bebo, Friendster, Dipity, StumbleUpon o FileRide.

Por último, podemos distinguir también las redes sociales propias. Estas son plataformas que permiten crear y gestionar redes propias. Resultan adecuadas para grupos cerrados de individuos que quieren comunicarse de un modo específico, teniendo control sobre las posibilidades ofrecidas por la propia red, con un mayor control de privacidad sobre los contenidos publicados. Algunos ejemplos son Ning, Elgg, Socialgo, Edmondo, Edu 2.0, Grou.ps, Grouply, Wall.fm o WackWall. Aunque no están concebidas explícitamente a tal efecto, en ocasiones, también se utilizan plataformas CMS (Content Management System) para crear redes privadas, como Drupal, Wordpress o Joomla.

A continuación se detallan las Redes Sociales que se consideran adecuadas para complementar herramientas PDM/PLM, dentro de cada categoría, para dinamizar los procesos comunicativos de las fases iniciales del proceso de diseño. Algunas de ellas, ofrecen funcionalidades por sí mismas que permiten la organización del sistema de trabajo y del propio equipo creativo. Otras, en cambio, requieren del uso de aplicaciones de terceros para gestionar la propia Red Social de un modo específico, de forma que el sistema de trabajo se adecue a las necesidades del proyecto de diseño. Todas disponen de APPs multiplataforma para dispositivos móviles con servicio de notificaciones, lo que las convierte en excelentes para mantener la conexión permanente con el proyecto.

2.2.1 Redes Sociales Generalistas

En todas ellas el centro de acción, en el que se puede consultar todas las evoluciones del proyecto, se sitúa en su página principal a modo de *timeline*. Permiten compartir contenidos

(foto, vídeo o enlaces) y aportaciones con el resto de creativos del proyecto de un modo muy directo. Disponen de una APP para diferentes plataformas, que facilita la gestión desde dispositivos móviles permitiendo al usuario la conexión permanente al proyecto.

- **Facebook:** Permite la creación de grupos privados, que facilitan la organización de equipos de trabajo y el acceso a los hilos de discusión en función del rol adoptado. Tiene integrados herramientas de correo electrónico, chat y video-chat, que permiten la comunicación directa entre dos miembros. Es sencillo establecer hilos de discusión a partir de una publicación, por ejemplo de una imagen sobre una propuesta creativa.
- **Google+:** La organización de grupos y la gestión de permisos de acceso a contenidos se realiza mediante círculos de amistad. El control sobre la privacidad de los contenidos es mayor que en Facebook. Está integrada con otras aplicaciones de Google, como Gmail, Docs, Calendar, Maps, Hangouts, etc. Hangouts permite la realización chats, gestionando de forma eficaz los registros de conversación, y de videollamada entre 15 usuarios, pudiendo realizar con ello reuniones telemáticas.

2.2.2 Redes de Microblogging

- **Twitter:** Podemos considerar esta opción como un caso particular del anterior grupo, ya que no gira en torno a ningún tema específico, sin embargo la filosofía de funcionamiento es diferente a las anteriores, ya que las relaciones no están basadas en la amistad entre dos miembros, sino en el interés por las aportaciones de otro. Por ello, es posible establecer una relación de seguimiento unidireccional que no depende de la aceptación por parte del otro usuario. Es importante tener en cuenta que las publicaciones son públicas. En este caso es aconsejable el uso de una herramienta de terceros, como TweetDeck, para facilitar el acceso organizado a la gestión de los hilos de discusión, incluso para gestionar varias cuentas de Twitter. Twitter permite realizar aportaciones de hasta 140 caracteres, en las que se puede incluir imágenes, vídeos o enlaces a otros contenidos. Dispone de una APP sencilla y totalmente funcional, disponible para diferentes plataformas. La gestión de las aportaciones y de los hilos de discusión se realiza mediante el uso de etiquetas o *hashtags*. Esto permite referenciar cada aportación con códigos que posteriormente sirven para filtrar contenidos. Es aquí donde toma sentido el uso de TweetDeck, ya que permite filtrar y visualizar contenidos dinámicos sobre etiquetas (#etiqueta), usuarios concretos (@usuario) o búsquedas generales. De este modo es sencillo tener en una sola página principal las aportaciones de cada usuario, las discusiones sobre un tema concreto o las aportaciones de un grupo de trabajo. Cabe destacar que TweetDeck es una aplicación web que se ejecuta dentro de Google Chrome y no dispone de una APP específica para dispositivos móviles.

2.2.3 Redes Sociales Propias:

Aunque requieren de un mayor conocimiento técnico para su puesta en funcionamiento y configuración, pueden resultar adecuadas debido a su elevado nivel de personalización y privacidad. Las posibilidades de este tipo de plataformas dependen de la configuración realizada y de la adhesión de módulos de terceros.

- **Elgg:** Es una plataforma Open Source para la creación y gestión de redes sociales. Permite descargar una plataforma similar a un CMS, que se instalan en un servidor propios o en servicio *hosting*, pudiendo restringir el acceso solamente al equipo de diseño y desarrollo del proyecto.
- **Ning:** Ofrece un elevado control sobre la red que permite su personalización y adaptación a diferentes necesidades. Su diseño "*responsive*" se adapta a dispositivos móviles. Es un servicio de pago aunque con un coste asumible para cualquier proyecto.

2.2.4 Sistemas de mensajería instantánea

Debido a la continua evolución y aparición de nuevos sistemas o plataformas de comunicación, es difícil acotar las tipologías de herramientas que pueden ser útiles como complemento de los PDM/PLM. No obstante, en la actualidad podemos destacar las herramientas de mensajería instantánea, por estar muy extendidas y disponer de opciones interesantes para dinamizar la comunicación de un proyecto de diseño. Son sistemas fundamentalmente gestionados desde un Smartphone, aunque algunos de ellos permiten ser gestionados desde otras plataformas, tal y como se indica a continuación.

- **WhatsApp:** Dispone de una versión web que permite utilizar la aplicación desde cualquier navegador. Permite compartir imágenes y vídeos, pero no otros documentos. Es posible crear grupos de hasta 50 personas y listas de distribución para organizar los foros de discusión del proyecto. Permite realizar llamadas por VoIP.
- **Telegram:** Es un clon de WhatsApp, sin embargo ofrece su código abierto a terceros para que desarrollen la propia aplicación o incluso otras herramientas complementarias. No dispone de versión web. Permite compartir cualquier tipo de documento. Los grupos están limitados a 200 personas.
- **Line:** Desde su origen dispone de una versión web. Su interfaz es más informal. Permite el intercambio de imágenes y vídeos, pero no de otros ficheros. Los grupos están limitados a 100 personas. Permite realizar llamadas por VoIP.

3. Metodología

Para la realización del estudio comparativo, en primer lugar, se han identificado las características o funcionalidades que se consideran necesarias para que las diferentes herramientas estudiadas permitan gestionar la fase de diseño conceptual de un proyecto creativo. Dicha identificación se ha realizado mediante el consenso de un grupo de expertos de diferentes disciplinas, como proyectos de ingeniería, dibujo o expresión gráfica arquitectónica. Una vez identificados los ítems a valorar, se han desarrollado diferentes estrategias para la puesta en funcionamiento de cada tipo de herramienta o servicio, con el fin de realizar diferentes test de funcionalidad, entre varios usuarios, con cada una de ellas.

En el caso de las Redes Sociales, generalistas o de microblogging, al tratarse de servicios online, se han dado de alta diferentes perfiles de usuario en cada una de las Redes Sociales y se ha realizado la instalación de la APP correspondiente en los diferentes terminales móviles con sistema Android. En el caso concreto de Twitter, además se ha instalado la extensión de TweetDeck para Google Chrome en diferentes ordenadores.

Para la puesta en funcionamiento de las Redes Sociales Propias, se ha realizado una instalación para pruebas de cada una de ellas, en un servidor virtual basado en un servidor HTTP Apache (servidor web HTTP de código abierto), con la herramienta Wamp Server (www.wampserver.es). Una vez instaladas, se ha dado de alta varios perfiles de usuario para realizar los test de funcionalidad.

En el caso de las herramientas de mensajería instantánea, se ha realizado la instalación de las diferentes herramientas en varios terminales móviles con sistema Android.

Una vez puestos todos los sistemas en servicio, se han realizado comprobaciones de las diferentes características o funcionalidades seleccionadas, con el fin de caracterizar las posibilidades de cada sistema y establecer las limitaciones. Cabe destacar, que los test se han complementado en algunos casos con la búsqueda documental de las características ofrecidas por cada fabricante en cada herramienta.

4. Resultados

En la Figura 3 se presenta un estudio comparativo de diferentes Redes Sociales, representativas de distintas categorías que, por sus características, pueden resultar adecuadas como complemento a herramientas PDM/PLM para la dinamización de los procesos de comunicación durante las primeras fases del proceso de diseño y desarrollo de productos industriales.

Figura 3: Comparativa entre Redes Sociales adecuadas para complementar herramientas PDM/PLM.

	REDES SOCIALES GENERALISTAS		REDES DE MICROBLOGGING	REDES SOCIALES PROPIAS		SISTEMAS DE MENSAJERÍA INSTANTÁNEA		
	FACEBOOK	GOOGLE+	TWITTER + TWEETDECK	ELGG	NING	WHATSAPP	TELEGRAM	LINE
GRUPOS (de trabajo)	Si	Círculos	Con Hashtags	Si	Si	Si	Si	Si
MENSAJES PRIVADOS (1 a 1)	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
CHAT (1 a 1 ; 1 a pocos)	Si	Si	Si (Público)	Si	Si	Si	Si	Si
VIDEOCHAT (1 a 1 ; 1 a pocos)	Si	SI (15)	No	No	No	No	No	Si
COMUNICACIÓN 1 A MUCHOS (No a todos)	Mail	Círculos	No	Si	Si	Listas de difusión	Listas de difusión	No
MENSAJE PÚBLICO (1 a todos)	Si	Si	Si	No	No	A todos los contactos (Listas de difusión)	A todos los contactos (Listas de difusión)	No
COMENTARIOS SOBRE UN CONTENIDO (Hilos de discusión)	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	No
ALTA / ACCESO AL SERVICIO	Mail	Gmail	Mail	Admin	Admin	Teléfono	Teléfono	Teléfono / Nick
APP MÓVIL	Si	Si	Si / TweetDeck No	No	No	Si	Si	Si
APP ESCRITORIO	Web	Web	Web	Web	Web	Web	No	Programa instalado
PAGO/ GRATUITO	Gratuito	Gratuito	Gratuito	Gratuito	Pago	Pago	Gratuito	Gratuito
CÓDIGO ABIERTO	No	No	No	Si	No	No	Si	No
REQUIERE INSTALACIÓN / CONFIGURACIÓN	No	No	No / Tweetdeck Si	Si	Si	Si	Si	Si
RESUMEN DE NOVEDADES (Página principal)	Si	Si	TweetDeck	Si	Si	Solo nº mensajes	Solo nº mensajes	Solo nº mensajes
FACILIDAD SEGUIMIENTO ACTIVIDAD DEL PROYECTO	Si	Si	Si con Tweetdeck	Si	Si	No	No	No
NOTIFICACIONES MÓVIL	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Si
ETIQUETAS / HASHTAGS	Si	Si	Si	No	No	No	No	No
PUBLICAR IMÁGENES	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
PUBLICAR VÍDEOS	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
PUBLICAR FICHEROS	No	No	No	Si	Si	No	Si	No
PUBLICAR ENLACES A OTROS CONTENIDOS O SERVICIOS	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
ENTORNO PERSONALIZABLE (Contenido o herramientas de terceros)	Si	No	Si	Si	Si	No	No	No
TAMAÑO POSIBLE DEL EQUIPO	Grande	Grande	Mediano	Grande	Grande	Pequeño	Pequeño	Pequeño
HISTORIAL ACCESIBLE	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

5. discusión

Como se presenta en los resultados, todas las Redes Sociales estudiadas permiten el acceso desde un dispositivo móvil y la mayoría de ellas dispone de una APP específica que notifica al usuario las nuevas interacciones. Esto hace que todo el equipo pueda estar conectado al proyecto de forma permanente, incrementando su participación y con ella el avance del proyecto. Un incremento en el número de interacciones en la fase de diseño

conceptual, puede llevar asociado un mayor nivel de concreción y de consenso por parte de todo el equipo multidisciplinar. De este modo, se podrían reducir el número de correcciones en fases posteriores del proceso de diseño, y con ello el tiempo de desarrollo del producto, incrementando la competitividad y las oportunidades de negocio.

De las diferentes Redes Sociales estudiadas, se considera que las más adecuadas para la gestión de proyectos de diseño, como complemento a herramientas PDM/PLM, son las generalistas (Facebook y Google+). Resulta fundamental poder generar hilos de discusión a partir de contenidos publicados, como pueden ser bocetos, estudios de mercado, etc. Por ello, los sistemas de mensajería instantánea resultan menos interesantes. Por su parte, las Redes Sociales propias, aunque resultan muy atractivas por su elevado nivel de privacidad, parecen menos adecuadas al no disponer de APPs para dispositivos móviles, ni notificaciones en tiempo real de las interacciones. Tanto Facebook, como Google+ permiten consultar de un modo sencillo y organizado, tanto las novedades concentradas en una página principal, como las interacciones de cada grupo en sus páginas respectivas. Además, permiten la interacción de grupos muy numerosos, de un modo organizado y claro. Destacan las diferentes posibilidades comunicativas ofrecidas por Google+ a través de Hangouts, que van desde la realización de video-llamadas entre 15 usuarios, a chats de texto entre unos pocos o incluso llamadas telefónicas por VoIP, que permiten hablar con otros países sin costes adicionales.

Una alternativa a las Redes Sociales generalistas es Twitter gestionado desde Tweetdeck. Éste combina la funcionalidad de la APP móvil de Twitter, que permite organizar los contenidos de un modo sencillo y eficaz mediante el uso de *hashtags*, y recibir notificaciones de cada interacción, con el panel de control de Tweetdeck, en el que se puede realizar el seguimiento del proyecto de un modo claro y organizado. El mayor inconveniente, que puede limitar su uso, es que todos los contenidos publicados son públicos.

6. Conclusiones

Como se ha presentado, los PDM/PLM son herramientas potentes y complejas, que permiten gestionar grandes proyectos de ingeniería. Sin embargo, centran su atención en la gestión documental del proyecto, en los flujos organizativos y en la gestión de recursos, dejando de lado los procesos de comunicación necesarios para desarrollar propuestas conceptuales solidas. Sin embargo, las Redes Sociales ofrecen potentes herramientas que permiten la comunicación permanente de un gran número de personas, de modo que pueden resultar un complemento ideal a los PDM/PLM en las fases iniciales de diseño.

Como se ha visto, existen diferentes Redes Sociales que pueden ser utilizadas a tal efecto, en función de las necesidades del equipo implicado en el proyecto, siendo Facebook y Google+ las que cubren un espectro más amplio de casos. Éstas permiten la colaboración asíncrona y deslocalizada de equipos de trabajo numerosos, de un modo organizado y eficaz, ofreciendo herramientas de comunicación específicas para colaborar en pequeños grupos de trabajo, con todos los implicados en el proyecto, o incluso de forma directa con otro miembro del equipo. Además, el modo de organización de los registros del proyecto, permite realizar un seguimiento del mismo de forma sencilla y clara. Con ello se podría cubrir algunas carencias de los PDM/PLM en las fases de diseño iniciales, en las que resulta necesaria una comunicación interpersonal más fluida.

Referencias

Adell, J. (2012). Del Web 2.0 a l'Aprenentatge 2.0. Taller ensenyament amb el núvol. CENT UJI, Castellón. [Video file] publicado en http://www.svideo.uji.es/peli.php?codi=836

Ameri, F., & Dutta, D. (2004). Product lifecycle management needs, concepts and components. Product Lifecycle Management Development Consortium.

Anderton, C. (2009). Living in the Clouds. *Pro Sound News*, vol. 31(1), pp. 26,29.

Benoît, F., Allegretti, L., Aumeunier, M. H., Bucalossi, J., Doceul, L., Faïsse, F., ... & Robert, J. (2014). Implementation of a design and configuration management platform for fusion components on the Tore Supra WEST Project. Fusion Engineering and Design, 89(9), 1928-1932.

Chandrasegaran, S. K., Ramani, K., Sriram, R. D., Horváth, I., Bernard, A., Harik, R. F., & Gao, W. (2013). The evolution, challenges, and future of knowledge representation in product design systems. Computer-aided design, 45(2), 204-228.

Chen, S. C., Chang, C. Y., Liu, K. S., Chen, H. H., & Yeh, S. H. (2012). Implementing the product data management into enterprises: Five Case Studies. Australian Journal of Business and Management Research Vol, 2(03), 19-24.

Del Moral, J. A., (2015, 17 Marzo). Mapa de los medios sociales (versión 2015). Mensaje publicado en http://blogs.alianzo.com/redessociales/2015/03/17/mapa-de-los-medios-sociales-version-2015/

Eíto, B. (1999). PDM Europe '98. *El profesional de la información. Revista internacional, científica y profesional, 8(1-2)*. Obtenido de http://www.elprofesionaldelainformacion.com /contenidos/1999/enero/pdm_europe98.html

Florica, S. C., & Draghici, G. (2012). Integrated Product Development in Multisite PLM Platform. In Proceedings of the 7th European Conference on Innovation and Entrepreneurship (p. 235). Academic Conferences Limited.

García-García, C. (2014). *Social Learning Environment for Co-Creation: Innovación metodológica en la gestión de proyectos co-creativos en el campo del arte y el diseño*. Tesis doctoral no publicada, Universitat Jaume I, Castellón.

Giménez, A. O., & Piedecausa, J. L. E. (2015). Plan de internacionalización empresarial. Manual práctico. ESIC Editorial.

Johnson, M. R., & Wang, M. H. (1995). Planning product disassembly for material recovery opportunities. International journal of production research, 33(11), 3119-3142.

Kiritsis, D., (2011). Closed-loop PLM for intelligent products in the era of the Internet of things. *Computer-Aided Design*, 43, pp 479-501.

LaCarte, J., Lee, J., Garrick, R., & Villasmil, L. (2014). Modern Tools for Communication in Concurrent Engineering. Journal of Engineering Technology (JET), 1(1).

Manzano, A. A. G. (2009). Redes sociales y aprendizaje a través de las presentaciones on-line. Teoría de la Educación: Educación y Cultura en la Sociedad de la Información, 10(1), 190-216.

Maranzana, N., Segonds, F., Lesage, F., & Nelson, J. (2012). Collaborative design tools: a comparison between free software and PLM solutions in engineering education. In Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises (pp. 547-558). Springer Berlin Heidelberg.

Ming, X. G., Yan, J. Q., Lu, W. F., & Ma, D. Z. (2005). Technology solutions for collaborative product lifecycle management–status review and future trend. Concurrent Engineering, 13(4), 311-319.

Ponce, I. (2012, 17 Abril). Monográfico: Redes Sociales. Mensaje publicado en http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/en/internet/web-20/1043-redes-sociales

Rajashekar, P., Mohan Kumar, S., & Abhilash, E. (2012). Tools and Strategies for Product Life Cycle Management – A Case Study in Foundry. *International Journal of Advancements in Research & Technology,* 1(3). pp 1-6.

Riba, C., & Molina, A. (2006). Ingeniería concurrente: Una metodología integradora. Ediciones UPC, 314.

Shehab, E., Fowler, C., Rodriguez Gil, A., Abdalla, H., Darwish, M., Abdulhafed, H., ... & Richardson, M. (2013). Enhancement of product information collaboration and access in the aerospace industry. International Journal of Production Research, 51(11).

Siller, H. R., Estruch, A., Vila, C., Abellan, J. V., & Romero, F. (2008). Modeling workflow activities for collaborative process planning with product lifecycle management tools. Journal of Intelligent Manufacturing, 19(6), 689-700.

Staisch, A., Peters, G., Stueckl, T., & Sergua, J. (2012). Current trends in product lifecycle management. In ACIS 2012: Location, location, location: Proceedings of the 23rd Australasian Conference on Information Systems 2012 (pp. 1-10). ACIS.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2000). Product design and development. Tata McGraw-Hill Education.

01-029

A COMPARISON OF ALGORITHMS FOR CONSTRUCTING PERT GRAPHS FOR LARGE PROJECTS

Arauzo-Azofra, Antonio; Salas-Morera, Lorenzo; García-Hernández, Laura; Perez-Caballero, Alberto
Universidad de Córdoba

The well known PERT method for project planning uses AOA (Activity On Arc) graphs. Preparing these graphs requires the inclusion of dummy activities. Ideally, the smaller the number of dummy activities, the smaller the time of computation taken on following calculations, and the greater the understandability. However, the preparation of an optimal graph (one with the lowest number of dummy activities) is a high computational complexity problem (NP class). In order to work with large projects, there are diverse algorithms that reduce the computation time by allowing the inclusion of more dummy activities than necessary. Including recent algorithms, we make a comparison focused on performance: the number of dummy activities included in relation to the computational cost.

Keywords: *Pert; AOA graphs; Project planning; Algorithmic complexity*

COMPARATIVA DE ALGORITMOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE GRAFOS PERT DE PROYECTOS GRANDES

Tanto el método PERT, como otras técnicas, bien conocidos en programación de proyectos, utilizan grafos de tipo AOA (Activity On Arc). La construcción de estos grafos puede requerir la inclusión de actividades ficticias. Idealmente, cuanto más pequeño sea el número de actividades ficticias, menor será el tiempo de cálculo a emplear en fases posteriores y mayor claridad tendrá la representación del proyecto. Sin embargo, la construcción de un grafo óptimo, con el menor número de actividades ficticias, es un problema computacionalmente muy complejo (de clase NP-completo). Para trabajar con proyectos muy grandes, hay diversos algoritmos propuestos. Algunos consiguen una menor complejidad de cálculo sacrificando la reducción de actividades ficticias. Incluyendo los algoritmos más recientes , realizamos una comparativa enfocada en su rendimiento: número de actividades ficticias introducidas frente a su coste computacional.

Palabras clave: *Pert; Grafos AOA; Programación de Proyectos; Planificación; Complejidad algoritmica*

Correspondencia: Antonio Arauzo-Azofra arauzo(arroba)uco.es

Agradecimientos: Agradecer a los revisores sus comentarios y críticas constructivas que han ayudado mucho a mejorar está contribución.

1. Introducción

Dentro de las técnicas descritas por el *Project Management Body of Knowledge* (PMBoK) del *Project Management Institute* (2013) para realizar la programación de un proyecto, hay varias, como el método PERT o el método de la ruta crítica (CPM), que utilizan grafos tipo AOA (*Activity On Arc*). Estos grafos sirven para representar la programación de un proyecto interpretando los arcos como tareas y los nodos como sucesos del proyecto.

Frente a los grafos tipo AON (*Activity On Node*), los grafos AOA, pueden presentar una estructura más sencilla y ordenada del proyecto, porque organizan prelaciones comunes a varias actividades en sucesos. Sin embargo, necesitan la inclusión de actividades ficticias para crear esta organización. Idealmente, cuanto menor sea el número de actividades ficticias, más sencillo será el grafo, menor será el tiempo de cálculo a emplear en fases posteriores y mayor claridad tendrá la representación del proyecto.

Lejos de ser trivial como la de los grafos AON, la construcción de los grafos AOA, si se quiere obtener el grafo óptimo (aquél con el mínimo número de actividades ficticias), es un problema NP-completo (Krishnamoorthy, 1979). En los problemas NP-completos, el tiempo necesario para encontrar su solución crece exponencialmente con el tamaño de la entrada. Esto no supone un problema para los proyectos pequeños pero sí afecta a los proyectos muy grandes, y a la posibilidad de modelar interacciones entre muchos proyectos.

Para evitar este alto coste computacional, hay diversos algoritmos propuestos. Son algoritmos aproximados, que reducen el tiempo necesario a costa de no reducir al mínimo el número de actividades ficticias. Estos algoritmos utilizan estrategias diferentes y es de esperar que obtengan resultados diferentes. Sin embargo, para nuestro conocimiento, no se ha publicado ninguna comparativa empírica sobre ellos.

2. Algoritmos de generación de grafos AOA

En esta contribución, se plantea la evaluación del rendimiento de los algoritmos aproximados para la construcción de grafos AOA y compararlos. Se han elegido tres algoritmos que utilizan estrategias diferentes para la construcción del grafo.

2.1 Algoritmo de Sharma

Este algoritmo (Sharma, 1998) utiliza una estrategia de dos fases. En la primera, construye sistemáticamente y de una forma sencilla, que garantiza eficiencia polinomial, un grafo con muchas actividades ficticias. En la segunda, realiza una búsqueda eliminando actividades ficticias innecesarias. La eficiencia del algoritmo completo (ambas fases) está acotada en el peor caso dentro de $O(n^3)$. Esto quiere decir que su tiempo de ejecución vendrá determinado por el tamaño del problema (*n* = número de prelaciones entre actividades) con alguna función polinomial cuyo grado es 3 como máximo.

Se ha incluido que tolere varias actividades de inicio y fin y la posibilidad de que haya actividades paralelas entre ellas.

2.2 Algoritmo de Gento-Municio

El algoritmo propuesto por Gento-Municio (2004) se basa en la búsqueda de patrones de relaciones entre actividades e ir construyendo el grafo entorno a ellos.

La interpretación de la propuesta ha requerido algunas suposiciones. En el paso 8, al contrario de lo que especifica la propuesta, ya se han asignado nodos finales a todas las

actividades en el paso 4, como indica la figura 8 de (Gento-Municio, 2004). En cualquier caso, esos nodos no están conectados, por tanto, suponemos que lo que se pretende aquí es que se reemplacen si es necesario. No haber asignado los nodos en el paso 4 impediría realizar correctamente el paso 7.

Por otra parte, el paso 9 es innecesario pues, según la interpretación anterior de los pasos 4 y 8, todos los nodos finales ya han sido asignados.

La explicación completa del algoritmo requeriría un espacio excesivo. Puede consultarse la explicación en la propuesta original y el código fuente de nuestra implementación (disponible como se indica en la sección 3), que incluye comentarios indicando las suposiciones comentadas anteriormente.

2.3 Algoritmo de Cohen & Sadeh

Cohen y Sadeh (2006) proponen un algoritmo que crea un multi-grafo (estructura que permite que entre dos nodos pueda haber varios arcos) basándose en la construcción de una tabla con información sobre las prelaciones del proyecto.

Se ha implementado la transformación del multi-grafo en un grafo AOA para permitir trabajar con actividades paralelas en igualdad de condiciones con el resto de los algoritmos.

3. Estudio empírico

3.1 Metodología

Los tres algoritmos han sido implementados en el lenguaje de programación Python y han sido incluidos en el software PPC-project (Salas, 2013). Están disponibles en el repositorio del proyecto. Esto incluye todo su código fuente, para poder ser estudiados y garantizar la reproducibilidad de este trabajo. Todas las implementaciones han tratado de ser lo más fieles posible a la propuesta original. No obstante, siempre que una estructura de datos tipo diccionario o conjunto era más eficiente, la hemos utilizado.

La ejecución de los algoritmos se ha realizado en un servidor de cálculo con dos procesadores Intel(R) Xeon(R) E5420 a 2.50GHz con 8Gb RAM. La ejecución ha sido secuencial y el servidor estaba dedicada únicamente a la ejecución de los algoritmos para evitar fallos de caché y y otras posibles interferencias. Se ha medido el tiempo de ejecución exclusivamente de los algoritmos. Sólo incluye la transformación de la tabla de prelaciones en la estructura de datos del grafo AOA mediante el algoritmo. Queda fuera el dibujo del grafo en formato gráfico y cualquier otro cálculo de prueba que se realice para la validación del grafo.

Los datos de los proyectos usados para realizar la evaluación han sido tomados de la librería de problemas *PSPLib* (Kolisch, 1997). Se trata de una recopilación de datos de proyectos de diversas artículos publicados. Estos datos se usan como base de medida para resolver diversos problemas de optimización sobre ellos como la programación de proyectos para asignación o nivelación de recursos con diferentes limitaciones.

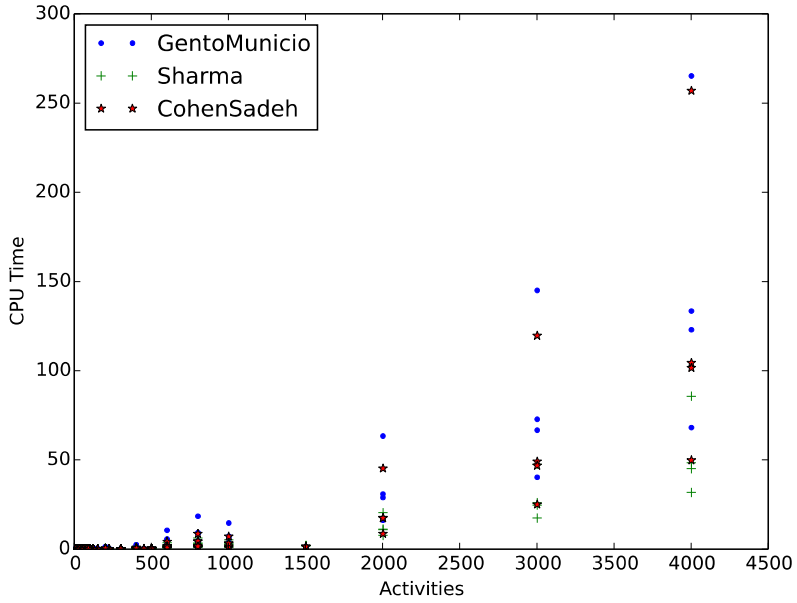
En la Tabla 1, se muestra una descripción general de los conjuntos de datos de los proyectos utilizados. Como se puede observar los conjuntos son muy diversos e incluyen proyectos con una gran cantidad de actividades y prelaciones.

Tabla 1: Características de los proyectos considerados por grupos

	Nº de proyectos	*Nº medio de actividades*	*Nº medio de prelaciones*
Alvarez	144	60.3	128.9
Elmaghraby	36	36.6	95.7
Jobshop	113	260.0	272.2
Tavares (S)	20	72.0	202.9
Tavares (M)	36	496.4	1372.8
Tavares (L)	16	2502.0	6661.4
Patterson	110	26.0	252.8
Kolisch	2040	79.6	143.8
Total	2515		

Se han utilizado los 2515 proyectos disponibles. Generando un grafo con cada uno de los tres algoritmos estudiados. Para validar que todos los grafos son correctos, se ha desarrollado un algoritmo de validación que extrae todas las prelaciones implícitas en el grafo AOA y comprueba que son idénticas a la tabla de prelaciones dada por los datos del proyecto (toda prelación presente en el grafo está presente en la tabla y viceversa). Obviamente, en el desarrollo final, todos los algoritmos son correctos y generan todos los grafos correctamente.

Figura 1: Tiempo de ejecución de cada algoritmo respecto al número de actividades del proyecto



Como variables independientes, o de entrada, para valorar el tamaño de los proyectos, hemos considerado:

- El número de actividades reales (*Activities*)

- El número de prelaciones establecidas entre actividades del proyecto (*Prelations*)

Como variables dependientes a estudiar hemos tomado:

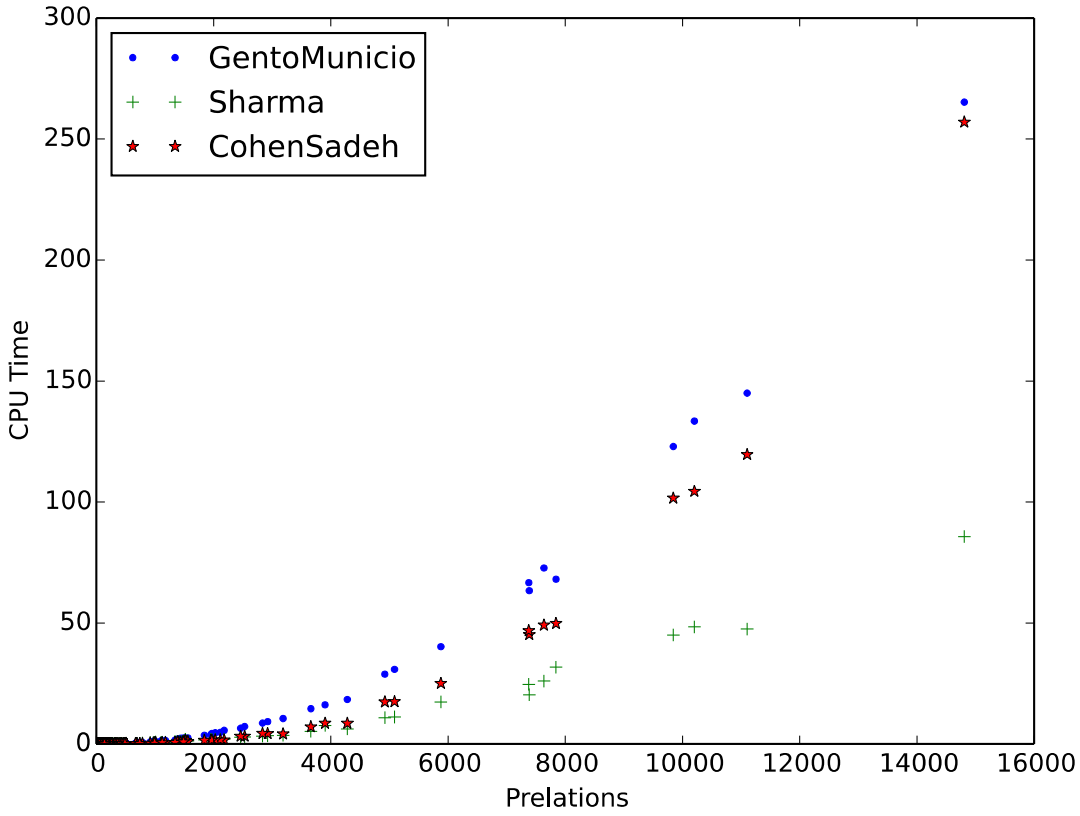
- El tiempo en segundos de ejecución real en la CPU del algoritmo (*CPU time*).
- Número de actividades ficticias generadas en el grafo (*Dummies*)

3.2 Resultados

Trabajando con el número de actividades como medida del tamaño del proyecto es más difícil apreciar la relación entre el tamaño y el tiempo de ejecución. Se percibe un gran dispersión de los resultados (ver Figura 1). Sin embargo, considerando el número de prelaciones en la Figura 2 podemos apreciar la relación muy claramente y ver que su tendencia de crecimiento no es lineal para ninguno de los algoritmos.

Además, se han detectado diferencias de tiempo sustanciales entre los tres algoritmos, que son especialmente notables en los proyectos grandes, donde los algoritmos Cohen&Sadeh y Gento-Municio tardan entre 2 y 3 veces más que Sharma.

Figura 2: Tiempo de ejecución de cada algoritmo respecto al número de prelaciones del proyecto



El número de actividades ficticias incluidas por cada algoritmo es muy parecido en la mayoría de los proyectos. Sin embargo, si se presta atención a los diferentes tipos de proyectos, hay diferencias importantes. Podemos verlo en la tabla 2, que muestra la suma

del número de ficticias de los proyectos de cada conjunto.

Tabla 2: Número de actividades ficticias en cada grupo de problemas

	Cohen&Sadeh		*Gento-Municio*		*Sharma*	
	Nº ficticias	*%*	*Nº ficticias*	*%*	*Nº ficticias*	*%*
Alvarez	8121	(62%)	5603	(43%)	13115	(100%)
Elmaghraby	0	(0%)	0	(0%)	2449	(100%)
Jobshop	0	(0%)	0	(0%)	0	(0%)
Tavares (S)	3265	(99%)	3278	(99%)	3305	(100%)
Tavares (M)	40041	(99%)	40318	(100%)	40298	(100%)
Tavares (L)	86540	(100%)	86971	(100%)	86880	(100%)
Patterson	1478	(79%)	1190	(64%)	1874	(100%)
Kolisch	144583	(100%)	144452	(100%)	145102	(100%)

En general, Sharma es el algoritmo que más ficticias genera, con diferencias importantes en los conjuntos de: Álvarez (donde Gento-Municio reduce hasta un 67%), Elmaghraby (todas las ficticias son innecesarias) y Patterson (36%). En cambio, en los demás conjuntos, los resultados son muy similares.

La figura 3 muestra un grafo generado con el algoritmo de Sharma que tiene varias actividades ficticias innecesarias. Concretamente, los nodos *5, 6, 8* y *9* podrían hacerse uno sólo y bastaría con una ficticia para resolver la actividad paralela. Este tipo de patrones no son detectados en la fase de eliminación de ficticias innecesarias de Sharma. En cambio, los algoritmos de Cohen & Sadeh y Gento-Municio crean el grafo óptimo para este proyecto, que se puede observar en la Figura 4.

Figura 3: Grafo con patrón de ficticias innecesarias no eliminadas con el algoritmo de Sharma

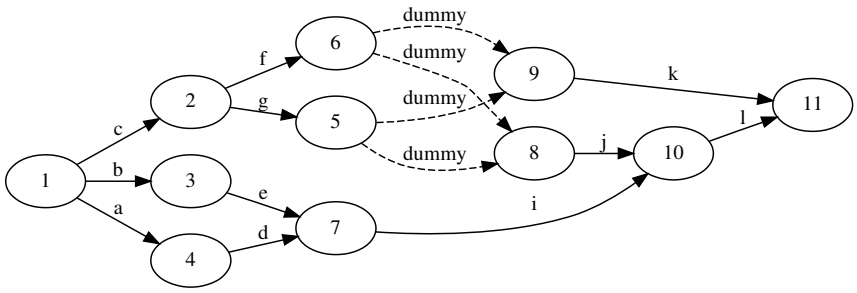
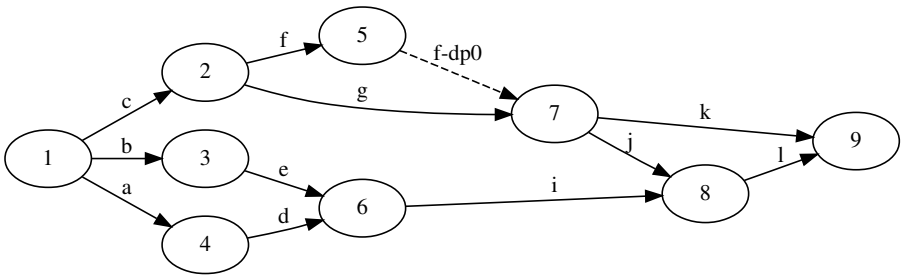


Figura 4: Grafo sin ficticias innecesarias generado con algoritmo Cohen-Sadeh



Entre los algoritmos de Cohen&Sadeh y Gento-Municio las diferencias respecto al número de ficticias generadas son menores en general. Sin embargo, hay dos conjuntos (Álvarez y Patterson) donde la diferencia es importante a favor de Gento-Municio. Para ilustrar en qué casos genera más ficticias Cohen&Sadeh, las figuras 5 y 6 muestran los grafos generados para un ejemplo pequeño (ST2748) del conjunto de Álvarez. En ellos, se puede ver cómo la reducción del número de ficticias la aporta la detección de los patrones que Gento-Municio denomina cadenas.

Figura 5: Sección del grafo generado por el algoritmo de Cohen-Sadeh para el proyecto Alvarez/ST2748

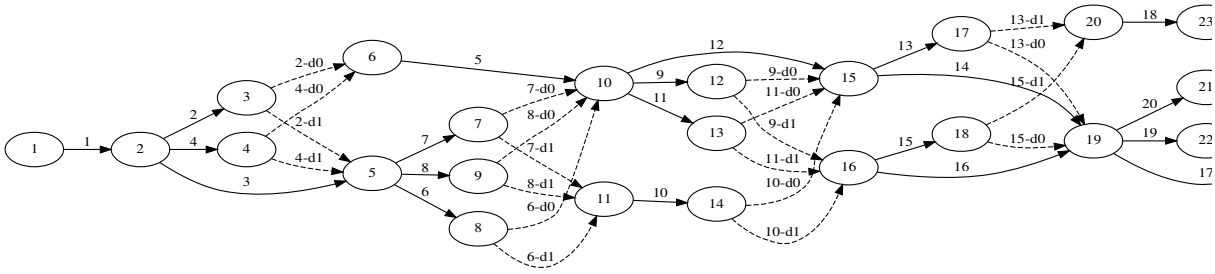
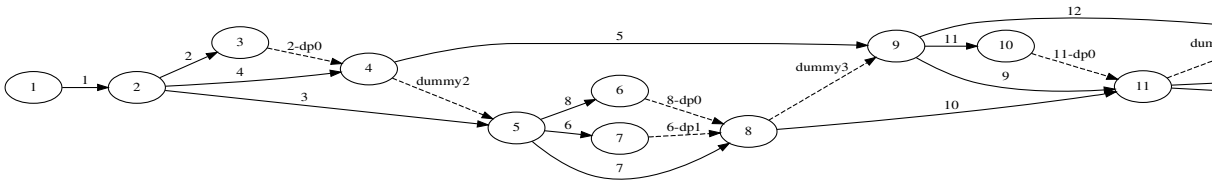


Figura 6: Sección Grafo generado por el algoritmo de Gento-Municio para el proyecto Alvarez/ST2748



Conclusiones y trabajo futuro

Se han comparado tres algoritmos aproximados para la generación de grafos AOA. En general, Sharma es el algoritmo más eficiente pero también el que genera un mayor número de actividades ficticias. Sin embargo, esto no es determinante porque, dependiendo del tipo de proyectos, el número de actividades ficticias es muy parecido al de los otros y es incluso menor en algunos casos. Entre los algoritmos que generan menos ficticias, Cohen&Sadeh y Gento-Municio, parece ser más interesante la aplicación de Gento-Municio ya que en un menor tiempo de ejecución obtiene grafos con un número similar, o incluso menor, de actividades ficticias.

Se ha visto que la base de datos de proyectos grandes utilizada es muy diversa y eso genera resultados muy diferentes dependiendo del algoritmo aplicado. Esto abre la puerta a que los proyectos puedan ser caracterizados en función de los tipos de patrones que incluyen.

Por otra parte, los datos de muchos de los proyectos utilizados son generados artificialmente, como trabajo futuro, una recopilación de datos de proyectos grandes reales sería muy interesante. Gracias a la popularización del Open Data puede que esto sea más

sencillo en breve. También, sería interesante implementar y comparar otros algoritmos publicados. Concretamente, el algoritmo propuesto por Mouhoub (2011) tiene una base matemática muy interesante y prometedora.

Bibliografía

Cohen, Y., & Sadeh, A. (2006). A new approach for constructing and generating AOA networks. *Journal of Engineering, Computing and Architecture*, *1*, 1–15.

Gento-Municio, A. M. (2004). Un algoritmo para la realización de grafos con las actividades en los arcos, grafos PERT. *Cuadernos Del CIMBAGE*, (7), 103.

Kolisch, R., & Sprecher, A. (1997). PSPLIB-a project scheduling problem library: OR software-ORSEP operations research software exchange program. *European journal of operational research*, *96*(1), 205-216.

Krishnamoorthy, M. S., & Deo, N. (1979). Complexity of the minimum-dummy-activities problem in a pert network. *Networks*, *9*(3), 189–194. http://doi.org/10.1002/net.3230090302

Mouhoub, N. E., Benhocine, A., & Belouadah, H. (2011). A new method for constructing a minimal PERT network. *Applied Mathematical Modelling*, *35*(9), 4575–4588. http://doi.org/10.1016/j.apm.2011.03.031

Project Management Institute. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Project Management Institute, Incorporated.

Salas-Morera, L., Arauzo-Azofra, A., García-Hernández, L., Palomo-Romero, J. M., & Hervás-Martínez, C. (2013). PpcProject: An educational tool for software project management. *Computers & Education*, *69*, 181-188.

Sharma, R. R. K. (1998). A new algorithm for preparing PERT networks. *Asia Pacific Journal of Operational Research, 15, 37–48.*

01-030

COMPARATIVE ANALYSIS OF STANDARD ISO 28000 "SUPPLY CHAIN" AND ISO 55000 "ASSETS MANAGEMENT"

Amendola, Luis [124]; Depool Malave, Tibaire Angélica [2]; Candelario Reyes, Juan Manuel [3]; Artacho Ramirez, Miguel Ángel [4]

[1] PMM Institute for Learning, [2] PMM Business School, [3] UCE, [4] Universitat Politècnica de Valencia

The perfect management is developed using the best methods in their processes. With Supply Chain and Asset Management in organizations, balance their cross-functional relationships is difficult or almost impossible. Both certifiable, spent decades being worked separately. The ISO 28000 has 5 Key Elements and ISO 55000 has 10 elements and 23 key requirements for implementation, all contained in both standards. Optimize management methodologies to enhance profits is the engine that drives organizations today, the most optimum is to unify methodologies and / or processes, resulting in management's cost optimization and becoming increasing profits. Every day organizations are asking, how can we integrate these standards in our project management processes ?, What is the relationship between the key elements and principles of ISO 28000 and ISO 55000 ?, Or, Could be develop a methodology based on common points of both standards to optimize or improve project management?, so this study has the objective of analyzing ISO 28000 - ISO 55000, in order to establish the common points that both management systems pursue in organizations of project management in the industry.

Keywords: *Project; Management; Supply; Industry.*

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA NORMA ISO 28000 "CADENA DE SUMINISTROS" Y LA ISO 55000 "GESTIÓN DE ACTIVOS"

La gestión perfecta se desarrolla usando los mejores métodos en sus procesos. Con Supply Chain y Asset Management en las organizaciones, balancear sus relaciones interfuncionales resulta difícil o casi imposible. Ambas certificables, llevan décadas trabajándose por separado. La ISO 28000 posee 5 Elementos Claves y la ISO 55000 posee 10 elementos y 23 requerimientos claves para su implementación, contenidos todos en ambas normas. Optimizar metodologías de gestión para potenciar beneficios es el motor que mueve a las organizaciones actualmente, lo más óptimo es unificar de metodologías y/o procesos, traduciéndose en optimización de costes de gestión y transformándose en aumento de beneficios. Diariamente las organizaciones se preguntan ¿Cómo podemos integrar estas normas en nuestros procesos de gestión de proyectos?, ¿Qué relación existe entre los elementos y principios claves de ISO 28000 e ISO 55000?, o , ¿Se Podría desarrollar una metodología basada en los puntos comunes de ambos estándares a fin de optimizar o bien perfeccionar la gestión de proyectos?, por lo que este estudio tiene por objeto analizar las normas ISO 28000 – ISO 55000, con la finalidad de establecer los puntos comunes que ambos sistemas de gestión persiguen en las organizaciones de gestión de proyectos en la industria.

Palabras clave: *Proyectos; Gestión; Industria; Suministros*

Correspondencia: Luis Amendola luigi@pmmlearning.com

1. Introducción

El concepto Asset Management (AM), a pesar de ser relativamente nuevo, está tomando un papel casi imprescindible en la gestión de proyectos industriales, y más aún en un mundo donde los estándares de operación están dominando todo el entorno industrial. El estándar ISO 55000 es la mejor apuesta para aquellos gestores de proyectos que quieran garantizar el alcance máximo de sus objetivos, en cuanto a la gestión de activos y sistemas de gestión de activos se refiere. De igual modo tenemos el concepto Supply Chain (SC), que a pesar de ser mucho más antiguo que el AM, guarda una estrecha relación con el mismo. En este sentido el estándar ISO 28000 es la mejor apuesta para los gestores de proyectos que quieran garantizar el logro de los objetivos de la gestión de cadenas de suministros.

Cada proyecto tiene sus etapas, las cuales a su vez tienen sus fases, estrategias, procesos, mandos, etc., dentro de una organización. La cual cuenta con departamentos o entidades que se encargan de vigilar el cumplimiento de su parte dentro del proyecto. Esto se traduce en generación de costes, trabajar en equipos es lo más eficiente, pero claro, más equipos mayor coste. La mayoría de los proyectos centran toda su planificación y estrategias en algún tipo de metodología a seguir, ya sea un estándar, una norma, modelos de gestión, flujogramas de procesos, etc.

Según la norma BS ISO 55000, la gestión de activos se define como las actividades y prácticas coordinadas y sistemáticas a través de las cuales una organización maneja óptima y sustentablemente sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgos y gastos asociados a lo largo de su ciclo de vida con el propósito de lograr su plan estratégico. Según la norma BS ISO 28000, la cadena de suministro se define como el conjunto vinculado de recursos y procesos que comienza con el abastecimiento de materia prima y se extiende a través de la entrega de productos o servicios al usuario final a través de los medios de transporte. Disponer de un sistema de gestión de activos estandarizado garantiza a las organizaciones la obtención del máximo beneficio de sus activos físicos. De igual forma contar con un sistema de abastecimiento estandarizado y seguro, es sinónimo de “alcance de objetivos” en cuanto a disponibilidad de recursos se refiere.

La gestión de activos físicos y la gestión de cadena de suministros son disciplinas que se atienden por separado en todas las organizaciones. Sin embargo analizando a fondo los criterios de ambos se puede obtener la relación entre elementos, principios, métodos y procesos de gestión. Alcanzar tanto los objetivos de Asset Management como los objetivos de Supply Chain partiendo de la relación entre ambas, aplicadas correctamente al modelo final.

(Metodologías + Relación) x Unificación= Modelo Maestro. (Candelario, J. 2015)

2. Marco Teórico

2.1 ¿Qué es un Activo Físico?

En algunos casos se usa como sinónimo de Activo Real. Desde la contabilidad: elementos físicos, tales como plantas, maquinaria, edificios, vehículos, tuberías y cables, y la información asociada y sistemas de control y software técnicos que se utilizan para servir a un negocio o de organización función. Son plantas, maquinarias, propiedades, edificios, vehículos y otros elementos que tengan un valor específico para la organización (Institute of Asset Management. "Norma PAS 55-1: 2008).

Figura 1 "Activos de una organización" (Candelario, J. 2014)

2.2 ¿Qué es Asset Management o Gestión de Activos?

Asset Management o Gestión de Activos en español, es la gestión de (principalmente) los activos físicos (su selección, mantenimiento, inspección y renovación) desempeña un papel clave en la determinación del rendimiento operativo y la rentabilidad de las industrias que operan activos como parte de su negocio principal. Esta disciplina profesional emergente se ocupa de la gestión óptima de los sistemas de los activos físicos y sus ciclos de vida. Al principio, y teniendo en cuenta el enlace entre gestión de activos y la gestión financiera, es importante reconocer la definición contable de activos, y en particular la división entre activos fijos y corrientes (Hastings, 2010).

Otras definiciones: es el arte y la ciencia de poner en práctica y desarrollar todos los potenciales de una organización de mantenimiento, que le aseguren una supervivencia a medio y largo plazo y a ser posible beneficiosa (Amendola; Depool; Artacho. 2009).

Figura 2. Pilares en la Gestión de Activos (Amendola, L. 2011)

2.2.1 ¿Por qué es necesaria la Gestión de Activos?

Esta ayuda a que las empresas y organizaciones de planificación de mantenimiento a lograr dar respuesta confiable a las necesidades del negocio. Además, no se enfoca tanto en hacer

acciones sobre los activos, sino en generar valor a través de los activos, es decir, se enfoca en el Negocio (Amendola, L. 2014).

2.3 ISO 55000:2014. Asset Management: Overview, Principles and terminology. (Gestión de Activos: Vista General, Principios y Terminología).

Este estándar es el resultado de un comité técnico de la Organización Internacional de Estandarización (ISO en inglés), en este caso es el Project Committee ISO/PC 251, *Asset Management* donde cada miembro cumple con los requerimientos para los cuales es necesario desarrollar el estándar. ISO también colabora de cerca con la Comisión Internacional Electrotécnica (IEC) en cuestión de estandarización electrotécnica. El propósito final de este estándar es proveer una vista general de la gestión de activos y de los sistemas de gestión de activos. Provee el contexto para ISO 55001 e ISO 55002.

2.3.1 Factores que influyen en el tipo de activos que una empresa necesita para lograr sus objetivos, y cómo los activos son gestionados.

[1] La naturaleza y propósito de la organización.
[2] Su contexto operativo
[3] Sus restricciones financieras y los requisitos reglamentarios
[4] Las necesidades y expectativas de la organización y sus partes interesadas.

2.3.2 Vista general de la gestión de activos

La gestión de activos conlleva balancear costos, oportunidades y riesgos contra el rendimiento deseado de los activos, para alcanzar los objetivos de la organización. Este balance necesitaría ser considerado sobre distintos plazos. La alta gerencia, los empleados y las partes interesadas de una organización deberían implementar la planificación, control de actividades (políticas, procesos y acciones de monitoreo) y monitorizar las actividades, para explotar las oportunidades y reducir los riesgos a un nivel aceptable.

2.3.3 Fundamentos de la gestión de activos.

a) **Valor**
b) **Alineamiento**
c) **Liderazgo**
d) **Garantía**

2.3.4 Propósito

Este estándar internación provee una vista general de la gestión de activos y de los sistemas de gestión de activos. (Es decir, un sistema de gestión para la gestión de activos). También provee el contexto para ISO 55001 e ISO 55002.

2.3.5 Elementos de un sistema de gestión de activos

1. **Contexto de la Organización:** contexto externo y contexto interno
2. **Liderazgo**
3. **Planificación**
4. **Soporte**
5. **Operación**

Figura 3. "Relación de los términos claves de la gestión de activos". (Estándar ISO 55000:2014")

2.4 ISO 55001:2014. Asset Management: Management Systems-Requirements. (Gestión de Activos: Sistemas de Gestión-Requerimientos).

Este estándar internacional especifica los requerimientos dentro del contexto de la organización para el establecimiento, implementación, mantenimiento y el mejoramiento un sistema de gestión para la gestión de activos, refiriéndose al mismo como "sistema de gestión de activos".

2.4.1 Requerimientos

Nota: En este documento solo se muestran las definiciones de los requerimientos, las estrategias, procesos y formas de cómo lograrlos o conseguir exitosamente su aplicación están especificados dentro del documento oficial del estándar ISO 55001:2014.

Tabla 1. Requerimiento ISO 55000, 55001 y 55002 (Candelario. J, 2015)

Liderazgo	• Liderazgo y responsabilidad • Política • Roles organizacionales, responsabilidades y autoridades
Planificación	• Acciones para dirigir los riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos • Objetivos de la gestión de activos • Planificación para alcanzar los objetivos de la gestión de activos
Soporte	• Recursos • Competencia • Conciencia • Comunicación • Requerimientos de Información • Información Documentada
Operación	• Planificación Operacional y Control • Gestión del Cambio • Externalización
Evaluación del Desempeño	• Monitorizar, Medir, Analizar y Evaluar • Auditoria Interna • Revisión de la Gestión
Mejoramiento	• Inconformidad y Acción Correctiva • Acción Preventiva • Mejoramiento Contínuo

2.5 Estándar ISO 28000:2007. Security management systems for the supply chain. (Gestión de la seguridad en la Cadena de Suministros).

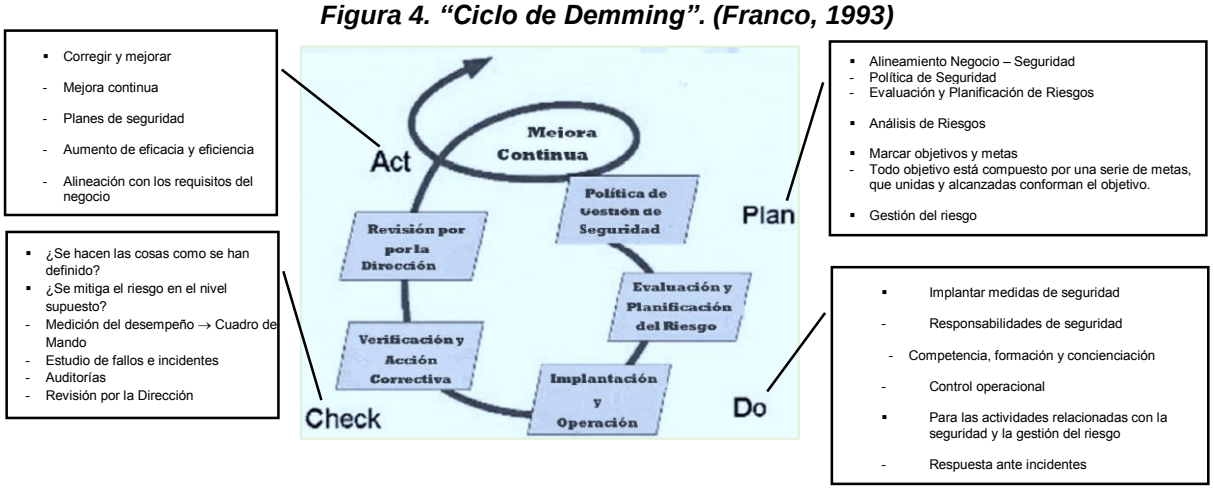
2.5.1 ¿Qué es?

Es una especificación del sistema de gestión que ayuda a la integración en los sistemas de gestión de calidad, medio ambiente y la seguridad de la cadena de suministro dentro de cualquier organización. Su objetivo final es mejorar la seguridad de las cadenas de suministro. Se requiere que la organización evalúe las condiciones de seguridad en las que opera y determinar si las medidas de seguridad adecuadas están en su lugar y si ya existen otros requisitos reglamentarios que la organización cumpla. Tiene las siguientes familias:

- **ISO 28000:2007**
  – Define los requisitos de un sistema de gestión de seguridad. Norma Certificable.
- **ISO 28001:2007**
  – Mejores prácticas para implementar evaluaciones y planes de seguridad
- **ISO 28003:2007**
  – Requisitos para entidades de auditoría y certificación

Basada en el ciclo Demming para el desarrollo de la misma (Figura 4).

Figura 4. "Ciclo de Demming". (Franco, 1993)



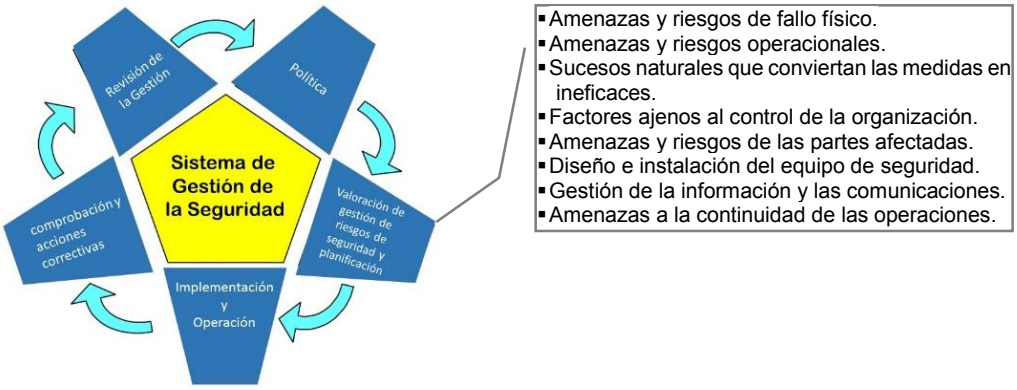
Campo de Aplicación

- ▪ Aplicación a organizaciones de cualquier tamaño, en:
- La fabricación
- El servicio
- El almacenaje
- El transporte
- ▪ En cualquier etapa de la cadena de producción o suministro.

2.5.2 Sistemas de Gestión de Seguridad de la Cadena de Suministros

La ventaja del enfoque basado en procesos es el control continuo que proporciona sobre los vínculos entre los procesos individuales dentro del sistema de procesos, así como sobre su combinación e interacción.

Figura 5. "Elementos de un Sistema de Gestión de Seguridad" (Estándar ISO 28000:2007)

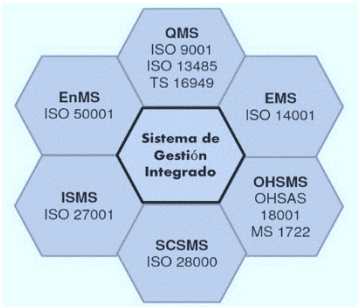


2.5.3 Requerimientos Generales de ISO 28000

La organización debe establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar continuamente un sistema eficaz de gestión de la seguridad para la identificación de los riesgos de seguridad y de control y mitigación de sus consecuencias. En este apartado nos limitamos a mencionar de los requerimientos, ya que mencionar la estrategia de aplicación sería una violación de los derechos de la norma.

- → **Política de gestión de la seguridad**
- → **Evaluación de riesgos de seguridad y planificación**
- → **Requisitos reglamentarios legal, estatutario y otra de seguridad**
- → **Objetivos de la Gestión de la Seguridad**
- → **Metas de la Gestión de la Seguridad**
- → **Programas de Gestión de la Seguridad**
- → **Implementación y Operación:** A) Estructura, autoridad y responsabilidades para la gestión de la seguridad, B) Competencia, formación y sensibilización, C) Comunicación, D) Documentación, E) Documentos y datos de control, F) Control operacional, G) La preparación para emergencias, la respuesta y la recuperación de la seguridad
- → **Comprobación y Acciones Correctivas:** Nos limitamos a mencionarlos solo, para no comprometer los derechos legales de la norma. 1. La medición del desempeño de seguridad y vigilancia. 2. Sistema de evaluación. 3. Fallos relacionados con la seguridad, incidentes, no conformidades y acciones correctivas y preventivas. 4. Control de registros. 5. Auditoría
- → **Revisión por la dirección y la mejora continua**

Figura 6. "Sistema de Gestión Integrado". (SIRIM QAS International, 2013)



2.6 Beneficios

- Alineamiento Negocio – Seguridad. - Mejora la competitividad e imagen de las empresas.
- Amplía las oportunidades de negocios en mercados Internacionales.
- Reduce los riesgos asociados al comercio internacional.
- Fomenta un ambiente de trabajo seguro.
- Mejora el control y la trazabilidad de su cadena logística
- Permite garantizar que se llevan a cabo operaciones para el control de los riesgos y la implantación de medidas que los mitiguen.
- Es posible certificar por una tercera parte, que el sistema de gestión de la seguridad de la cadena de suministro de la organización se lleva bajo los estándares internacionales establecidos en la norma ISO 28000.
- Aporta un valor agregado para la organización en sus operaciones comerciales.
- Poder comunicar a clientes, autoridades e inversores la implantación del sistema de gestión de la seguridad y utilizarlo como herramienta competitiva y diferencial.

3. Objetivo de la investigación

El objetivo general de esta investigación es analizar las normas ISO 28000 de Supply Chain y la ISO 55000 de Asset Management, a través de una metodología de diagnóstica enfocada en los principios, elementos, requerimientos y relación a las familias de ambas normas. Con la finalidad de establecer los puntos comunes que ambos sistemas de gestión persiguen en las organizaciones de gestión de proyectos en la industria, a pesar de trabajarse por separado.

4. Hipótesis

H1) A través de un estudio a fondo de las normas, que a pesar de ser normas cuya planificación estratégica y ejecución se desarrollan en ambientes distintos por su complejidad, se puede identificar puntos en común entre ambas.
H2) La identificación y evaluación de estos puntos en común dependerá del juicio de los expertos y del marco de aplicación de ambas normas.

5. Resultados y Discusión

Tabla 2. Correspondencia entre ISO 28000 y la familia ISO 55000, 55001 y 55002 (Candelario, J. 2015)

ISO 28000	Cita	ISO 55000 Series	Cita
Relación con otros estándares	V	Relación con otros estándares	V-iso 55000
Título: Especificación para sistemas de gestión de la seguridad de la cadena de suministro. Alcance	1.	Gestión de Activos General Beneficios de gestión de activos Activos Visión general de la gestión de activos	ISO 55000 2 2.1 2.2 2.3 2.4

		Fundamentos Relación del sistema de gestión de activos con la gestión de activos Visión general del sistema de gestión de activos Beneficios del sistema de gestión de activos Elementos del sistema de gestión de activos	2.4.2 2.4.3 2.5 2.5.2 2.5.3
Términos y Definiciones	3.	Términos y Definiciones	3. ISO 55000
Título: Requerimientos del sistema de gestión de seguridad de la cadena de suministro	4.	Título: Gestión de Activos-Sistema de Gestión-Requerimientos Título: Gestión de Activos-Sistema de Gestión-Directrices para la aplicación	ISO 55001 ISO 55002
Requerimientos Generales	4.1	Contexto de la Organización Entendiendo la organización y su contexto Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	ISO 55001-2 4.1 4.2
Política de gestión de la seguridad	4.2	Política	5.2
Evaluación de riesgos de seguridad y planificación	4.3	Planificación	6.
Evaluación de riesgos de seguridad	4.3.1	Acciones para hacer frente a los riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	6.1
Requisito reglamentario legal, estatutario y otra de seguridad	4.3.2	Determinación del alcance del sistema de gestión de activos	4.3
Objetivos de la Gestión de la Seguridad	4.3.3	Objetivos de la gestión de activos y planificación para alcanzarlos	6.2
Metas de la Gestión de la Seguridad	4.3.4	Enfoque de sistemas integrados de gestión	2.6-ISO55000
Programas de Gestión de la Seguridad	4.3.5	Sistema de gestión de activos	4.4-ISO55001
Implementación y Operación: -Estructura, autoridad y responsabilidades para la gestión de la seguridad -Competencia, formación y sensibilización -Comunicación -Documentación -Documentos y datos de control -Control operacional -La preparación para emergencias, la respuesta y la recuperación de la seguridad	4.4 4.4.1 4.4.2 4.4.3 4.4.4 4.4.5 4.4.6 4.4.7	Liderazgo Liderazgo y compromiso Roles organizacionales, responsabilidades y autoridades Soporte Recursos Competencias Conciencia Comunicación Requerimientos de información Información documentada Operación Planificación operacional y control	ISO 55001-2 5. 5.1 5.3 7. 7.1 7.2 7.3 7.4 7.5 7.6 8. 8.1 8.2

		Manejo del cambio Externalización	8.3
Comprobación y Acciones Correctivas -La medición del desempeño de seguridad y vigilancia -Sistema de evaluación -Fallos relacionados con la seguridad, incidentes, no conformidades y acciones correctivas y preventivas -Control de registros -Auditoría	4.5 4.5.1 4.5.2 4.5.3 4.5.4 4.5.5	Evaluación del desempeño Monitorización, medición, análisis y evaluación Auditoria interna Mejora No conformidad y acción correctiva Acción preventiva	9. 9.1 9.2 10. 10.1 10.2
Revisión por la dirección y la mejora continua	4.6	Revisión de la gestión Mejora continua	9.3 10.3

Ambas normas poseen actividades que llevan el mismo nombre, y que incluso se encuentran ubicadas en los mismos capítulos de ambas normas (tabla 1,). En su caso, existen muchos que a pesar de no poseer el mismo nombre o identificativo y de encontrarse en ubicaciones distintas dentro de las estrategias y los procesos, poseen objetivos en común.

Figura 7. "Bases de la Norma ISO 28000" (Candelario. J, 2014)

Figura 8. "Bases de la Norma ISO 55000" (Candelario. J, 2014)

Evaluando ambas normas, y haciendo uso del juicio de los expertos, se identificaron elementos comunes y diferencias que ambas normas persiguen en las organizaciones.

Tabla 3. "BS ISO 28000 + BS ISO 55000 Series-Elementos comunes y Diferencias" (Candelario. J, 2015)

BS ISO 28000 + BS ISO 55000 Series	
Elementos Comunes	***Diferencias***
Ambas normas son certificables, pero requieren la participación de un tercero para verificar la conformidad con las normas.	Las normas se desarrollaron para: -ISO 28000: Gestión de la seguridad para la cadena de suministros. -ISO 55000: Gestión de activos físicos.
Ambas tienen en cuenta lo siguiente: → Planificación del proyecto → Desarrollo de estrategias → Asignación de recursos	Ambas tienen mayor impacto directo en:

→ Asignación de responsabilidades → Análisis de riesgos → Desarrollo de estrategias anti riesgos → Evaluación del desempeño → Identificación de no conformidades → Acciones correctivas → Revisión por parte de la alta gerencia → Mejora continua	-ISO 28000: Gestion de aprovisionamiento de materiales, logística, ubicación, proveedores, plazos de entrega y recepción. -ISO 55000: Activos físicos, ciclo de vida, continuidad de procesos.
La norma ISO 28000 se desarrolló de manera que pueda ser aplicada a cualquier tipo de organización, industria, servicio. Al igual que toda la familia de la ISO 55000.	La ISO 28000 enfoca sus estrategias en la parte externa a la organización, mientras que la ISO 55000 tiene un enfoque más interno en las organizaciones.
En la planificación, ambas establecen que todos los objetivos deben estar orientados a cumplir con el plan estratégico organizacional. Y que deben basarse en las necesidades de las distintas áreas de la gestión.	La ISO 28000 posee 5 Elementos Claves y 19 requerimientos, mientras que la ISO 55000 posee 10 elementos claves y 23 requerimientos para su implementación.
Ambas normas establecen que la política: -De la alta gestión debe ser consistente con los objetivos y planes de la organización. -Debe proveer un marco para establecer los objetivos y alcance de la gestión. -Debe establecer compromisos de mejora continua para todas las partes involucradas. -Tras su implementación debe ser revisada.	ISO 55000 busca garantizar el buen funcionamiento y alargar la vida útil de los activos físicos, por su lado ISO 28000 busca garantizar la disponibilidad de materiales y servicios en tiempos óptimos.
Para ambas normas, durante la planificación, el punto más importante es la prevención de los riesgos.	El uso de softwares para los procesos de gestión, tienen mayor impacto en las estrategias de la ISO 28000, que en la ISO 55000.
Tanto la ISO 28000 como la ISO 55000 establecen la necesidad de contar con un sistema eficiente de manejo de la información durante la gestión.	El manejo del cambio (MOC en inglés), forma parte de la etapa de desarrollo de la política en la ISO 28000, pero en la ISO 55000 aparece en la etapa de operación.
Ambas normas coinciden en que debe establecerse una estructura organizativa de recursos y responsabilidades, que garanticen el alcance del plan estratégico.	La externalización de procesos es más frecuente en las estrategias de gestión de activos. En las estrategias de cadena de suministros es menos frecuente.
En ambas normas se establece la competencia y/o formación como necesidad en una organización para la gestión.	ISO 55000 se diseñó como respuesta a los problemas en las industrias. ISO 28000 se diseñó como respuesta a los problemas en las aduanas y transporte.
Ambas normas coinciden en que es necesario el uso de programas para agilizar los procesos de gestión. Y si es necesario, la externalización de procesos.	Los periodos en los procesos de operación establecidos en ISO 55000 suelen ser a mediano y largo plazo, por el contrario en la ISO 28000, son a corto plazo, cuanto más corto mejor.
En ambas normas se especifica la necesidad de contar con un sistema de control operacional.	Para la ISO 55000 la identificación de riesgos, incluye los riesgos internos y externos a la organización. En la ISO 28000 la identificación solo incluye los riesgos externos a las organizaciones.
Tanto la ISO 28000 como la ISO 55000 establecen que debe existir un sistema de calidad en cuanto a la medición y evaluación del desempeño de todas las partes involucradas en los procesos de gestión.	
Ambas normas concuerdan en que las auditorias son de suma importancia para garantizar el cumplimiento de los planes.	

Identificar situaciones de no conformidad, debe ir alineado a la creación de acciones correctivas y preventivas en ambas normas.	
Para ambas normas las acciones correctivas solo se llevaran a cabo si existe alguna situación de no conformidad durante los procesos de gestión.	
Tanto para la ISO 28000 como para la ISO 55000, las etapas que cierran, y que más influyen, los procesos de gestión en las organizaciones son: -Revisión de la Gestión por la alta gerencia -Mejora Continua de los procesos de gestión	

6. Conclusiones

La profunda indagación del marco teórico en conjunto con el aporte de la experiencia y juicio de los expertos, han permitido, tras haber estudiado, analizado y evaluado las estrategias de gestión establecidas en ISO 28000 y en ISO 55000 para las organizaciones, que se puedan establecer puntos en común dentro de los procesos de gestión de ambas normas. Quedando demostrado que a pesar de que ISO 28000 (Supply Chain) e ISO 55000 (Asset Management), son disciplinas que llevan a cabo sus actividades por separado en las organizaciones de gestión, dentro de sus estrategias, sus procesos y métodos se pueden identificar similitudes en cuanto a objetivos, planes estratégicos, ejecución de procesos, medición del desempeño, evaluación, acciones correctivas, revisión y mejora continua.

7. Referencias

- A. G. de Kok, S. C. Graves, “Supply Chain Management: Design, Coordination and Operation. Operation Research and Management Science Handbook. ISBN: 9780849397219. Volume 11. 2003.”
- Amendola, L, Ph.D. “Casos de Negocio en la gestión integral de Activos”. Integrated Asset Management. ISBN: 9788493566876. 2010, Global Asset Management Iberoamérica.
- Amendola, L, Ph.D. “¿Cómo diagnosticar organizaciones de Gestión Integral de Activos Físicos?” p18-29, Volumen 23, Noviembre 2012.
- Amendola, L, Ph.D. “Metodología de diagnóstico en la gestión integral de activos físicos en la industria. Caso: industria Eléctrica-assessment methodology PAS 55 + 3P (People, Process and People). p19-27, Volumen 14, Abril 2011.
- Amendola, L, Ph.D. “Operacionalizando la Estrategia en la Gestión Integral de Activos Físicos Basado en el Estándar PAS 55”. P06-14, Volumen 13. ISBN 9788493566852 Enero 2011.
- Amendola, L, Ph.D.; Depool Tibaire. Ph.D; Artacho, M.A. Ph.D. “Metodología De Diagnóstico En La Gestión Integral De Activos Físicos En La Industria. Caso: Industria Eléctrica” 2011.
- Amendola, L, Ph.D.; Depool Tibaire. Ph.D; Artacho, M.A. Ph.D; Noguera, S. “Blended Learning Como Recurso Para Desarrollar Competencias En Directivos Involucrados En Un Proyecto De Gestión De Activos Con Pas55” 2012.

- "Estándar ISO 55000:2014" Asset Management: Overview, principles and terminology. ISBN 978-0-580-75127-1. 2014.
- "Estándar ISO 55001:2014" Asset Management: Management Systems-Requirements. ISBN 978-0-580-75128-8. 2014.
- "Estándar ISO 55002:2014" Asset Management: Management System-Guidelines for the application of ISO55001. ISBN 978-0-580-75129-5. 2014.
- Claypool, Erin; Norman, Bryan A.; Needy, Kim LaScola. "Modeling risk in a design for supply chain problem". doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.026, Septiembre 2014.
- David Blanchard, "Supply Chain Management Best Practices", 2nd. Edition, John Wiley & Sons, (2010). ISBN 978-0-470-53188-4
- Göksu, Alper; Kocamaz, Uğur Erkin; Uyaroğlu, Yılmaz. "Synchronization and Control of Chaos in Supply Chain Management". doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.025, 2014.
- Gunasekaran, Angappa; Hong, Paul; Fujimoto, Takahiro. "Building supply chain system capabilities in the age of global complexity: Emerging theories and practices". doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.11.012, Int. J. Production Economics 147 (2014) 189–197.
- Hastings, Nicholas A.J. "Physical Asset Management". 2010. ISBN 978-1-84882-750-9, e-ISBN 978-1-84882-751-6. DOI 10.1007/978-1-84882-751-6. 2010
- Institute for Asset Management (IAM) "An ISM approach for the barrier analysis in implementing green supply chain management." (Artículo-Octubre 2012)
- Institute for Asset Management. "Aligning Asset Management & Investment Strategy with Wider Organizational Objectives". Resumen de Evento 2014.
- Institute for Asset Management. "The IAM Handbook". Version 3 Agosto 2006.
- Institute of Asset Management (IAM), "Asset Management – an anatomy", Version 1.1; Febrero 2012.
- Institute of Asset Management. "Norma PAS55-1:2008". ISBN 978-0-9563934-0-1. 2008
- Institute of Asset Management. "Norma PAS55-2:2008". ISBN 978-0-9563934-2-5. 2008
- International Organization for Standardization. "ISO 28000:2007" Specification for security management systems for the supply Chain Management. ICS 47.020.99. 2007.
- Khan, Omera. "Gestión de los riesgos de la cadena de suministros" Más allá del concepto "lean" reducción de los riesgos de la cadena de suministros global. Libro: Handbook for Supply Chain risk management.
- ManMohan S. Sodhi; Christopher S. Tang. "Managing Supply Chain Risk, 2012".
- Oliva, Rogelio; Watson, Noel H. "Cross-functional alignment in Supply Chain Planning: A case study of sales and Operations Planning". Harvard Business School, 2009, working paper 07-001.
- Sunil Chopra, Peter Meindl, "Supply chain management (Strategy, Planning, and Operation)" Fourth Edition, 2010.
- Transmission & Distribution World., "PPL to Standardize Work, Asset and Supply Chain Management" Vol. 63 Issue 3, p12-12. 1/4p. March-2011 Penton Media, Inc.

01-031

ALIGNING SUPPLY CHAIN STRATEGIES WITH ISO 21500 "PROJECT MANAGEMENT"

Amendola, Luis [124]; Depool Malave, Tibaire Angélica [2]; Candelario Reyes, Juan Manuel [3]; Artacho Ramirez, Miguel Ángel [4]

[1] PMM Institute for Learning, [2] PMM Business School, [3] UCE, [4] Universitat Politècnica de València

For ISO 28000 (Security Management in the Supply Chain), Supply Chain strategies are based on the identification of potential risks and mitigation strategies generation. The ISO 21500 (Project Management) defines project management as the application of methods, tools, techniques and skills for a project, which includes the integration of the different phases of the project life cycle. These phases are different for each project. Chopra and Meindl (2010), say, String Value of a Company comprises: 1. Development of a new product, 2.Marketing and sales 3.Operations, 4. Distribution, 5.Services, comprised between finance, accounting , information technology and human resources. The ISO 21500 says: the creation of a framework of a company's value is: 1.Strategy, 2.Identify, 3.Oportunities, 4.Select, 5.Projects, 6.Contribute, 7.Benefits. The ISO 21500 identifies and selects the phases of the projects. Supply Chain seeks to generate products, stratify their sales, distribution and services. One thing is clear, the end both methods seek to create "Value". The aim of this study is to align strategies and best practices of Supply Chain Management with strategies and best practices of Project Management (ISO 21500) and develop an integrated methodology for industrial projects.

Keywords: *Supply; Alignment, Management; Industrial´s Project*

ALINEACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE SUPPLY CHAIN CON LA NORMA ISO 21500 "GESTIÓN DE PROYECTOS"

Para ISO 28000 (Gestión de la Seguridad en la Cadena de Suministros), las estrategias de Supply Chain se basan en la identificación de posibles riesgos y generación de estrategias para mitigarlos. La ISO 21500 (Gestion de proyectos), define la gestión de proyectos como la aplicación de métodos, herramientas, técnicas y competencias para un proyecto, que incluye la integración de las distintas fases del ciclo de vida del proyecto. Estas fases son distintas para cada proyecto. Chopra y Meindl (2010), dicen: Cadena de Valor de una Compañía, se compone: 1.Desarrollo de un nuevo producto, 2.Mercadotecnia y ventas, 3.Operaciones, 4.Distribución, 5.Servicio, comprendido entre finanzas, contabilidad, tecnología de la información y recursos humanos. La ISO 21500 dice: la creación de un marco de valor de una empresa es: 1.Estrategia, 2.Identificar, 3.Oportunidades, 4.Seleccionar, 5.Proyectos, 6.Contribuir, 7.Beneficios. La ISO 21500 identifica y selecciona las fases de los proyectos. Supply Chain busca generar productos, estratificar sus ventas, distribución y servicio. Hay algo claro, al final ambos métodos buscan generar "Valor". El objetivo de este estudio es alinear las estrategias y buenas prácticas del Supply Chain Management con las estrategias y buenas prácticas del Project Management (ISO 21500) y desarrollar una metodología integrada para proyectos industriales.

Palabras clave: *Suministros; Alineamiento, Gestión; Proyectos; Industriales*

Correspondencia: Luis Amendola luigi@pmmlearning.com

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente la cantidad de proyectos que se llevan a cabo en las distintas industrias, crece cada día más. La gestión de los recursos que se necesitan para ello es la parte más influyentes en cuanto a si se logran o no los objetivos es. Crecer es bueno, siempre y cuando se tenga un control absoluto de cuanto se crece y a qué costo. La gestión de proyectos, actualmente estandarizado bajo la norma ISO 21500, se fundamenta en:

- PLANIFICACIÓN: Planear la ejecución de un proyecto antes de su inicio.
- CONTROL Y SEGUIMIENTO: Medir el progreso del proyecto.

"La planificación consiste en determinar qué se debe hacer cómo debe hacerse, quién es el responsable de que se haga y por qué." **(American Management Association)**

La **gestión de cadena de suministros**, es el eje sobre el que giran las decisiones de, dónde, cuándo y cómo transportar los materiales o insumos para el cumplimiento de las actividades productivas, al menor gasto para el mayor beneficio posible de la industria. Esta investigación enfoca sus esfuerzos en identificar esas prácticas y estrategias de la gestión de cadena de suministros y evaluar la norma ISO 21500, y con ello elaborar un modelo integrado, donde se alineen las mejores prácticas y estrategias de ambos métodos de gestión, con el fin optimizar la gestión de proyectos industriales dentro de sus marcos de aplicación.

2. MARCO TEÓRICO

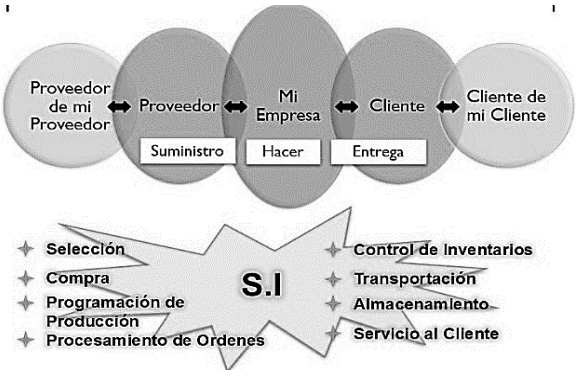
2.1 ¿Qué se entiende por Cadena de suministros?

El término «cadena de suministro», también conocido como «cadena de abasto» (del inglés: Supply Chain **"SC"**), entró al dominio público cuando **Oliver-**1982, un consultor en Booz Allen Hamilton, lo uso en una entrevista para el Financial Times. **Blanchard, 2010:** la cadena de suministro es una secuencia de eventos que cubren el ciclo de vida entero de un producto o servicio desde que es concebido hasta que es consumido.**Landry, 2009** dice: Al igual que la maternidad y la tarta de manzana, la confianza es una de las virtudes indiscutibles de la vida.

2.1.2 Supply Chain Management. Gestión de Cadenas de Suministros. (Definición)

La Gestión de la Cadena de Suministro (**SCM – Supply Chain Management**) es el término utilizado para describir el conjunto de procesos de producción y logística cuyo objetivo final es la entrega de un producto a un cliente.

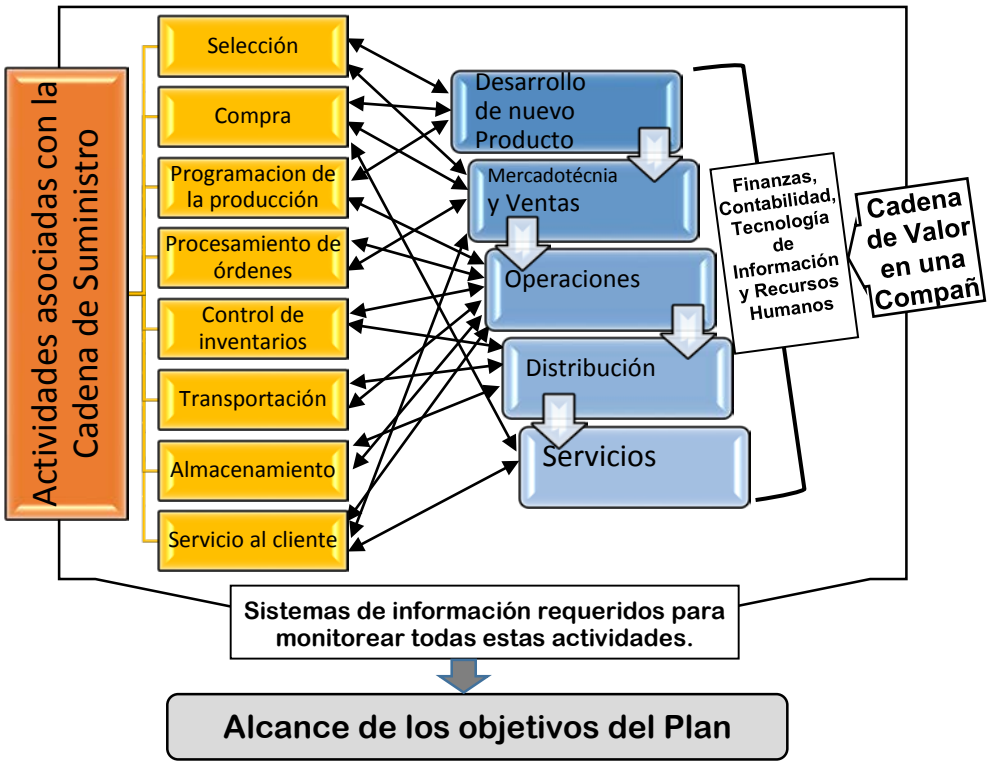
Figura 1. "Gestión de la cadena de Suministros" (Camacho; Cortés; Díaz; León; Sandoval & Sequera. 2010)



2.1.3 Objetivo de la cadena de suministros

El objetivo de cada cadena de suministro debe ser maximizar el valor total generado. El valor (también conocido como excedente de cadena de suministro) que genera una cadena de suministro es la diferencia entre el valor del producto final para el cliente y los costos que incurren en la cadena de suministros para cumplir con los requisitos del cliente. Para la mayoría de la cadena de suministro comercial, el excedente de la cadena de suministro se verá fuertemente correlacionada con la rentabilidad de la cadena de suministro, la diferencia entre los ingresos generados por el cliente y el costo total a través de la cadena de suministro.

Figura 2. "Relación interfuncional entra las Actividades asociadas a la Cadena de Suministro y la Cadena de Valor de una Compañia" (Candelario. J, 2015)



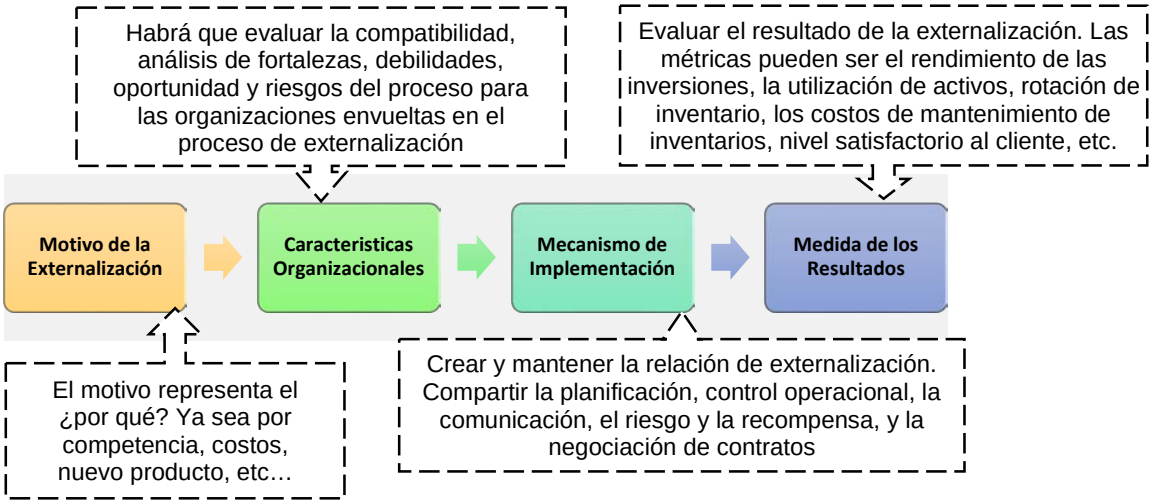
2.2 Técnicas y estrategias en la gestión de la cadena de suministros

La Gestión Logística es la parte de la Administración de Cadenas de Suministros que "planea, implementa y controla la eficiencia de los flujos directos e inversos y el almacenamiento de las mercancías, los servicios y la información relativa entre el punto de origen y el punto de consumo con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes. Implica funciones básicas de la organización como son: **1-La gestión de aprovisionamientos y gestión de riesgos, 2-La gestión de la producción, 3-La gestión de la distribución física.** Proyectos dentro del proceso de gestión de la cadena de suministros. La logística comprende todas las actividades que conllevan a un objetivo único que es: Satisfacción de las necesidades expresadas o latentes en las mejores condiciones económicas y para un nivel de servicio determinado, es decir: **cumplir con los requerimientos de los clientes al menor costo.**

2.2.1 Outsourcing. Externalización

Externalización de procesos de negocios (**BPO en inglés**), implica algo más que dejar que un contratista produzca partes y componentes. Un proveedor de servicios BPO aporta una perspectiva, conocimiento, experiencia y tecnología diferente a la función existente y trabajará con la empresa para rediseñar su proceso hacia uno mejorado o nuevo. El nuevo proceso va a interactuar o estar integrado en la empresa de una manera que puede *llevar valor a los clientes*. **Li, 2007:** Outsourcing es dejar que un contratista externo produzca una cierta parte o componente, o prestar determinados servicios, en los que pueden estar especializados, como el desarrollo de software. **Turmero, 2007:** Outsourcing es una mega tendencia que se está imponiendo en la comunidad empresarial de todo el mundo y consiste básicamente en la contratación externa de recursos anexos, mientras la organización se dedica exclusivamente a la razón de su negocio.

Figura 3. Modelo de Externalizació. (Li, 2007)



2.3 Compras justo a tiempo. Just-In-Time

El **business dictionary**, define JIT: “Hale” (demanda), sistema de inventario impulsado en el que los materiales, piezas, subconjuntos y elementos de apoyo se entregan sólo cuando sea necesario y ni antes ni después. Su objetivo es eliminar los inventarios de productos de la cadena de suministro. El manejo de la SC en la filosofía Just in Time adecua el abastecimiento de materiales y la disponibilidad de estos para llevar a cabo los procesos de la organización, adoptando el sistema de pedidos y suministros conocido como **KANBAN**, para la gestión del flujo de materiales dentro de la planta. Requiere gestionarse como un proyecto dentro del SC.

Figura 4. Elementos del JIT. (Logistics World's Blog, 2010)

2.3.1 Efficient Customer Response – ECR. Respuesta eficiente al consumidor

Es un modelo estratégico de negocios en el cual proveedores y minoristas trabajan en forma integrada, buscando mejorar la eficiencia de la cadena de abastecimiento, posibilitando entregar mayor valor al consumidor final. ECR también cuenta con herramientas basadas en la reposición contínua:

- Computer Assisted Ordering
- Gerenciamiento por categorías
- Vendor managed inventory
- Sistema de recepción electrónica
- Cross docking
- Direct store delivery
- Active based cost
- EDI

Figura 5. Visión General del ECR. BARG, 2006.

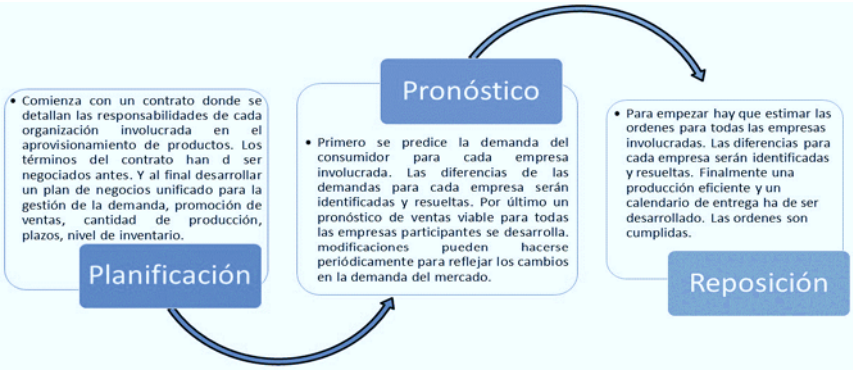
2.3.2 CPFR (Collaborative Planning Forecasting and Replenishment), Planificación Colaborativa del Pronóstico y Reposición

La escencia en el reciente desarrollo de la cadena de suministros es la colaboración a través de la misma. Los proyectos de las organizaciones deben elaborarse pensando en los objetivos proyectados por las partes involucradas con éstas. APICS, define CPFR de la siguiente manera: “Proceso de colaboración por el que los socios comerciales de la cadena de suministro pueden planificar conjuntamente las actividades clave de la cadena de suministro desde la producción y la entrega de materias primas hasta la producción y entrega de productos terminados a los clientes finales”. Las compañías comienzan a experimentar los límites propios del incremento de los beneficios más allá del SCM. Esta actitud ha llevado a las empresas a extender su SC más allá de sus limitaciones, llegando a los procesos de sus partes interesadas, se busca:

- **Reacciones drásticamente más rápidas frente a las demandas de los consumidores**
- **Mayor precisión en los pronósticos de ventas**
- **Comunicaciones más directas y duraderas**
- **Mejoras en los niveles de ventas**
- **Reducción de inventario**
- **Reducción de costos**

Juicio de Expertos: tanto en el ambito del project management como el de supply chain se encuentran individuos que poseen una formación y experiencia formidables para cada caso. En la selección de los trabajos de los mismos para este artículo se llevó a cabo la valoración basada en la descripción, años de experiencia y relevancia de los trabajos desarrollados por los expertos en las distintas bases de datos cientificas del Project Management y Supply Chain Management.

Figura 6. Principales Actividades de CPFR. (Candelario, J. 2014)



2.3.3 VMI (Vendor-Managed Inventory). VGI (Vendedor- Gestión de Inventario)

Blanchard, 2010: "Esta estrategia implica el proveedor, en lugar del minorista, teniendo la responsabilidad de mantener los niveles de inventario del minorista sobre la base de datos de transacciones compartidas por el minorista." El VMI es una respuesta al fenómeno conocido como efecto Bullwhip, que es la tendencia a una excesiva fluctuación de los inventarios y pedidos que se reciben en los niveles "upstream", o primarios de las cadenas de suministro. Como los diferentes elementos de la cadena de valor no comparten información sobre inventarios ni demandas, el efecto Bullwhip puede tener un **impacto en los niveles de aprovisionamiento** en la cadena, es decir, casi involuntariamente, el efecto **puede producir desabastecimiento**.

Figura 7. Efecto Bullwhip.
(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ef/Bulwhip_efect.jpg)

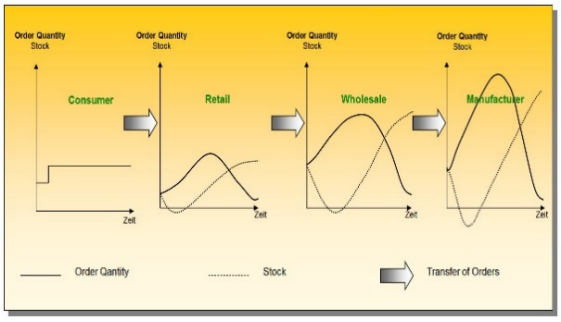
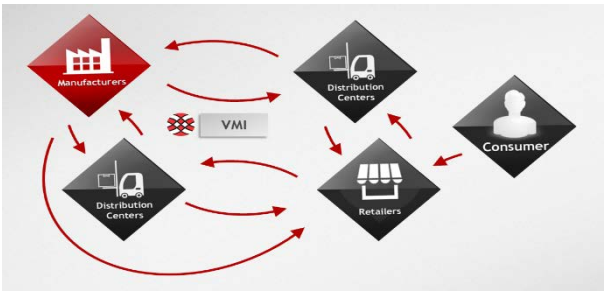


Figura 8. Estrategia VMI. (http://www.neogrid.com/uploads/20140912144435.png)



2.3.4 Principios para la gestión de la cadena de suministros

En el mercado altamente competitivo en el que nos encontramos, las organizaciones requieren más que nunca de la entrega de los proyectos en plazo y bajo el presupuesto y el resultado establecidos. La inestable situación económica mundial ha supuesto que empresas y colaboradores sean constantemente invitados a revisar sus acciones en busca de la supervivencia. **Borrell, 2013:** Al igual que la mano de obra, la tecnología y los equipamientos, el Project Management se ve como un activo empresarial que debe contribuir al resultado final. **Ibbs & Reginato, 2002:** *El Project Management debe aportar una mejora en el retorno de la Inversión de los proyectos para convertirse en un activo estratégico de los negocios y no suponer tan sólo más trámites y burocracia adicional a la organización a la hora de llevar a cabo sus proyectos.* **Accenture,** basándose en la determinación de qué es lo que los clientes demandan y cómo se coordinan los esfuerzos en toda la cadena de suministros, con la finalidad de satisfacer estas demandas más rápidas, más baratas y mejor, desarrolló 7 principios claves para la gestión de los sistemas de cadenas de suministros (Tabla 1).

Tabla 1. Principios de gestion de Cadenas de Suinistros. (Adaptado, Candelario. J, 2015)

Principio 1	Seguimiento a sus clientes basado en las necesidades de servicio de los diferentes grupos y adapte la cadena de suministros para servir a estos mercados rentablemente. Tradicionalmente hemos segmentado a los clientes por industria, producto o canal de ventas y hemos otorgado el mismo nivel de servicio a cada uno de los clientes dentro de un segmento.
Principio 2	Adecue la red de logística a los requerimientos de servicio y a la rentabilidad de los segmentos de clientes. Al diseñar la red de logística debemos enfocarnos intensamente en los requerimientos de servicio y la rentabilidad de los segmentos identificados. El enfoque convencional de crear redes monolíticas es contrario a la exitosa gestión de la cadena de suministros.
Principio 3	Esté atento a las señales del mercado y alinee la planeación de la demanda en consecuencia con toda la cadena de suministro, asegurando pronósticos consistentes y la asignación óptima de los recursos. La planeación de ventas y operaciones debe cubrir toda la cadena, buscando el diagnóstico oportuno de los cambios en la demanda, detectando los patrones de cambio en el procesamiento de órdenes las promociones a clientes, etc.
Principio 4	Busque diferenciar el producto lo más cerca posible del cliente. Ya no es posible que acumulemos inventario para compensar por los errores en los pronósticos de ventas. Lo que debemos hacer es posponer la diferenciación entre los productos en el proceso de manufactura lo más acerca posible del cliente final.
Principio 5	Maneje estratégicamente las fuentes de suministro. Al trabajar más de cerca con los proveedores principales para reducir el costo de materiales y servicios, podemos mejorar los márgenes tanto para nosotros, como para nuestros proveedores. El concepto de exprimir a los proveedores y ponerlos a competir ya no es la forma de proceder, ahora la tendencia es "ganar-ganar".
Principio 6	Desarrolle una estrategia tecnológica para toda la cadena de suministros. Una de las piedras angulares de una gestión exitosa de la cadena de suministros es la tecnología de información que debe soportar múltiples niveles de toma de decisiones así como proveer una clara visibilidad del flujo de productos, servicios, información y fondos.

Principio 7	Adopte mediciones del desempeño para todos los canales. Los sistemas de medición en las cadenas de suministro hacen más que monitorear las funciones internas, deben adoptarse mediciones que se apliquen a cada uno de los eslabones de la cadena. Lo importante es que estas mediciones no solamente contengan indicadores financieros, sino que también nos ayuden a medir los niveles de servicio, tales como la rentabilidad de cada cliente, de cada tipo de operación, unidad de negocio, y en última instancia, por cada pedido.

2.4 Estándar Internacional ISO 21500:2012 (Guidance on Project Management)

Los proyectos conllevan procesos únicos para cada tipo, sin embargo con el estándar ISO 21500:2012, es posible coordinar las actividades de distintos tipos de proyectos sin importar su campo de aplicación. La Norma proporciona una descripción de alto nivel de los conceptos y procesos considerados para buenas prácticas en la gestión de proyectos. Esta norma no proporciona una orientación detallada sobre la gestión de los programas y carteras de proyectos. Temas relacionados con la administración general se presentan solamente en el contexto de la gestión de proyectos.

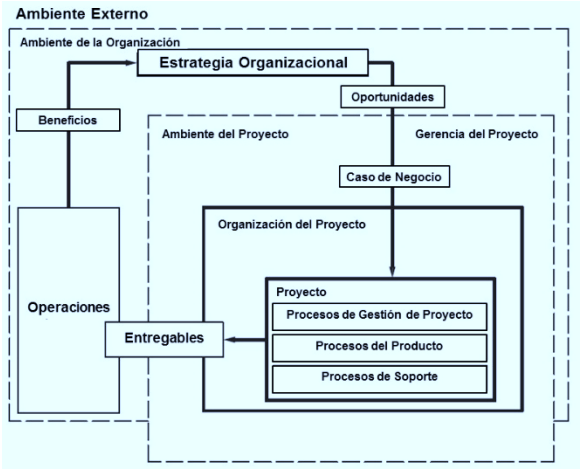
2.4.1 Proyecto (Definición del ISO 21500:2012)

Un proyecto consiste en un conjunto único de procesos que consisten en actividades coordinadas y controladas con fechas de inicio y fin, llevados a cabo para lograr los objetivos del proyecto. El logro de los objetivos del proyecto requiere la provisión de entregables que se ajusten a los requisitos específicos. A pesar de que muchos proyectos son similares, cada uno es unico.

2.4.2 Gestión de Proyectos (Definición del ISO 21500:2012)

La gestión de proyectos es la aplicación de métodos, herramientas, técnicas y competencias para un proyecto, incluye la integración de las distintas fases del ciclo de vida del proyecto, se realiza a través de procesos. Los procesos seleccionados para la realización de un proyecto deben estar alineados en una visión sistémica. Cada fase del ciclo de vida del proyecto debe tener resultados específicos. Estos resultados deben revisarse periódicamente durante el proyecto para cumplir con los requisitos del espónsor, los clientes y otras partes interesadas.

Figura 9. Descripción de los conceptos de gestión de proyectos y sus relaciones (ISO 21500:2012)

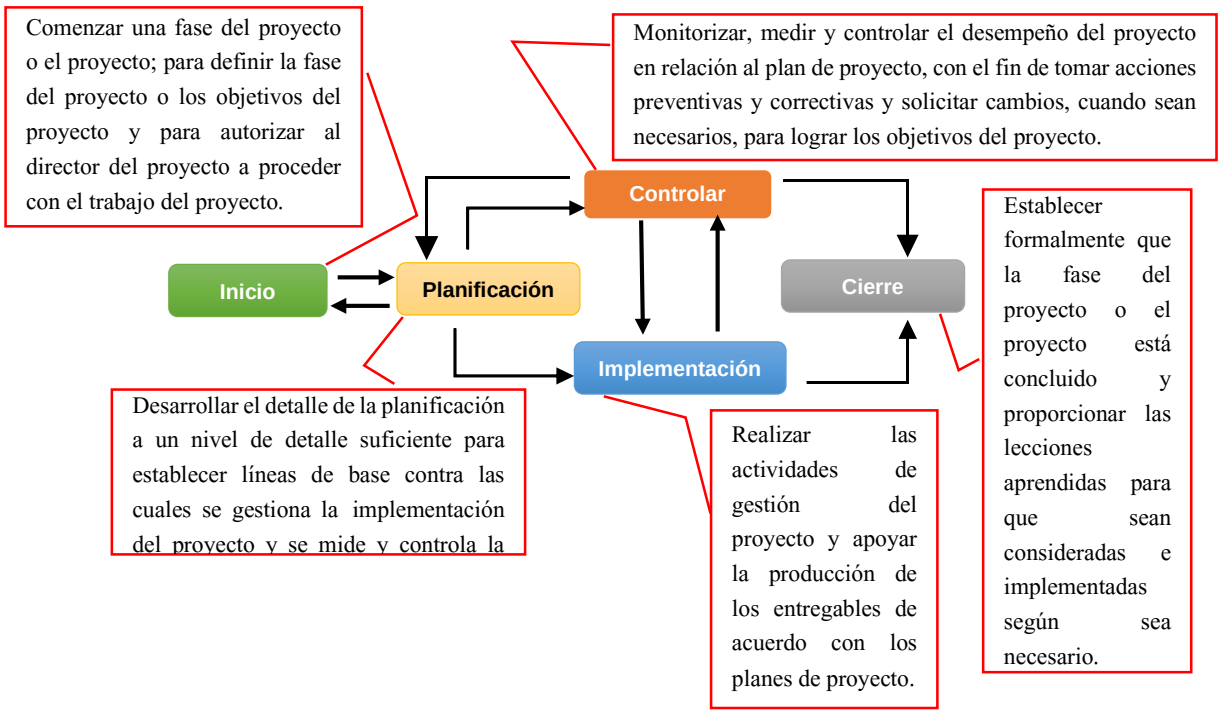


2.4.3 Procesos de la Gestión de Proyectos

ISO 21500:2012 identifica los procesos de gestión de proyectos recomendados para ser utilizados durante un proyecto en su conjunto, para las fases individuales o ambos. Estos procesos de gestión de proyectos son apropiados para proyectos en todas las organizaciones. La gestión de proyectos requiere una coordinación significativa y, como tal, requiere que cada proceso utilizado sea apropiadamente alineado y conectado con otros procesos (Planificación y Logística). **Nuñez Araque, 2013:** sus 39 procesos directivos se reducen a la definición y relación entre procesos de entrada y salida con su documentación correspondiente, pero no desarrolla las herramientas y técnicas aplicables a cada proceso. Por eso, constituye una norma de principios y directrices como competencias de Gestión y Dirección de Proyectos, y no entra en los requisitos y exigencias sobre herramientas y técnicas a emplear para realizar cada proceso.

Nota: Con la finalidad de no violentar los derechos legales del estándar, en este articulo nos limitaremos solo a enumerar y definir (en parte) los procesos para la buena gestión de proyectos, sin llegar a tocar las etapas de aplicación, indicadores y evaluación de los mismos. En cualquier proyecto se reconocen cinco grupos de procesos.

Figura 10. Interacción de los grupos de procesos ISO 21500:2012. (Adaptado, Candelario.J, 2015)



Los grupos de procesos normalmente se repiten dentro de cada fase del proyecto para impulsar el proyecto hasta su finalización. Todos o algunos de los procesos dentro de los grupos de procesos pueden ser requeridos para una fase del proyecto. No todas las interacciones que se muestran en la Figura 10 se aplicarán a todas las fases del proyecto o proyectos. De igual forma se reconocen tambien diez grupos de materias en cualquier proyecto.

Tabla 2. "Grupos de materia de los proyectos". ISO 21500:2012

1-Integración	**Identificar, definir, combinar, unificar, coordinar, controlar y cerrar las distintas actividades y procesos relacionados con el proyecto.**
2-Partes Interesadas	Identificar y realizar la gestión del patrocinador del proyecto, los clientes y el resto de interesados.
3-Alcance	Identificar y definir el trabajo y los entregables, y solo el trabajo y los entregables requeridos.
4-Recurso	Identificar y adquirir los recursos adecuados del proyecto, tales como personas, instalaciones, equipamiento, materiales, infraestructura, y herramientas.
5-Tiempo	Realizar el cronograma de actividades del proyecto y monitorizar su progreso para controlar el cronograma.
6-Costo	Desarrollar el presupuesto y monitorizar su progreso para controlar los costos.
7-Riesgo	Identificar y gestionar amenazas y oportunidades.
8-Calidad	Planificar y establecer el aseguramiento y control de la calidad.
9-Adquisiciones	Planificar y adquirir productos, servicios o resultados y gestionar la relación con los proveedores.
10-Comunicación	Planificar, gestionar y distribuir la información relevante al proyecto.

Tabla 3. "Procesos de la gestión de proyectos, y su ubicación dentro del estándar". ISO 21500:2012

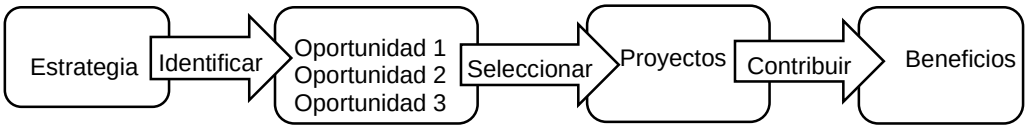
4.3.2 Desarrollar el Acta de Constitución del P.	4.3.21 Secuenciar las Actividades
4.3.3 Desarrollar los Planes de Proyecto	4.3.22 Estimar la Duración de las Actividades
4.3.4 Dirigir el Trabajo del Proyecto	4.3.23 Desarrollar el Cronograma
4.3.5 Controlar el Trabajo del Proyecto	4.3.24 Controlar el Cronograma
4.3.6 Controlar los Cambios	4.3.25 Estimar los Costos
4.3.7 Cerrar la Fase del Proyecto o el P.	4.3.26 Desarrollar el Presupuesto
4.3.8 Recopilar las Lecciones Aprendidas	4.3.27 Controlar los Costos
4.3.9 Identificar a los Interesados	4.3.28 Identificar los Riesgos
4.3.10 Gestionar a los Interesados	4.3.29 Evaluar los Riesgos
4.3.11 Definir el Alcance	4.3.30 Tratar los Riesgos
4.3.12 Crear la EDT	4.3.31 Controlar los Riesgos
4.3.13 Definir las Actividades	4.3.32 Planificar la Calidad
4.3.14 Controlar el Alcance	4.3.33 Realizar el Aseguramiento de la Calidad
4.3.15 Establecer el Equipo del Proyecto	4.3.34 Realizar el Control de la Calidad
4.3.16 Estimar los Recursos	4.3.35 Planificar las Adquisiciones
4.3.17 Definir la Organización del Proyecto	4.3.36 Seleccionar a los Proveedores
4.3.18 Desarrollar el Equipo del Proyecto	4.3.37 Administrar los Contratos
4.3.19 Controlar los Recursos	4.3.38 Planificar las Comunicaciones
4.3.20 Gestionar el Equipo del Proyecto	4.3.39 Distribuir la Información
	4.3.40 Gestionar las Comunicaciones

El estándar presenta los procesos como elementos separados con interfaces bien definidas. En la práctica, se superponen e interactúan en formas que no pueden ser completamente detalladas en la norma. La misma reconoce que hay más de una manera de gestionar un proyecto, dependiendo de factores tales como los objetivos que se quiere alcanzar, riesgo, tamaño, marco temporal, la experiencia del equipo de proyecto, la disponibilidad de recursos, la cantidad de información histórica, el nivel de madurez en gestión de proyectos de la organización, así como los requisitos de la industria y del área de aplicación.

2.4.4 Estratégia Organizacional

Las organizaciones generalmente establecen estrategia basada en su misión, visión, políticas y factores que están fuera de los límites de la organización. El objetivo del proyecto es proporcionar beneficios mensurables que contribuyan a la realización de las oportunidades seleccionadas.

Figura 11. "Ejemplo de un marco de creación de valor". BS ISO 21500:2012



1. Objetivo de la investigación

El objetivo general de esta investigación es indagar, analizar y evaluar los procesos de gestión de Supply Chain y Project Management con la finalidad de alinear las estrategias y buenas prácticas del Supply Chain Management con las estrategias y buenas prácticas del Project Management (ISO 21500) y con ello desarrollar una metodología integrada para proyectos industriales.

2. Hipotesis

H1) La profunda indagación y analisis de los procesos de gestión de supply chain y project management, fundamentada en el marco teórico y sus aplicaciones, garantiza la identificación de relaciones interfuncionales, estratégicas y prácticas de ambos sistemas de gestión.

H2) La evaluación de estas relaciones interfuncionales dependerá del juicio de los expertos y de sus experiencias en el marco de aplicación de ambos sistemas de gestión.

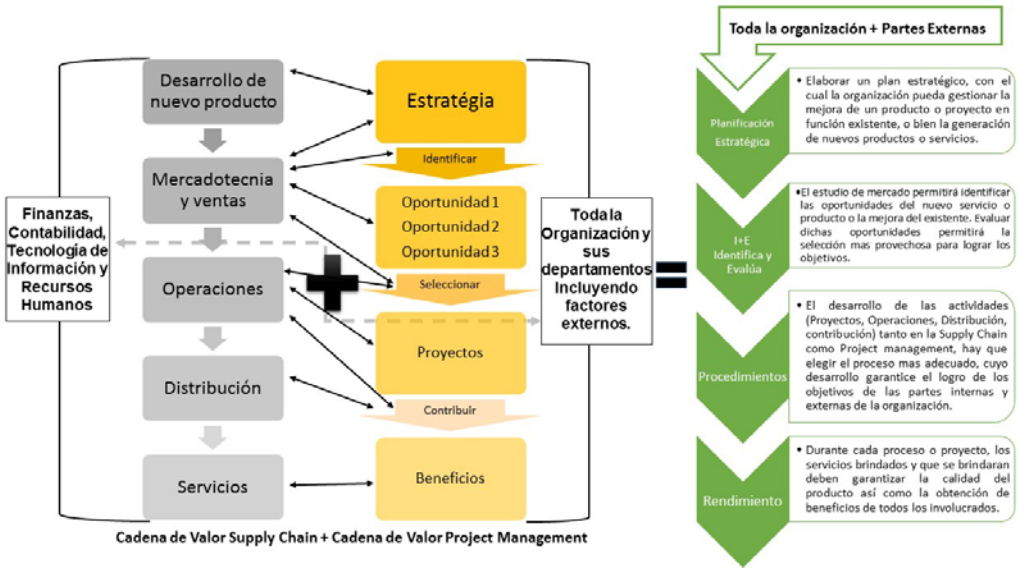
H3) Es posible desarrollar un modelo de gestión para proyectos industriales basado en la alineación e integración, estratégico-práctica, del Supply Chain y Project Management.

H4) La factibilidad del modelo estratégico desarrollado, dependerá de su aceptación y aplicación por parte de los directivos y expertos, basándose en el nivel de conformidad que poseen actualmente respecto al sistema de gestión que implementan y su experiencia.

3. Resultados y Discusión

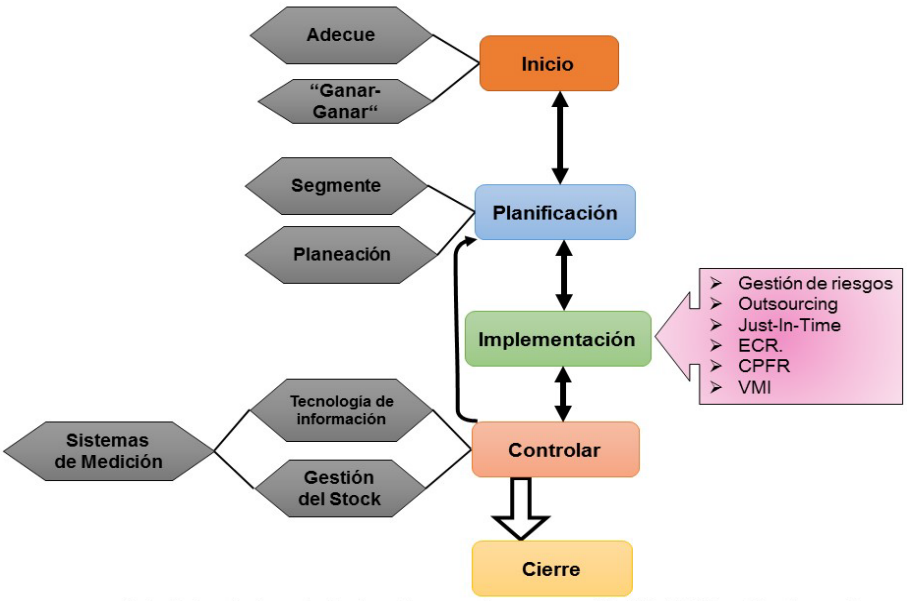
3.1 Relación cadena de valor de Supply Chain y cadena de valor de Project Management.

Figura 12. "Cadena de valor de Supply Chain y cadena de valor de Project Management-Modelo integrado". (Candelario. J, 2015)



3.2 Principios de Supply Chain + Grupos de procesos BS ISO 21500 + Técnicas y Estrategias de Supply Chain

Figura 13. "Integración Principios de Supply Chain + Grupos de procesos BS ISO 21500 + Técnicas y Estrategias de Supply Chain". (Candelario. J, 2015)



Beneficios:

- Alineamiento Proyecto – Supply Chain. - Mejora la competitividad y beneficios de las empresas.
- Ampliación de los márgenes de beneficios finales proyectados.
- Reducción de los riesgos asociados a gestión de proyectos en Supply Chain.
- Garantía de utilización de las mejores prácticas y operaciones para el control total de los procesos dentro de los proyectos.
- El valor agregado para la organización en sus operaciones comerciales estará garantizado.

4. Conclusiones

Con esta investigación sobre las estratégias de gestión de supply chain y project management, fundamentada en el marco teórico y sus aplicaciones, y tras haber valorado la evaluación de las relaciones intrafuncionales de ambos metodos, basado en el juicio de los expertos citados en el contexto del marco teórico, se demuestra que es posible desarrollar un modelo de gestión para proyectos industriales basado en la alineación e integración, estratégico-práctica de ambos metodos. Como resultado final de la investigación, se han desarrollo dos modelos:

[1] Alineación de etapas de las cadenas de valor de supply chain y project management ISO 21500:2012. (Figura 12)

[2] Integración de los principios y estratégias de supply chain a los grupos de procesos de project management ISO 21500:2012. (Figura 13)

Referencias

- Amendola. L, Ph.D. “Gestión de Proyectos de Activos Industriales”. ISBN 8483630524. 2006.
- Amendola.L, Ph.D; Depool.T., Ph.D; Belisario, J.; Noguera, S. “Diseño: Modelo de Gestión de proyectos basado en juicio experto ‘Diagnostico prácticas del Project management industria iberoamericana procesos y energía’ “2010.
- Barbero, Maria Cristina. MBA, PMI-ACP, PMP (Nexen SPA). “ISO 21500: Did we need it?. A Consultant's Point of View after a first experience”. Session EM13TLD04. PMI Global Congress 2013, EMEA.
- Barg, Victor Eduardo “Administracion de la producción” Universidad de Buenos Aires-Facultas ciencias económicas, 2006. https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.econ.uba.ar%2Fwww%2Fdepartamentos%2Fadministracion%2Fplan97%2Fproduccion%2Fsciarroni%2Fbarg%2Fslides%2520teoricas%2FSCM%252810%2529DIEZ.ppt&ei=PLFcVaKfOcyrUZXwgcAK&usg=AFQjCNFAcsM542RY-vPIP6eeAuUe_h6ilQ&sig2=fzgaNHRagrcF9mzjOjL7mg
- Blanchard, David, “Supply Chain Management Best Practices”, 2nd. Edition. ISBN: 978-0-470-53188-4 John Wiley & Sons, (2010).
- Cruz Caicedo, Luis Fernando, MBA, PMP. “Comparativa ISO 21500 y PMBOK Versión 5”. Primer congreso internacional de gerencia de proyectos, PMI Capítulo Colombia. Noviembre 2012
- International Organization for Standardization. “ISO 28000:2007” Specification for security management systems for the supply Chain Management. ICS 47.020.99. 2007.
- Ling Li, “Supply Chain Management: Concepts, Techniques and Practices”. ISBN 9789812700728. 2007.
- ManMohan S. Sodhi; Christopher S. Tang. “Managing Supply Chain Risk. ISBN 9781461432388. 2012”.
- Núñez Araque, José Ma. “Certificaciones profesionales y la Gestión/Dirección de proyectos: la nueva ISO 21500 de Project management”, Jornada Project management Febrero 2013, colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos Madrid.
- Rocha, Luiz. “Beyond project decisions. Deciding on how to decide” 27th IPMA World Congress 2014.
- Scanell, Thomas; Curkovic, Sime; Wagner, Bret. “Integration of ISO 31000:2009 and Supply Chain Risk Management”. American Journal of Industrial and Business Management, 2013, 3, 367-377.
- Sharma, Sanjay. “Towards a synergy between project and supply chain management” International Journal of Industrial Engineering Computations, 2012.
- Souza C., Gilvan. “Supply Chain analytics”. Business Horizons (2014) 57, 595—605.
- Veressimo Pereira, Jorge. “The new supply chain´s frontier: Information management”. International Journal of Information Management 29 (2009) 372–379.

01-032

DEVELOPMENT OF A VALUATION OF TANGIBLE AND INTANGIBLE ASSETS ALIGNED TO ISO 55000 ASSET MANAGEMENT

Amendola, Luis [123]; Depool , Tibaire [2]; Sánchez, Armando [1]; Artacho Ramirez , Miguel Ángel [3]

[1] PMM Institute for Learning, [2] PMM Business School, [3] Universitat Politècnica de València

The valuation of tangible and intangible assets provides relevant information to make the stakeholders aware of the organization status. It is therefore essential that this information is objective and to develop financial statements based in this information and aligned with existing standards. According to Amendola, L. (2011), asset management is "the management of tangible and intangible assets with an integrated approach to operate, maintenance, improve and adapt plants and infrastructure of an organization in order to create an environment that strongly support the enterprise objectives." According to the above definition, the valuation of tangible and intangible assets is fundamental to achieve strategic objectives of the organization, allowing the enabling areas to align with the core business of the company. This paper provides a comparative study on the main technical and economic indicators used for the valuation of tangible and intangible assets aligned to ISO 55000, based on which the asset valuation model presented has been developed.

Keywords: *Management; Asset; Valuation; Planning*

DESARROLLO DE UN MODELO DE VALORACIÓN DE ACTIVOS TANGIBLES E INTANGIBLES ALINEADO A LA ISO 55000 DE GESTIÓN DE ACTIVOS

La valoración de activos tangibles e intangibles aporta información de gran relevancia orientada a que los stakeholders conozcan la posición en la que se encuentra la organización en cuestión. Por ello resulta indispensable que esta información sea objetiva y a partir de la misma elaborar los estados financieros de acuerdo a estándares existentes. Según Amendola, L. (2011), la gestión de activos consiste en “la gestión de activos tangibles e intangibles con enfoque hacia un planteamiento integrado para operar, mantener, mejorar y adaptar las plantas e infraestructuras de una organización con el fin de crear un entorno que soporte firmemente los objetivos de la empresa.” Según la definición anterior, la valoración de los activos tangibles e intangibles es una pieza fundamental dentro del logro de los objetivos estratégicos de la organización, permitiendo que las áreas habilitadoras se alineen con el core business de la compañía. En el presente artículo se realiza un estudio comparado sobre los principales indicadores técnicos y económicos utilizados para realizar la valoración de activos tangibles e intangibles alineados a ISO 55000, en base al cual se desarrolla el modelo de valoración de activos presentado.

Palabras clave: *Gestión; Activos; Valoración; Planeamiento*

Correspondencia: Luis Amendola luigi@pmmlearning.com

1 Introducción

1.1 Gestión de Activos - ISO 55000

En Enero de 2014, International Organization for Standardization (ISO) publica el conjunto de normas internacionales ISO 55000 – Gestión de Activos. Estas pretenden que las organizaciones, de una forma holística, sistémica y sistemática, generen valor con el uso de sus activos, tanto tangibles como intangibles. La serie de normas ISO 55000 se compone por las siguientes normas:

- ISO 55000 - Asset management — Overview, principles and terminology.
- ISO 55001 - Asset management — Management systems — Requirements
- ISO 55002 - Asset management — Management systems — Guidelines for the application of ISO 55001

Ahora, ¿qué es la gestión de activos? La gestión de activos consiste en la optimización del ciclo de vida del activo para ofrecer el rendimiento especificado por los propietarios de los mismos de una manera segura, socialmente beneficiosa y ambientalmente responsable. ISO 55000 proporciona "la combinación óptima de los costes, los riesgos relacionados con los activos, el rendimiento y la situación de los activos y sistemas de activos a través de todo el ciclo de vida". El sistema de gestión de activos (SGA) de la organización, incluye las partes interesadas y los proveedores de servicios externos, y puede usarse como enlace o integrar muchas de las actividades de la organización y funciones que de otra manera serían administrados u operados en forma aislada. El proceso de establecer un SGA requiere un conocimiento profundo de cada uno de sus elementos y de las políticas, planes y procedimientos que las integran.

1.2 Normas Internacionales de Contabilidad NIC

Las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) son el estándar internacional para presentar los estados financieros de una compañía a los stakehoders. Esta serie de normas, emitidas por International Financial Reporting Standards (IFRS) aportan transparencia, rendición de cuentas y eficiencia a los mercados financieros de todo el mundo, permitiendo a los inversores y otros participantes del mercado tomar decisiones económicas informadas.

En el desarrollo de los estados financieros bajo las normas NIIF se emplean las Normas Internacionales de Contabilidad (NIC). En este estudio nos centramos en las NIC que impactan más en una eficiente y eficaz gestión de activos. Estas son las siguientes:

- Norma Internacional de Contabilidad 16 - Propiedades, Planta y Equipo
- Norma Internacional de Contabilidad 36 - Deterioro del Valor de los Activos
- Norma Internacional de Contabilidad 38 - Activos intangibles

Su objetivo es desarrollar el valor de los activos en su estado actual, así como que información debe conocerse de los mismos.

1.3 Modelo

La presencia de los estándares internacionales referidos anteriormente y su alineación es el fundamento de la presente investigación. En este artículo se presenta un Modelo de Valorización de Activos Tangibles e Intangibles alineado a la ISO 55000, con el cual el conocimiento del mundo financiero y contable (área habilitadora) se alinee al mundo técnico

de los activos físicos (core business) y ayuden a conseguir los objetivos organizacionales y las sostenibilidad del negocio.

2 Marco Teórico

2.1 Gestión de Activos – ISO 55000

La Gestión de Activos Físicos (GA) se refiere al conjunto de prácticas y actividades holísticas y coordinadas a través de las cuales una organización puede gestionar de forma óptima sus activos físicos, considerando los aspectos asociados al desempeño, riesgos y gestión de su ciclo de vida dirigido a apoyar el logro de los planes estratégicos de la organización PAS 55 (2008). La GA también se considera como un proceso de razonamiento, autoevaluación, de desarrollo de estrategias, objetivos y planes de acción para la implementación y sostenibilidad de los activos, coordinando el conocimiento y las funciones de toda la organización (Amendola, 2013).

Según el *International Infrastructure Management Manual* (2011) la GA es la combinación de las áreas de gestión financiera, económica, ingeniería y otras prácticas aplicadas a los activos físicos con el objetivo de proveer el nivel de servicio requerido de forma rentable y sostenible. Según las diferentes definiciones acerca de la GA se puede concluir que ésta no es exclusiva de un solo departamento o área de la empresa, sino que integra todas las áreas de la organización de forma coordinada enfocándose a generar valor desde los activos, para ello la organización deberá ser consciente de la distancia existente entre cómo lo hacen hoy y cómo deberían hacerlo de acuerdo a las buenas prácticas (Amendola, 2007).

De acuerdo a todas las definiciones anteriores, la GA consigue que las organizaciones, de una forma holística, sistémica y sistemática generen valor a través de los activos, siendo un apoyo fundamental para lograr los objetivos estratégicos de la organización, es decir, se enfoca en el Negocio.

Para la norma internacional ISO 55000, GA es un conjunto de actividades coordinadas que una organización usa para conseguir que sus activos entreguen resultados. Esto se define a través de políticas que se deben establecer en cada organización, tal y como Amendola (2007) la define, visualizándola como un sistema de control en que todo debe medirse y optimizarse cuidadosamente. Consiste así en la gestión de los activos tangibles e intangibles como “un planteamiento integrado para operar, mantener, mejorar y adaptar las plantas e infraestructuras de una organización con el fin de crear un entorno que soporte firmemente los objetivos estratégicos de la empresa”.

Según la norma, un activo es un elemento, cosa o entidad que tiene valor real o potencial para una organización. El valor puede variar entre diferentes organizaciones y sus grupos de interés, y puede ser tangible o intangible, financiero o no financiero.

Y el período comprendido entre la creación de un activo y el final de su vida es el ciclo de vida. La vida de un activo no tiene por qué coincidir necesariamente con el periodo en el que la organización tiene la responsabilidad sobre el mismo; en cambio, un activo puede aportar un valor real o potencial a una o más organizaciones durante su ciclo de vida, y el valor del activo para una organización puede cambiar a lo largo del ciclo de vida.

De acuerdo con lo anterior, el corazón del SGA es la gestión del ciclo de vida del activo, alargándolo como sea posible bajo la terna riego-costo-oportunidad para ofrecer el rendimiento especificado por los propietarios de los mismos de una manera segura, socialmente beneficiosa y ambientalmente responsable.

Sistema de Gestión de Activos

Un SGA es un conjunto de elementos interrelacionados y que interactúan de una organización, cuya función es establecer los objetivos de la política de GA y gestión de activos, así como los procesos necesarios para alcanzar dichos objetivos. En este contexto, los elementos del SGA deben ser vistos como un conjunto de herramientas, incluidas las políticas, planes, procesos de negocio y sistemas de información, que se integran para dar seguridad de que las actividades de gestión de activos se entregarán.

Por ello, el SGA que plantea la norma ISO 55001, se basa en un conjunto de fundamentos que son intrínsecos a los sistemas. De todos ello se espera que estén presentes los siguientes:

- Valor: los existen activos para proporcionar valor a la organización y sus grupos de interés.
- Alineación: la GA traduce los objetivos de la organización en decisiones técnicas y financieras, planes y actividades.
- Liderazgo: El liderazgo y la cultura del lugar de trabajo son factores determinantes de la realización del valor.
- Aseguramiento: la GA da la seguridad de que los activos cumplen el propósito requerido.

Los 8 requisitos del sistema de gestión de activos descritos en la norma ISO 55001:2014 se agrupan de manera que sea consistente con los fundamentos de la gestión de activos:

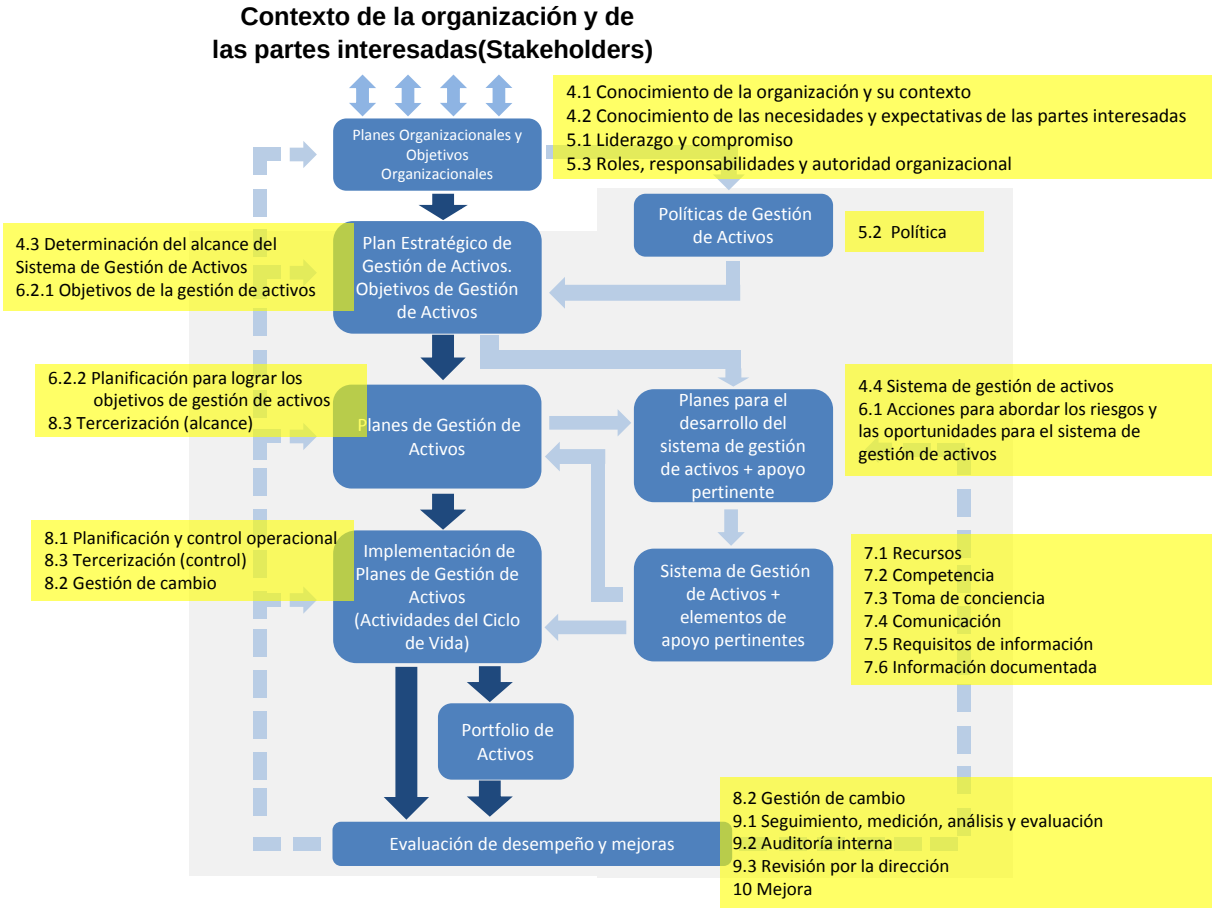
1) Contexto de la organización. Al establecer y revisar el sistema de GA, una organización debe tener en cuenta sus contextos internos y externos (stakeholders). Su influencia, tanto a favor como en contra, son clave para el establecimiento de reglas para la toma de decisiones coherentes y también contribuir a la fijación de objetivos de la organización, que a su vez, influyen en el diseño y el alcance del SGA.
2) Liderazgo. La alta dirección es responsable del desarrollo de las políticas y objetivos de GA y para alinearlos con los objetivos de la organización y deben asegurar su alineación con otros sistemas de gestión dentro de la organización a través del diseño organizativo adecuado. Además, son responsables de asegurar que los recursos adecuados (financieros, RRHH adecuados y competentes, y TI) estén en su lugar para apoyar el SGA.
3) Planificación. Los objetivos estratégicos organizacionales proporcionan el contexto general y la dirección de las actividades de la organización, incluyendo sus actividades de GA.
4) Apoyo. Para la implementación y uso del SGA se requerirá la colaboración todas las áreas de la organización. Esta colaboración implica a menudo el uso compartido de los recursos, por consiguiente la coordinación de los recursos y la aplicación, verificación y mejora de su uso debe ser objetivos del SGA.
5) Operación. El SGA de la organización permite la dirección, ejecución y control de sus actividades de GA, incluidos aquellos que se han externalizado. El SGA debe incluir las políticas, las normas técnicas, planes y procedimientos para la aplicación de los planes de GA.
6) La evaluación del desempeño. La organización debe evaluar el rendimiento de sus activos, su GA y de su SGA. Las medidas de desempeño pueden ser directas o

indirectas, financieras o no financieras, y basadas en el ciclo de Deming de la mejora continua o ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar).

7) Mejora. El SGA de una organización es probable que sea complejo y en continua evolución para que coincida con su contexto, sus objetivos de la organización y su cartera de activos cambiante. La mejora continua es un concepto que se aplica a los activos, las actividades de gestión de activos y el sistema de gestión de activos, incluyendo aquellas actividades o procesos que se subcontratan.

En los 10 requisitos de la gestión de activos se distribuyen los 23 requerimientos de la norma para implementar y mantener un SGA certificable. En la figura 1 se muestra la relación entre los elementos clave de un SGA y los epígrafes de la norma relacionados con ellos.

Figura 1: Relación entre los elementos clave de un sistema de gestión de activos y epígrafes de la norma ISO 55001



2.2 Normas NIIF y NIC

La rápida adopción de las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) y Normas Internacionales Contables (NIC), y la creciente necesidad de los usuarios de informes de valoración de obtener medidas consistentes y comparables de activos ha incrementado el interés en estas Normas. Surgen debido estados financieros que las organizaciones de todo el mundo preparan y presentan para sus stakeholders. Los stakeholders de las organizaciones pueden encontrarse en diferentes países, y en el caso de los de las organizaciones, para compararse con la competencia y competir en los

mercados internacionales, necesitan unos estados financieros homogéneos en el mundo. Estas normas, una vez adoptadas por los gobiernos nacionales, corrigen las desviaciones de las normativas contables nacionales anteriores.

El emisor de estas normas es el Consejo de Normas Internacionales de Contabilidad (IASC). El IASC tiene la misión de reducir tales diferencias por medio de la búsqueda de la armonización entre las regulaciones, normas contables y procedimientos relativos a la preparación y presentación de los estados financieros. El IASC considera que la mejor forma de perseguir esta armonización es centrando los esfuerzos en los estados financieros que se preparan con el propósito de suministrar información útil para la toma de decisiones económicas.

De todas las normas emitidas por la organización, las que influyen en el ciclo de vida del activo y su registro contable son las siguientes:

- Norma Internacional de Contabilidad 16: Propiedades, Planta y Equipo
- Norma Internacional de Contabilidad 36: Deterioro del Valor de los Activos
- Norma Internacional de Contabilidad 38: Activos intangibles

NIC 16: Propiedades, Planta y Equipo

El objetivo de esta Norma es prescribir el tratamiento contable de propiedades, planta y equipo, de forma que los usuarios de los estados financieros puedan conocer la información acerca de la inversión que la entidad tiene en sus propiedades, planta y equipo, así como los cambios que se hayan producido en dicha inversión. Los principales problemas que presenta el reconocimiento contable de propiedades, planta y equipo son la contabilización de los activos, la determinación de su importe en libros y los cargos por depreciación y pérdidas por deterioro que deben reconocerse con relación a los mismos.

No incluye los activos biológicos relacionados con la actividad agrícola, el reconocimiento y medición de activos para exploración y evaluación, la exploración y evaluación de recursos minerales o los derechos mineros y reservas minerales tales como petróleo, gas natural y recursos no renovables similares.

NIC 36: Deterioro del Valor de los Activos

El objetivo de esta Norma consiste en establecer los procedimientos que una entidad aplicará para asegurarse de que sus activos están contabilizados por un importe que no sea superior a su importe recuperable. Un activo estará contabilizado por encima de su importe recuperable cuando su importe en libros exceda del importe que se pueda recuperar del mismo a través de su utilización o de su venta. Si este fuera el caso, el activo se presentaría como deteriorado, y la Norma exige que la entidad reconozca una pérdida por deterioro del valor de ese activo. En la Norma también se especifica cuándo la entidad revertirá la pérdida por deterioro del valor, así como la información a revelar.

Es aplicable a los activos que se contabilicen según su valor revaluado (es decir, valor razonable en la fecha de la revaluación menos cualquier depreciación acumulada posterior y pérdida por deterioro de valor acumulada posterior) de acuerdo con otras NIC, como el modelo de revaluación de la NIC 16 Propiedades, Planta y Equipo y la NIC 38 Activos Intangibles.

NIC 38: Activos intangibles

El objetivo de esta Norma es prescribir el tratamiento contable de los activos intangibles. Esta Norma requiere que las entidades reconozcan un activo intangible si, y sólo si, se cumplen ciertos criterios. La Norma también especifica cómo determinar el importe en libros de los activos intangibles, y exige revelar información específica sobre estos activos.

Es aplicable, entre otros elementos, a los desembolsos por gastos de publicidad, formación del personal, comienzo de la actividad o de la entidad y a los correspondientes a las actividades de investigación y desarrollo.

2.3 Indicadores clave de rendimiento

Los Indicadores clave de rendimiento o Key Performance Indicators (KPI) son la herramienta a través de la cual se realiza la medición del rendimiento. Muestran en qué punto se encuentra la organización respecto de los objetivos que quiere conseguir. Estas herramientas ayudan a controlar a la organización y orientar las acciones para que se cumplan las metas y los objetivos organizacionales.

Los KPI son métricas tanto financieras como no financieras, utilizadas para cuantificar objetivos que reflejan el rendimiento de una organización.

Entre los KPI no financieros se destacan los relacionados con el tiempo, costo, calidad, satisfacción del cliente, la evolución del negocio, etc.

Para el desarrollo del SGA alineado a ISO 55001, se emplea la norma europea EN 15341 – Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento. Esta norma europea proporciona los KPI de Mantenimiento para apoyar a la gestión en el logro de la excelencia en el mantenimiento y en el empleo de los activos técnicos de una manera competitiva. La mayoría de estos indicadores se aplican a todos los edificios, espacios y servicios industriales y de apoyo (construcciones, infraestructura, transporte, distribución, redes, etc.).

Miden el rendimiento del mantenimiento en el marco de los factores que influyen en el mismo, tales como los aspectos económicos, técnicos y organizativos, con objeto de evaluar y mejorar la eficiencia y la eficacia para conseguir la excelencia en el mantenimiento de los Activos Técnicos.

Hay que tener en cuenta una máxima respecto a los KPI, es importante realizar una selección cuidadosa de los mismos, para que estos identifiquen dónde tomar las medidas para mejorar el rendimiento y no perdernos en un mar de números y estadísticas de cumplimiento.

3 Modelo

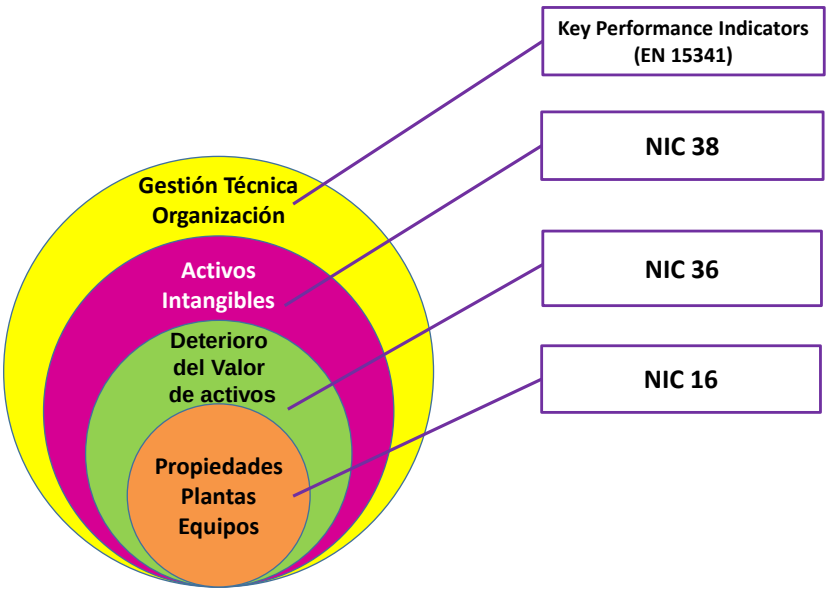
En el desarrollo de la investigación que ha dado como fruto el presente artículo, se ha estudiado como alinear la parte financiera a la parte técnica dentro de la gestión de activos.

El concepto clave se basa en el ciclo de vida del activo. Cuando se adquiere un activo, este se valoriza y añade a los libros. A esta valorización se le aplica el deterioro del mismo o su amortización, hasta que termina su ciclo de vida y se desincorpora.

Los KPI, en este caso los definidos en la norma EN 15341 – Mantenimiento. Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento, proporcionan la información para que se actúe sobre el activo alargando su vida útil según la terna riego-costo-oportunidad.

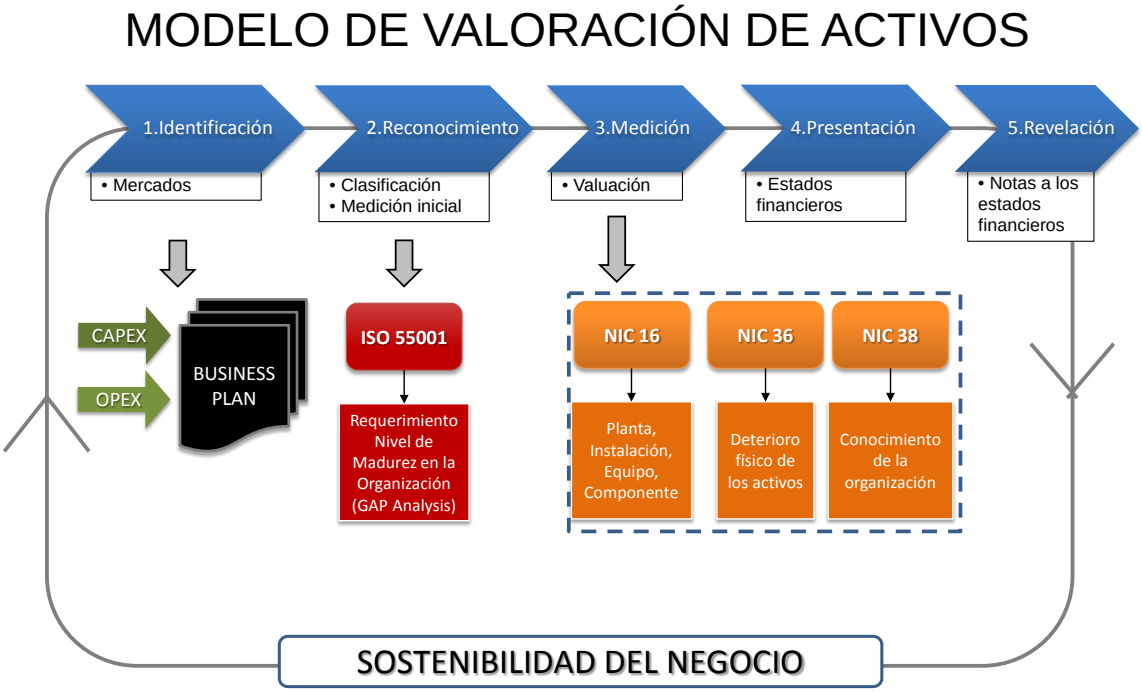
La figura 2 muestra la interacción de la NIC 16, NIC 36 Y NIC 38 con los indicadores técnicos y económicos definidos por EN 15341.

Figura 2: Integración Técnico – Financiera de la Gestión de Activos (Amendola, 2014)



La figura 3 muestra el modelo desarrollado en la investigación. En el mismo se puede apreciar la interacción del plan estratégico organizacional (Business Plan), el SGA (ISO 55001) y las NIC.

Figura 3: Modelo de Valorización de Activos Tangibles e Intangibles alineado a la ISO 55000 (Amendola. L, 2015)



En el modelo se aprecian 5 pasos en la valorizacion de los activos teniendo como meta la sostenibilidad del negocio. Son los siguientes:

1) Identificación. En la identificación de los activos se toma como input el estado de los mercados financieros y económicos internacionales, y el ciclo económico. Con estos datos se desarrolla el plan estratégico de la organización o business plan, y se definen los presupuestos de CAPEX y OPEX.
2) Reconocimiento. En esta fase se clasifican y miden los activos. Se implementa o mantiene el SGA, se realiza el diagnostico, se toma la foto de como se encuentran los activos en el día de hoy.
3) Medición. Con la información obtenida en la fase anterior, se procede a valorar contablemente los activos. Tanto su valor actual en planta(NIC 16), como su deterioro estimado en los proximos años, asi como su amortización. Además se valorizá el conocimiento y resto de activos intanibles de la organización.
4) Presentación. Se realiza la presentación de los estados financieros al termino del año fiscal de la organización a los stakeholders internos.
5) Revelación. Se liberan los estados financieros de la organización al los stakeholders externos, siendo a partir de este momento de dominio publico.

La meta de todo el proceso plasmado en el modelo es la sostenibilidad del negocio y su continuidad en el tiempo.

4 Conclusiones

La implementación de un SGA por parte de las organizaciones con un uso intensivo de activos es fundamental para que se logren las metas y objetivos estratégicos.

Su implementación tiene que realizarse de forma conjunta en la organización, con el apoyo de todas las áreas habilitadoras de la organización, para que así los KPI implementados estén alineados a los objetivos organizacionales.

El uso conjunto de las Normas Internacionales de Información Financiera, Normas Internacional Contables por el área de finanzas de las organizaciones junto al uso de KPI asentados en estándares internacionales, bajo una selección cuidadosa de los mismos, hace que la valoración en libros de los activos sea real y biunívoca al estado del activo en planta/campo, haciendo que los stakeholders conozcan de forma fidedigna el valor de los mismos.

5 Bibliografía

Alexander, K., “Facilities Management Theory and Practice”, Taylor & Francis, Basingstoke,1996

Amendola, L. “¿Cómo lograr la gestión optimizada de los activos físicos? Norma PAS 55-ISO 55000, para la gestión optimizada de activos físicos. (Presente-Futuro) Mantenimiento o Gestión de Activos Físicos”,PMM Project Magazine, Julio 2013. ISSN 1887-018X.

Amendola, L. Estrategias y Tácticas de Overhaul Maintenance & Asset Management "Lean Maintenance, Repair and Overhaul (MRO)" Editorial PMM Institute for Learning, ISBN: 978-84-935668-0-7ISBN: 978-84-935668-0-7, España 2007.

Amendola, L. Gestión Integral de Activos Físicos. ISBN: 978-84-935668-8-3, Editorial PMM Institute for Learning 2012.

Amendola, L.; “La Confiabilidad desde el Diseño en Proyectos de Mantenimiento, www.mantenimientomundial.com, Iberoamérica, 2007

Amendola, L.; “Gestión de Proyectos de Activos Industriales”, EDITORIAL: Universidad Politécnica de Valencia, ISBN: 84-8363-052-4, España, 2006

Amendola, L.; “Retorno de la inversión sobre mantenimiento de activos (RIMA)”, 3er Congreso Cubano de Mantenimiento, CEIM, Cuba, 2004.

Amendola, L.; “Application of Balanced Scorecard in the project management”, AEIPRO, VIII International Congress on Project Engineering, Bilbao, Spain, October 2004

Amendola, L.; “Sistemas balanceados de indicadores en la gestión de activos”, 2 do Congreso Mundial de Mantenimiento, Brasil, Curitiba, 2004.

Amendola, L.; “Strategies of maintenance management as investment return”, 17 th European Maintenance Congress, Barcelona, Spain, 2004.

Amendola, L.; Balanced Scorecard en la gestión del mantenimiento, Artículo publicado, Web www.mantenimientomundial.com, www.confiabilidad.net, 2004.

Amendola, L.; “Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento”, Artículo publicado, Web www.mantenimientomundial.com, 2003

Cable, J.H. and Davis, J.S. (2004). Key Performance Indicators for Federal Facilities Portfolios, Federal Facilities Council Technical report 147, National Academic Press, Washington, DC.

Guidance on Using the Asset Management Competence Requirements Framework (2008), Institute of Asset Management, London

Wan Samsul Zamani Wan Hamdan; Md. Yusof Hamid & Nor Amin Mohd Radzuan (2012) Space Management Issues in Public Higher Education in Malaysia

IIMM, International Infrastructure Management Manual, (2011), ISBN: 047310685X 9780473106850

Lavy, S., Garcia, J.A. and Dixit, M.K. (2010). “Establishment of KPIs for facility performance measurement: review of literature”, Facilities. 28 (9/10), 440-464.

PAS 55-2:2008 (2008) Gestión de Activos “Asset Management” Parte 1. The Institute of Asset Management. British Standard Institute. ISBN: 978-0-9563934-0-1.

PAS 55-2:2008 (2008) Gestión de Activos Parte 2, British Standard Institute, ISBN: 978-0-9563934-2-5.

Shah S. (2007). Sustainable practice for the facilities manager. Oxford: Blackwell Publishing.

Tay,L. and Ooi, J.T. (2001). “Facilities Management: A Jack of All Trades‟?”, Facilities; 19 (10), 357-362.

The IAM Asset Management Competences Requirements Framework (2008). Institute of Asset Management. Disponible en: www.theIAM.org.

ISO 55000 (2014). The Institute of Asset Management. British Standard Institute. ISBN: 978 0 580 75127 1.

ISO 55001 (2014). The Institute of Asset Management. British Standard Institute. ISBN: 978 0 580 75127 1.

ISO 55002 (2014). The Institute of Asset Management. British Standard Institute. ISBN: 978 0 580 75127 1.

El Marco Conceptual para la Información Financiera (2010). Consejo de Normas Internacionales de Contabilidad (IASC). Disponible en: www.ifrs.org

Norma Internacional de Contabilidad 16: Propiedades, Planta y Equipo (2015). IFRS Foundation Disponible en: www.ifrs.org

Norma Internacional de Contabilidad 36: Deterioro del Valor de los Activos (2015). FRS Foundation Disponible en: www.ifrs.org

Norma Internacional de Contabilidad 38: Activos intangibles (2015). FRS Foundation Disponible en: www.ifrs.org

01-033

SECURITY AS A KNOWLEDGE AREA OF PROJECT MANAGEMENT

Guerrero Chanduví, Dante A. M. [1]; Feria Garrido, Jorge [2]; Patiño Luna, Claudia [1]; Gerónimo Mendoza, Ginny Alison [3]

[1] Universidad de Piura, [2] PetroPerú, [3] Telefónica Móviles

Today, the concept of security plays a key role in the success of a project because their mismanagement may lead to the occurrence of fatal accidents, to their delay, cancellation or economic impact. This communication arises from the need to include "security" as a new knowledge area to be integrated in version 5 of the PMI PMBOK, contrasting with other certification international models, such as IPMA, PRINCE 2 and P2M. In the research, the security is defined from three perspectives: physical, information and business continuity. Project management models are analyzed, in terms of security, from the most important international certification organisms and a conceptual model is proposed. As a result, the processes of this new area of knowledge with their inputs, outputs, tools and techniques are detailed during the project life cycle. In addition, the relationship with the permanent organization is taken into account, criterion to be included in the development of project management documentation.

Keywords: *Project Management; Security; process*

LA SEGURIDAD COMO ÁREA DE CONOCIMIENTO DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS

Hoy en día, el concepto de seguridad juega un papel clave en el éxito de un proyecto ya que su inadecuada gestión podría conllevar a la ocurrencia de accidentes fatales, a su retraso, cancelación o afectación económica. Esta comunicación surge de la necesidad de incluir a la “seguridad” como una nueva área de conocimiento a ser tomada en cuenta en la versión 5 del PMBOK del PMI, contrastando con otros modelos de certificación internacionales, tales como IPMA, PRINCE 2 y P2M. En la investigación se define a la seguridad bajo tres perspectivas: física, de la información y para la continuidad del negocio. Se analizan los modelos de gestión de proyectos, en cuanto a seguridad se refiere, de las más importantes certificadoras internacionales, y se propone un modelo conceptual. Como resultado se detallan los procesos de esta nueva área de conocimiento con sus respectivas entradas, salidas, herramientas y técnicas, durante el ciclo de vida del proyecto. Sumado a esto se tiene en cuenta la relación con la organización permanente, criterio que debe incluirse en la elaboración de la documentación de gestión del proyecto.

Palabras clave: *Dirección de Proyectos; Seguridad; Procesos*

Correspondencia: Dante A. M. Guerrero Chanduví dante.guerrero@udep.pe

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el término seguridad constituye un aspecto muy importante en las empresas de todo el mundo debido a los altos costos que acarrean los accidentes fatales tanto para la compañía como para los trabajadores. De igual manera, en el desarrollo de un proyecto, un eslabón que contribuye al éxito del mismo es una adecuada gestión de la seguridad.

El presente trabajo surge de la necesidad de incluir una nueva área de conocimiento en la versión 5 del PMBOK del PMI: la gestión de la seguridad, contrastando con otros modelos de certificación internacionales tales como: IPMA, PRINCE 2 y P2M.

Por lo general, siempre se asocia a la seguridad con la denominada seguridad física en el lugar de trabajo. No obstante, la presente investigación abarca dos perspectivas más a tomar en cuenta: la seguridad de la información y la seguridad para la continuidad del negocio, se analizan los modelos antes mencionados y se propone un modelo conceptual.

Finalmente, se detallan los procesos de esta nueva área de conocimiento con sus respectivas entradas, herramientas y técnicas, y salidas durante el ciclo de vida del proyecto. De esta manera, esta propuesta supondrá ampliar la visión del director de proyectos en lo referente a su gestión.

2. MARCO TEÓRICO

Durante mucho tiempo la seguridad no ha sido una materia de primer orden dentro de las organizaciones ya que centralizaban sus operaciones en la producción, asumiendo los riesgos en sus procesos como un daño inevitable. Además, existen todavía algunas de ellas que no van más allá del cumplimiento de las leyes exigibles.

Pese a esto, se ha ido tomando conciencia y ya se hace énfasis en el ámbito humano. Si bien es cierto que la gestión de la seguridad y salud en el trabajo ya está muy reconocida bajo distintos estándares, en muchas organizaciones todavía hay un campo de actuación para desarrollar una gestión de la seguridad que abarque otros ámbitos como la información y la continuidad del negocio (Merlo, 2015)

2.1. Seguridad física

Hoy en día, la seguridad física ocupacional es una preocupación de compañías de sectores críticos como petróleo, gas, minería y construcción, siendo este último el más peligroso, según la Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo (Sousa, Almeida, & Dias, 2014). Su preocupación se debe sobre todo a los terribles costos asociados, cifra que la OIT estima en 1,36 billones USD o el 4% del Producto Bruto Interno del mundo de cada año (Organización Internacional del Trabajo, 1996).

La OIT también indica que, a nivel mundial cada 15 segundos un trabajador muere a causa de accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo y 153 trabajadores tienen un accidente laboral. Cada día mueren 6.300 personas a causa de accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo, es decir más de 2.3 millones de muertes por año.

La Seguridad y Salud Ocupacional es el conjunto de medidas técnicas, económicas, psicológicas, etc., que tienen como meta ayudar a la empresa y a sus trabajadores a prevenir los accidentes industriales, controlando los riesgos propios de la ocupación, conservando los locales, la infraestructura industrial y sobre todo los ambientes naturales. (Chamochumbi, 2014, pág. 23).

Es por ello, que se han establecido una diversidad de leyes y reglamentos relacionados con la prevención de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales en todo el mundo. En

el Perú, según la ley N° 29783 de Seguridad y Salud en el Trabajo y su Reglamento, todo empleador tiene la obligación de crear un SGSST con el fin de garantizar un entorno laboral seguro y saludable para sus trabajadores (Egúsquiza, Hurtado, & Atahuaman, 2013).

A nivel mundial, los estándares más conocidos son la OHSAS 18001 y la familia de normas ISO, entre las que destacan: 14001, 22000, 31000, 39001 y 50001.

En el contexto de gestión de proyectos, el rol del Director del proyecto prioriza la gestión de la línea base (tiempo, costo, alcance y calidad) en la denominada Gestión de Riesgos del PMBOK, dejando así en un segundo plano a la seguridad de la persona (Project Management Institute, 2013)

Durante todo el desarrollo, el director debe considerarse también como un "agente de seguridad" que en su ámbito de influencia, debe alinear la gestión de seguridad del proyecto a la gestión de la empresa considerando a la seguridad como una responsabilidad primaria dentro de sus funciones, al igual que las otras áreas de conocimiento. Además deberá fomentar una cultura de seguridad.

2.2. Seguridad de la información

El avance de la tecnología ha traído consigo un nuevo problema al mundo de la informática: la información en formato digital, es más fácil de transportar, por lo que las posibilidades de hurtarla son cada vez menos despreciables (Iscala, Meléndez, Pabon, & Peña, 2012).

En un estudio realizado a nivel mundial por Verizon que concluye en el 2012, revela que el 97% de los incidentes ocurridos podrían haber sido evitados, el 85% de los incidentes tardan en ser detectados y el 92% son detectados por terceros a la empresa (Catoira, 2012). Por otro lado, el Reporte Anual de Seguridad 2015 de Cisco (Líder mundial en TI), indica que las organizaciones deben tomar acciones inmediatas para defenderse de los ataques que cada vez son más eficientes mientras que los equipos de seguridad, deben estar constantemente mejorando su enfoque para proteger a la organización (Boletín de prensa de CISCO, 2015).

En este constante proceso de la consecución de protección de información se han definido estándares internacionales, guías de buenas prácticas empleados para asegurar la información, tales como: ISO 27001, 27002, 27005, ITIL, CoBIT, NIST SP 800-30, BS 25999 (Borbón, 2011)

Como vemos según la importancia que ha adquirido hoy en día la información en las organizaciones, es necesario ser conscientes del valor de la información y usar en cada una de las actividades diarias dicha conciencia. De manera similar ocurre en la gestión de proyectos, queda demostrado con casos particulares como los que citaremos a continuación, que proyectos de gran envergadura de empresas con sólidos Sistemas de Gestión de Seguridad, no se han salvado de grandes ataques informáticos.

Uno de los casos más sonados fue el ataque informático a un nuevo proyecto de Sony, estando casi al borde de cancelar el lanzamiento de la comedia "The Interview". (El Comercio, 2014). Coca Cola también fue víctima de un ataque a su información, estaba concretando mediante un nuevo proyecto la compra de "Huiyuan Juice Group" por 2400 millones de dólares cuando sucedió el ataque. A los tres días, el negoció se cayó (Elgin, Lawrence, & Riley, 2012).

Lo que debe preocupar al director del proyecto es la protección de la información que fluye en torno a esta nueva idea y el producto esperado, que el proyecto no sea copiado por personas que tengan acceso a él, por lo que también deberá asumir el rol de "Guardián de Seguridad de la Información". Otro aspecto importante a tomar en cuenta es que, independientemente de contar con un Sistema de Gestión de Información muy aterrizado en la organización, no se exonera su responsabilidad en el resguardo de la información del proyecto. Debe gestionarse

la seguridad de la información con la misma rigurosidad con la que se gestiona el alcance, cronograma, calidad, etc., ya que representa un activo más del proyecto.

2.3. Seguridad para la continuidad del negocio

La Seguridad para la Continuidad del Negocio ha empezado a cobrar relevancia en el mundo empresarial en los últimos años debido a que en cualquier momento, se pueden materializar situaciones que obliguen a las empresas a paralizar sus operaciones (Devia, 2013).

Se entiende por continuidad del negocio y de las operaciones a la capacidad de la organización para continuar brindando sus servicios y realizando sus actividades a niveles aceptables después de una interrupción. Un sistema de gestión de continuidad es parte del sistema completo de sistemas de gestión de una organización que se encarga de establecer, implementar, operar, monitorear, mantener y mejorar la continuidad del negocio y de las operaciones (International Organization for Standardization, 2012).

América Latina y el Caribe es una región donde los desastres naturales son frecuentes; además de los eventos ocasionados por el hombre: atentados terroristas, sabotajes, explosión, robo de información, entre otros. Ante tales situaciones, la implementación de un sistema de gestión de la continuidad del negocio (SGCN) se ha convertido en un verdadero respaldo (Dávila, 2013).

Según Dávila, numerosos son los casos de organizaciones que están realizando esfuerzos de continuidad del negocio y sus operaciones, principalmente las empresas reguladas – banca y en menor grado, el sector asegurador, tales como: Grupo Bancolombia, Banco de Costa Rica, Toyota Financial Services de México, Pacíficos Seguros de Perú, Telefónica Movistar de Colombia, Grupo Nutresa, entre otros.

El estándar más popular a nivel mundial referente a este tema es ISO 22301:2012, que tiene por nombre “Seguridad de la Sociedad: Sistemas de Continuidad del Negocio”, que engloba las distintas metodologías y buenas prácticas en continuidad del negocio generadas en los últimos casi 20 años (Servat, 2012). Según Cainero, ANSI/ASIS SPC.1 es el estándar reconocido por ANSI para certificar organizaciones en continuidad del negocio.

Desde la perspectiva de la gestión de proyectos, el director del proyecto debe velar por la protección de todos los activos críticos frente a una situación de amenaza o peligro. Como tal, su rol deberá ser el de asegurarse que se ha creado, desarrollado y mantenido de forma regular un Plan de Continuidad de Negocio, dentro de su gestión.

Se concluye, por tanto, que la denominada “Gestión de la Seguridad” se fundamenta en la aplicación en los proyectos, de una serie de normas, estándares y buenas prácticas que ya han sido establecidas y son utilizadas a nivel mundial, local y empresarial para garantizar el éxito de sus procesos. Entre las buenas prácticas destacan: OHSAS 18001 y la familia de normas ISO. En el caso de Perú, cabe resaltar la ley de Seguridad y Salud en el Trabajo N°29783 y su reglamento, así como las disposiciones de diversos organismos como: Defensa Civil, INDECI, etc. Cabe resaltar que la mayoría de normas anteriormente mencionadas se sustentan en una metodología para la gestión de riesgos.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de la investigación consta de los siguientes pasos:

3.1. Planteamiento de la hipótesis o proposición

Se plantea la hipótesis sobre la necesidad de incluir a la “seguridad” como una nueva área de conocimiento que debe ser tomada en cuenta en la gestión de proyectos.

3.2. Revisión bibliográfica sobre la seguridad en la gestión de proyectos

Se realiza una revisión de la literatura profesional sobre la seguridad en la gestión de proyectos. En primer lugar, se investiga acerca de los tres ámbitos de la seguridad: física, de la información y para la continuidad del negocio para lograr tener un enfoque global. Posteriormente, se revisa la siguiente bibliografía: los cuatro principales modelos de gestión de proyectos (PMBOK, PRINCE2, IPMA y P2M) con la finalidad de analizar la manera en que cada uno de ellos aborda el tema de la seguridad, la ISO 9001 y su enfoque basado en procesos y el Ciclo de Vida del proyecto según AEIPRO.

3.3. Análisis para la sustentación de la inclusión de la gestión de la seguridad como un área de conocimiento

Partiendo de la premisa que la investigación tiene como fin garantizar la gestión de la seguridad durante el ciclo de vida del proyecto, AEIPRO afirma que el ciclo de vida en los proyectos clásicos de ingeniería está compuesto de cuatro diferentes fases: estudio preliminar, anteproyecto, proyecto y realización o ejecución (Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos, s.f.).

Por otra parte, según la ISO 9001, para que una organización funcione de manera eficaz, tiene que determinar y gestionar numerosas actividades relacionadas entre sí. Una actividad o un conjunto de actividades que utiliza recursos, y que se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso. La aplicación de un sistema de procesos junto con la identificación e interacciones de estos procesos, así como su gestión para producir el resultado deseado, puede denominarse como "enfoque basado en procesos" (International Organization for Standarization, 2008). De la misma manera, para realizar una correcta gestión de la seguridad y tener éxito, se adopta este mismo enfoque a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Del análisis de los cuatro modelos de gestión de proyectos en lo que respecta a la seguridad, los resultados obtenidos se ven reflejados en la tabla 1. Dado que se elige un enfoque basado en procesos, se tienen como alternativas los modelos PMI y PRINCE 2. Sin embargo, se adopta el modelo del PMI debido a que además de que su metodología está orientada a procesos, incluye la denominada Extensión de la Construcción la cual recalca la importancia de la seguridad en los proyectos de construcción en base a una nueva área de conocimiento: Gestión de la Seguridad.

Tabla 1: Visión de la Seguridad desde cuatro modelos de gestión de proyectos

CRITERIO/ MODELO DE GESTIÓN	PMI	IPMA	PRINCE2	P2M
FUNDAMENTO	Administración de proyectos como un conjunto de nueve áreas de conocimiento que contienen una serie de procesos. Cada proceso establece unas entradas, técnicas o herramientas y salidas.	Competencias profesionales a través de la ICB o NCB, compuesta por elementos de competencias técnicas, de comportamiento y contextuales.	Dividido estructuralmente en siete Principios, siete Temáticas y siete Procesos. (Montes de Oca & Perez, 2014)	Desarrolla cuatro aspectos: entradas de proyectos, administración de proyectos, administración de programas y administración de 11 dominios. (Foon & Heap, 2012)
VISIÓN DE LA SEGURIDAD	-"Gestión de Riesgos", enfocada en la protección de la línea base. -La "Extensión de la construcción de la guía del PMBOK" abarca la gestión de la seguridad como área de conocimiento, haciendo alusión únicamente a la seguridad física en proyectos de construcción. (Project Management Institute, 2007).	-La competencia contextual de Seguridad, Higiene y Medioambiente tiene como fin asegurar que la organización se comporte de forma apropiada bajo este contexto en los proyectos. -Se enfoca en la seguridad de los implicados del proyecto y en el rol del Director del Proyecto como agente de seguridad.	-Temática del Riesgo: gestión de las incertidumbres relacionada con 4 parámetros: tiempo, costo, calidad y alcance. (Díaz, Gonzáles, Morales, & Rosales, 2014)	-Dominio denominado "Gestión de Riesgos".

Fuente: Elaboración propia

La guía del PMBOK, estándar en la administración de proyectos desarrollado por el Project Management Institute (PMI), es una colección de 47 procesos y 10 áreas de conocimiento generalmente aceptadas como las mejores prácticas dentro de la gestión de proyectos. Para que estas buenas prácticas sean asequibles, divide el conjunto de conocimientos para la dirección de proyectos en 5 grupos de procesos: de Inicio, Planificación, Ejecución, Monitoreo y Control, Cierre.

Es así que todo proyecto (así como sus distintas fases e iteraciones) tiene que transitar por una serie de actividades de inicio, planeación, ejecución, monitoreo y control, y finalmente cierre. Estos grupos de procesos se pueden asemejar con las fases del modelo de mejora continua de Deming: "Planear, Hacer, Revisar y Actuar".

Asimismo, el PMBOK define los aspectos importantes de cada una de las Áreas de Conocimiento y cómo éstas se integran con los Grupos de Procesos. Cada Área de

Conocimiento proporciona una descripción de las entradas y salidas, herramientas y técnicas de uso más frecuente en los procesos de la dirección de proyectos para producir cada uno de los resultados. Incluye además un diagrama de flujo de datos de un proceso.

En base al enfoque de procesos adoptado, la metodología sigue el mismo curso de la Guía del PMBOK, definiendo así que los procesos a seguir deben encontrarse dentro de la matriz de correspondencia entre grupos de procesos y áreas de conocimiento de la Dirección de Proyectos, con sus elementos respectivos.

Sumado a esto, se analiza el área de conocimiento de Gestión de la Calidad del PMBOK la cual evalúa el resultado del proyecto orientado a los procesos con el objetivo de obtener un producto de calidad, incluyendo tres procesos: planificación, aseguramiento y control de la calidad. Para el caso de la Gestión de la Seguridad, es aplicable esta misma estructura de procesos ya que lo que se busca es establecer y monitorear la aplicación de buenas prácticas traducidas en requisitos de los procesos de gestión.

El último fundamento clave es la denominada “Extensión de la Construcción del PMBOK”, la cual se ocupa de las prácticas específicas de los proyectos de construcción en base a una serie de normas y directrices que se aplican a los sistemas de gestión de este tipo de sector, tales como la serie de normas ISO 9000. Incluye a la gestión de la seguridad dentro de sus áreas de conocimiento, estableciendo tres procesos: planificación, aseguramiento y control de la seguridad, los cuales se analizan y son tomados en cuenta en la definición de la propuesta.

3.4. Definición de la propuesta en base a los lineamientos del PMBOK

La definición de la propuesta se realiza siguiendo el mismo curso de la Guía del PMBOK.

Se contrastan los procesos del área de conocimiento de la Gestión de Calidad del PMBOK con los de la Gestión de Seguridad de la Extensión de la Construcción, definiéndose tres procesos: Planificación, Aseguramiento y Control.

Asimismo, se verifican las entradas, herramientas y técnicas y salidas, para cada uno de los procesos de las áreas de conocimiento anteriormente mencionadas y se seleccionan aquellas que van acorde con los tres ámbitos de la seguridad. Luego se analizan qué otros factores impactan a la seguridad y se plantean nuevas entradas, herramientas y técnicas y salidas que complementen la propuesta.

4. RESULTADOS DE LA PROPUESTA

Como resultado de la investigación se definen los tres procesos que debería conformar la Gestión de la Seguridad: Planificación de la Seguridad, Aseguramiento de la Seguridad y Control de la Seguridad. Ver ilustración 1: Procesos de la Gestión de la Seguridad.

Ilustración 1: Procesos de la Gestión de la Seguridad

Área de conocimiento	GRUPOS DE PROCESOS DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS				
	Grupo de Procesos de Iniciación	Grupo de Procesos de Planificación	Grupo de Procesos de Ejecución	Grupo de Procesos de Seguimiento y Control	Grupo de Procesos de Cierre
Gestión de la Seguridad		Planificación de la Seguridad	Aseguramiento de la Seguridad	Control de la Seguridad	

Fuente: Elaboración propia

4.1. Planificación de la Seguridad

Es un proceso por el cual se identifican los requisitos y normas de seguridad necesarios para el proyecto. Proporciona una guía y dirección sobre cómo se gestionará y verificará que se lleve a cabo la seguridad. Ver ilustración 2: Planificación de la Seguridad. La planificación de la seguridad debería realizarse en paralelo con los demás procesos de planificación.

Ilustración 2: Planificación de la Seguridad

Fuente: Elaboración propia

Los apetitos y las tolerancias a los riesgos constituyen entradas estratégicas para definir el Plan de Gestión de la Seguridad. Los apetitos de riesgo son aquellos riesgos que se están dispuestos a aceptar en la búsqueda de la misión/visión de la empresa; en cambio, las tolerancias al riesgo se definen como los niveles aceptables de variación en los resultados de la empresa relativos a la consecución de sus objetivos (Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, 2009).

Las técnicas de planificación de seguridad que se describen en esta sección son las que se emplean con más frecuencia en los proyectos. Existen muchas otras que pueden ser útiles dependiendo del tipo de proyecto y el área de aplicación.

Una de ellas es análisis de brechas del proyecto con el fin de comparar lo que la Empresa ya tiene implementado en cuanto a seguridad con lo que se requiere en el Proyecto. Otra técnica importante es el Benchmarking a fin de comparar las prácticas actuales o previstas de un proyecto en lo referente a la seguridad, con aquellas correspondientes a otros proyectos similares para identificar las mejores prácticas, generar ideas de mejora, y proporcionar una base para medir el desempeño.

Como salida fundamental del proceso se tiene el Plan de Gestión de Seguridad que forma parte del Plan General del Proyecto, el cual define esencialmente la metodología a ser adoptada por la organización ejecutante para llevar a cabo la gestión de la seguridad y la manera de cumplir con los requisitos del proyecto. Ésta será una de las principales entradas para el aseguramiento de la seguridad.

También es importante definir ciertas métricas para cuando se realice el aseguramiento y control de seguridad del proyecto. Dichas métricas deben ser capaces de medir la evolución

de la seguridad del proyecto a lo largo del tiempo. Por ejemplo: número de empleados capacitados en temas de seguridad, número de verificaciones sin accidentes, cantidad de accesos a red (autorizados y no autorizados), efectividad de los sistemas de seguridad ante amenazas, número de accidentes en la empresa, entre otros.

4.2. Aseguramiento de la Seguridad

Involucra la aplicación de las actividades planificadas y sistemáticas de seguridad para asegurar que el proyecto emplee todos los procesos necesarios para cumplir con los requisitos, la determinación de si dichos procesos son efectivos en el aseguramiento de los requisitos de seguridad del proyecto y el producto, propios del sistema de gestión del proyecto y la evaluación de los resultados de la gestión de seguridad de forma regular con el objetivo de proporcionar confianza en que el proyecto satisfará las normas de seguridad relacionadas. Ver ilustración 3: Aseguramiento de la Seguridad.

Constituye un proceso de ejecución, que se encarga de auditar los datos generados durante los procesos de Planificación y Control de Seguridad, es decir los requisitos de Seguridad y los resultados obtenidos a partir de las medidas de control de seguridad, con la finalidad de garantizar la utilización de los estándares de seguridad y las definiciones operativas adecuadas.

Ilustración 3: Aseguramiento de la Seguridad

Entradas	Herramientas	Salidas
•Plan de gestión de la seguridad •Métricas de Seguridad •Plan de Mejoras del Proceso •Información del rendimiento del trabajo. •Solicitudes de Cambio Aprobadas •Medidas de Control de Seguridad •Solicitudes de Cambio •Activos de los Procesos Organizacionales •Requisitos del contrato	•Herramientas y técnicas de la planificación de la seguridad. •Auditorías de Seguridad •Análisis de Riesgos y Peligros de Seguridad •Análisis de Procesos •Herramientas y técnicas de Control de Seguridad •Evaluaciones a la Gestión de Seguridad •Herramientas y técnicas de los procesos de gestión de riesgos	•Solicitud de cambio •Activos de los procesos de la Organización (Actualizaciones) •Actualizaciones al Plan para la Dirección del Proyecto •Realizar mediciones del aseguramiento de la seguridad •Plan de Gestión de Seguridad (Actualizaciones) •Plan de Mejoras de procesos (Actualizaciones) •Plan de Monitoreo y Control de la Seguridad

Fuente: Elaboración propia

Implementa un conjunto de acciones y procesos planificados y sistemáticos de seguridad, los cuales forman parte del Plan de gestión de la Seguridad. Asimismo, hace uso de métricas de seguridad, para verificar los atributos y variaciones permitidas, del plan de mejoras de los procesos para identificar las actividades que incrementen el valor del producto y de las mediciones de control de seguridad para reevaluar y analizar el desempeño del sistema de gestión de la seguridad del proyecto.

Las herramientas y técnicas a emplear en este proceso son las mismas utilizadas para planificar y controlar la seguridad, entre las principales se encuentran: auditorías de seguridad, análisis de riesgos y peligros de seguridad, análisis de procesos, entre otros. Como resultado se obtienen solicitudes de cambio y actualizaciones a diversos documentos del proyecto.

4.3. Control de la Seguridad

El proceso de Control de la Seguridad tiene como fin evaluar el desempeño y recomendar los cambios necesarios, a través del monitoreo y registro de los resultados de la ejecución de las actividades de seguridad. Identifica los desempeños insatisfactorios y las maneras de eliminar sus causas. Esto incluye los fallos por parte de la seguridad durante los procesos anteriormente descritos. Ver ilustración 4: Control de la Seguridad.

Ilustración 4: Control de la Seguridad

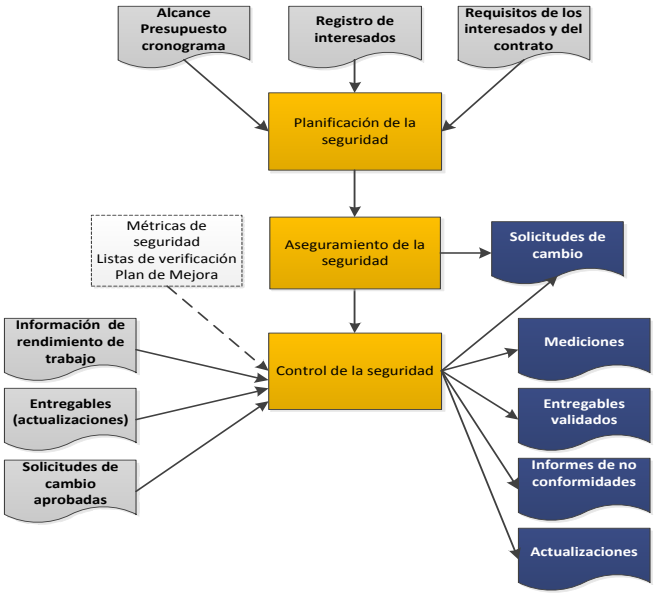
Fuente: Elaboración propia

Las herramientas y técnicas más relevantes de este proceso son: el análisis de riesgos y peligros, con el fin de identificar los peligros potenciales de seguridad del proyecto; la investigación de accidentes físicos y delitos informáticos a fin de lograr mejoras en el desempeño en la seguridad partiendo de la identificación de las causas respectivas, métodos de análisis estadísticos de procesos e información tales: como inspecciones, análisis de causa y efecto, gráficos de control, análisis de Pareto, etc; cuyo objetivo es determinar si se cumplen o no con los requisitos de seguridad definidos en el proyecto.

Para aquellos elementos que no cumplan con los requisitos de seguridad planificados, comúnmente se debe preparar un informe de no conformidad, delineando las deficiencias, la acción correctiva inmediata para adaptar el trabajo no conforme, y la acción preventiva para evitar la recurrencia de la condición que causó la no conformidad.

Finalmente la ilustración 5: Procesos de la Gestión de la Seguridad, muestra un resumen de los tres procesos definidos para el área de conocimiento de la Seguridad en la guía del PMBOK, en donde se muestran las entradas y salidas que impliquen documentación.

Ilustración 5: Procesos de la Gestión de la Seguridad



Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

Hoy en día, en el contexto de los proyectos, el Director del Proyecto apunta sólo a la protección de la línea base dentro de su gestión durante todo el proyecto, mas no a los tres activos más importantes del mismo: la persona humana, la información y la continuidad del negocio, surgiendo así claramente una necesidad.

Si bien el PMBOK habla de una gestión de recursos humanos, ésta no está enfocada a la protección física de la persona. Además, la Extensión de la Construcción del PMBOK está abocada a proyectos de construcción, mientras que nuestra propuesta implica la aplicación de la gestión de la seguridad al marco más general de la gestión de proyectos de cualquier índole.

El presente artículo pretende alertar de la importancia de la gestión de la seguridad dentro de la gestión de proyectos bajo el enfoque del Project Management Institute (PMI), proponiendo la adopción de una nueva área de conocimiento de “Gestión de Seguridad” para la guía del PMBOK, que contemple la protección de cualquier tipo de activo del proyecto y principalmente de los tres tipos de activos anteriormente mencionados.

Los equipos de proyecto deben utilizar las 10 áreas de Conocimiento de la manera más adecuada en su proyecto específico. Con el planteamiento de agregar esta nueva área de conocimiento se busca concientizar a todos los Directores de Proyecto para que, además de las áreas de conocimiento definidas en este marco, tomen en cuenta la gestión de la seguridad con una relevancia mayor a la que se le ha venido dando.

Los resultados revelan que es necesario llevar a cabo tres procesos para conseguir una correcta gestión de la seguridad: Planificación, Aseguramiento y Control de la Seguridad. Estos procesos incluyen todas las actividades que el sponsor, propietario y la organización deben ejecutar a fin de evitar desastres tanto para el proyecto como para la empresa.

El proceso de planificación define cómo enfocar, planificar y ejecutar los requisitos de gestión de la seguridad del proyecto, el aseguramiento a fin de aplicar lo planificado y el control como último proceso a fin de identificar maneras de eliminar las causas de desempeño de seguridad

insatisfactoria. No se han definido procesos de iniciación y cierre dado que se utilizan estos procesos para obtener la autorización formalizada de inicio o cierre del proyecto o fase.

Por otro lado, cabe resaltar la diferencia entre Gestión de Riesgos y Gestión de la Seguridad. Mientras que la aplicación de la Gestión de Riesgos se ha venido enfocando en la protección de las líneas base del proyecto, la Gestión de la Seguridad apunta a proteger los activos del proyecto, mediante la aplicación de una serie de buenas prácticas o estándares globalmente o localmente aceptados, que se sustentan en una Gestión de Riesgos previa. Es por esta razón por la que no se ha considerado necesario realizar un análisis de riesgos para identificar posibles respuestas a eventos que puedan afectar a los activos del proyecto. Este trabajo ya ha sido realizado bajo muchos enfoques, con la participación de muchos expertos, generando un conocimiento basado en “Buenas prácticas” estandarizadas, que es justamente las que deben aplicarse también en los proyectos.

Al analizar las brechas de seguridad entre lo implementado en la organización permanente y el proyecto en desarrollo, podríamos tener que la organización está más madura que lo que requiere el proyecto, o viceversa. En cualquier escenario, la responsabilidad de la gestión de la seguridad siempre recaerá en el Director del Proyecto, y será su función determinar cómo cubrir la brecha que requiere el proyecto (de haber una brecha por cubrir).

6. BIBLIOGRAFIA

Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos. (s.f.). Concepto de Proyecto. Recuperado el 6 de Abril de 2015, de AEIPRO: http://aeipro.com/index.php/es/mainmenu-aeipro/project-manag/885-concepto-de-proyecto

Boletín de prensa de CISCO. (20 de Enero de 2015). Reporte de Seguridad de Cisco revela incremento en la brecha entre la percepción y la realidad en Seguridad Informática. San José, California, Estados Unidos. Obtenido de http://americas.thecisconetwork.com/site/content/lang/es/id/2716

Borbón, J. S. (Agosto de 2011). Buenas prácticas, estándares y normas. Punto Seguridad, Defensa Digital(11), 28. Obtenido de http://revista.seguridad.unam.mx/sites/revista.seguridad.unam.mx/files/revistas/pdf/Seguridad_Num_11_0.pdf

Catoira, F. (31 de Mayo de 2012). Estudio sobre el estado de la seguridad de información corporativa. Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Obtenido de http://www.welivesecurity.com/la-es/2012/05/31/estudio-estado-seguridad-informacion-corporativa/

Chamochumbi, C. M. (2014). Seguridad e Higiene Industrial. Lima: Fondo Editorial de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega.

Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission. (2009). Gestión de Riesgos Corporativos Marco Integrado. Jersey: The Committee of Sponsoring Organization.

Dávila, Y. (Agosto de 2013). La continuidad de negocios y operaciones frente a situaciones de desastre en América Latina y el Caribe. Balance y recomendaciones. 4. Caracas, Caracas, Venezuela: Secretaría Permanente del SELA. Obtenido de http://www.sela.org/attach/258/EDOCS/SRed/2013/07/T023600005211-0-_Continuidad_de_negocios_y_operaciones_frente_a_situaciones_de_desastre_en_ALC_.pdf

Devia, J. A. (2013). La Continuidad del Negocio: ¿ deseable o requerido? RCT(63), 21-24. Obtenido de http://cintel.org.co/publicaciones/revista-rct/revista-rct-63/

Díaz, M. d., Gonzáles, C., Morales, F., & Rosales, V. F. (2014). Processes's Treatment of Risk Management in Project Management Approaches. 18th International Congress on Project Management and Engineering (pág. 12). Alcañiz: Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos.

Egúsquiza, B., Hurtado, G., & Atahuaman, C. (2013). Seguridad y Salud en el Trabajo Guía Práctica. Lima: Instituto Pacífico - Pacífico Editores.

El Comercio. (18 de Diciembre de 2014). Sony cancela estreno de The Interview por amenazas terroristas. Lima, Lima, Perú. Obtenido de http://elcomercio.pe/mundo/actualidad/sony-cancela-estreno-the-interview-amenazas-terroristas-noticia-1779214

Elgin, B., Lawrence, D., & Riley, M. A. (4 de Noviembre de 2012). Coke gets hacked and doesn't tell anyone. Estados Unidos. Obtenido de http://www.bloomberg.com/news/articles/2012-11-04/coke-hacked-and-doesn-t-tell

Foon, L., & Heap, C. (30 de Noviembre de 2012). A review towards the japanese project. Trends and Development in Management Studies, 1, 25-41. Obtenido de http://jyotiacademicpress.net/a_review_towards_the_new.pdf

International Organization for Standardization. (2012). ISO 22301: Seguridad de la Sociedad - Sistemas de Gestión de la Continuidad del Negocio. Ginebra, Suiza. Obtenido de http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50038

International Organization for Standarization. (2008). Enfoque basado en procesos. En I. O. Standarization, ISO 9001 : Sistemas de Gestión de Calidad (pág. 1). Ginebra: Secretaría Central de ISO.

Iscala, N. A., Meléndez, S. M., Pabon, M. Y., & Peña, C. A. (10 de Abril de 2012). Diseño de un protocolo de Seguridad de la Información del Área Financiera de Secretaria de Educación Departamental de Norte de Santander. Ocaña, Santander, Colombia. Obtenido de http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/329/1/25096.pdf

Merlo, J. L. (3 de Marzo de 2015). Blog La Salle IGS. La gestión de la seguridad en las organizaciones. Madrid, Madrid, España. Obtenido de http://blogslasalleigs.com/2015/03/03/la-gestion-de-la-seguridad-en-las-organizaciones/

Montes de Oca, J., & Perez, M. D. (9 de Junio de 2014). Comparación de Metodologías de Gerencia de Proyectos PRINCE2 y PMBOK5. Bogotá, Bogotá, Colombia.

Organización Internacional del Trabajo. (1996). Seguridad y Salud en el Trabajo. Recuperado el 12 de Enero de 2015, de Organización Internacional del Trabajo: http://ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--es/index.htm

Project Management Institute. (2007). Construction Extension to the PMBOK Guide (3 ed.). Pennsylvania: PMI Publications.

Project Management Institute. (2013). A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (Quinta ed.). Pennsylvania: PMI Publications.

Servat, A. A. (Octubre-Diciembre de 2012). Nuevo Estándar Internacional en Continuidad del Negocio ISO 22301:2012. Gestión, 25-31. Obtenido de http://www.gestion.com.do/index.php/octubre-2012/300-nuevo-estandar-internacional-en-continuidad-del-negocio-iso-223012012

Sousa, V., Almeida, N. M., & Dias, L. A. (2014). Risk-based management of occupational safety and health in the construction industry - Part 1: Background knowledge. Safety Science, 76.

01-035

TRACKING A CONSTRUCTION PROJECT WITH THE METHODOLOGY OF EARNED VALUE VERSUS TRADITIONAL METHODS. MAIN CONTRIBUTIONS.

Váquez García, Elena; Amiama Ares, Carlos; Barrasa Rioja, Martin
Escuela Politécnica Superior de Lugo. USC

In this paper our aim is to make a comparison between the results obtained tracking progress indicators in a real work, using two methodologies, from the perspective of the Project Manager. On a hand we analyze data obtained with a widespread method used in organizations with a low maturity level in project management, called "traditional method". With this method the control is limited to make a comparison between the project baseline and the values contained in certifications carried out monthly by the Project Manager. At the same time we'll analyze what additional information is required to perform the construction project monitoring with earned value techniques. The results allow us to analyze the contribution that the use of these techniques will bring to the Project Manager, from the point of view of cost control and schedule control.

Keywords: *Earned value analysis; cost and schedule control; project management*

SEGUIMIENTO DE UNA OBRA DE CONSTRUCCIÓN CON LA METODOLOGÍA DEL VALOR GANADO VERSUS MÉTODOS TRADICIONALES. PRINCIPALES APORTACIONES.

En este trabajo se pretende realizar una comparativa de los resultados obtenidos en los indicadores de seguimiento del avance de una obra real, aplicando dos metodologías, desde la óptica de la Dirección Facultativa. Por una parte se utilizará un método ampliamente extendido en organizaciones con una baja madurez en gestión de proyectos, que denominaremos "método tradicional" en el que el control se limita a realizar una confrontación entre la línea base del proyecto y los valores recogidos en las certificaciones mensuales expedidas por la Dirección de Obra. Paralelamente se analizará qué información adicional tendrá que requerirse a la constructora para poder abordar el seguimiento del proyecto con las técnicas del valor ganado. Los resultados obtenidos nos permitirán analizar la aportación que la utilización de estas técnicas supondrá para la Dirección Facultativa, tanto desde el punto de vista de control de costes en la obra, como de plazos.

Palabras clave: *Análisis del valor ganado; gestión de costes y plazos; gestión de proyectos*

Correspondencia: Martín Barrasa Rioja martin.barrasa@usc.es

1. Introducción

Son numerosas las grandes construcciones realizadas a lo largo de la historia (la Gran Pirámide de Guiza, la Gran Muralla China…) y que, sin sombra de dudas, nos indican la existencia de alguna especie de administración de proyectos desde el inicio de la civilización, sin embargo, en el sentido moderno, el project management se introduce a partir del siglo XX.

El Método del Valor Ganado (EVM) surge en el año 1967 por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos presentándose como una técnica fundamental de seguimiento y control para todo tipo de proyectos (Abba, W. F, 2000), que no ha podido ser reemplazada con éxito por otra metodología similar. Sin embargo, es poco comprendida, ya que no se trata de una herramienta aislada de análisis del desempeño del proyecto, sino que se trata de un "sistema complejo" (Alsina, J. 2013).

Aunque el EVM ha sido mundialmente extendido gracias a diversos actores importantes que fueron apareciendo para dar un impulso al conocimiento, divulgación y aplicación del método, entre los que se puede citar el nacimiento del Project Management Institute [PMI], en nuestro país su uso práctico es muy reducido. Para rellenar este vacío, el propósito de este trabajo es intentar demostrar las posibilidades que presenta su aplicación y ofrecer unas claves para un uso correcto y, sobretodo, adecuado, dentro del mundo de la ingeniería, donde los sobrecostes y los retrasos parecen formar parte del plan.

El análisis del valor ganado permite unificar las áreas de Gestión del Alcance, Gestión del Coste y Gestión del Tiempo, definidas en "*A Guide to the Project Management Body of Knowledge"* por el Project Management Institute [PMI, 2014], en un marco conceptual común para poder representar matemáticamente relaciones entre ellas.

Este método nos acerca más a la realidad de avance de un proyecto, en comparación con los métodos utilizados por organizaciones con una baja madurez en gestión de proyectos, que denominaremos "método tradicional", donde la confrontación entre costo real y costo planificado puede, frecuentemente, ser un error (Lewis, J.P., 1995).

La utilización adecuada de este procedimiento supone grandes ventajas, ya que nos permitirá (Gbegnedji, G., 2012):

- Revisar si el proyecto se encuentra por encima o por debajo del presupuesto y en qué proporción.
- Determinar si las actividades están adelantadas o atrasadas en el cronograma.
- Analizar la situación del proyecto en términos de costo y de tiempo.
- Considerar qué tan peligrosas o favorables son las tendencias que se observan.
- Hacer proyecciones a partir de los datos obtenidos con hipótesis dadas por las diferentes situaciones del trabajo.
- Tomar acciones para mitigar el impacto de algunos problemas.
- Disponer de la información necesaria para que la dirección pueda decidir seguir adelante con el proyecto o cancelarlo, solicitar más fondos, inyectar nuevos recursos o tomar otras decisiones.

2. Objetivos

El objetivo de dicho trabajo es la aplicación de las técnicas de valor ganado a las obras de construcción, por lo que se emplea como base un proyecto de obra civil facilitado por la Diputación de Ourense y que se encuentra totalmente ejecutado y terminado en el momento de realización del presente trabajo.

La razón principal que origina esta investigación es establecer resultados más efectivos en el seguimiento y control de las obras, contrastando las debilidades de los métodos que se utilizan hasta el momento en estos ámbitos.

Para la puesta en marcha del estudio, se realiza un análisis de los métodos tradicionales utilizados y orientados al proyecto que se toma como caso de estudio, así como la aplicación del método más adecuado de las técnicas de valor ganado a dicha obra (utilizando la información suministrada por el contratista, con la cual se podrá realizar análisis comparativos con la herramienta propuesta).

Por lo tanto, se puede resumir que los objetivos generales que se pretenden alcanzar son:

1. Aplicación de una metodología para la mejora del seguimiento y control de tiempos y costes en un proyecto de construcción.
2. Identificación del proceso como una herramienta que permita verificar la marcha real de una obra.
3. Utilizar los resultados para comparar la metodología tradicional con el método aplicado y poder ofrecer a la Dirección Facultativa una alternativa efectiva de control.

3. Metodología

El Método del Valor Ganado es una interrelación tridimensional entre lo planeado (PV), el trabajo efectivamente realizado (EV) y los costes reales incurridos en el proyecto (AC), que permiten determinar las variaciones e índices de rendimiento de coste y cronograma y las proyecciones o predicciones del proyecto (Kerzner, H., 2009), permitiendo adoptar las decisiones adecuadas a cada situación.

Tabla 1. Variables, indicadores y proyecciones para la aplicación del valor ganado

VARIABLES		
PV		Valor Planificado
EV		Valor Ganado
AC		Coste Real
INDICADORES		
CV	EV – AC	Negativo: Costes por encima de los previsto Positivo: Costes por debajo de lo previsto
CPI	EV / AC	< 1: Costes por encima de lo previsto > 1: Costes por debajo de lo previsto
SV	EV – PV	Negativo: Tiempo invertido por encima de los previsto Positivo: Tiempo invertido por debajo de lo previsto
SPI	EV / PV	< 1: Tiempo invertido por encima de lo previsto > 1: Tiempo invertido por debajo de lo previsto

PROYECCIONES		
BAC	PV acumulado	Presupuesto del proyecto / Presupuesto hasta la conclusión
EAC	BAC	Estimación a la conclusión. No existen desviaciones
	AC+BAC-EV	Estimación a la conclusión. Las desviaciones producidas NO se van a mantener en el futuro
	$\frac{BAC}{CPI}$	Estimación a la conclusión. Las desviaciones producidas SI se van a mantener en el futuro dentro de un marco optimista
	$AC+\left[\frac{(BAC-EV)}{(CPI\times SPI)}\right]$	Estimación a la conclusión. Las desviaciones producidas SI se van a mantener en el futuro dentro de un marco pesimista
	AC+ETC	Estimación a la conclusión. Nueva estimación debido a un desempeño desigual con el plan inicial.
ETC	EAC-AC	Estimación para terminar / Presupuesto que falta por gastar.
VAC	BAC-EAC	Desviación a la terminación

Si bien, la definición de los principales factores es relativamente sencilla en el caso del PV y AC donde los valores vienen determinados por el presupuesto del proyecto y las cantidades certificadas respectivamente, la medición del avance de cada componente de la estructura de desglose es el valor más difícil de estimar (Klastorin, T., 2009).

3.1. Medición del Valor Ganado

La determinación de las métricas que se deben utilizar para definir el avance de un proyecto es una cuestión de juicio personal, donde la planificación, la medición y la aplicación coherente de las técnicas de valor ganado son las claves para tener una implementación exitosa.

Actualmente se han definido ocho métodos distintos de medición del valor ganado, tal y como recogen Fleming y Koppelman (2010) en su libro *Earned Value: Project Management*, que se clasifican en función del tipo de producto final y de la duración del esfuerzo.

Tabla 2. Clasificación de los métodos de medición del valor ganado

		DURACIÓN DEL ESFUERZO	
PRODUCTO		1-3 PERIODOS DE MEDICIÓN	> 3 PERIODOS DE MEDICIÓN
TANGIBLE	Tareas NO repetitivas	(1) Fórmula fija por tareas	(2) Estimaciones de porcentaje completado (3) Hitos con valores ponderados (4) Porcentaje completado con hitos como puntos de control
	Tareas repetitivas	(5) Unidades equivalentes terminadas (6) Estándar ganado	
NO TANGIBLE		(7) Relación proporcional con trabajos discretos (8) Nivel de esfuerzo	

Al tratarse de una obra de construcción, nos hemos centrado en los métodos que se utilizan para más de 3 periodos de medición y para tareas no repetitivas. Analizando dichos procedimientos se puede deducir que:

- El método de porcentaje completado es el más fácil de administrar, pero se aplica sobre una base puramente "subjetiva", pudiendo generar estimaciones infladas, optimistas o del lado de la seguridad.
- El método de hitos como valores ponderados se suele fomentar, sin embargo requiere mucho tiempo y energía para poner un plan en marcha así como para administrarlo posteriormente al tener que establecer los valores de los hitos significativos para todos los trabajos previstos.
- El método (4) representa una evolución en las aplicaciones de valor ganado al combinar ambas técnicas de medición con el objetivo de capturar: la facilidad de estimaciones subjetivas de porcentaje completado utilizadas en conjunción con hitos concretos difíciles.

No existe un método sencillo de medición del valor ganado preestablecido que funcione perfectamente para cualquier tipo de actividad. Probablemente el mejor enfoque para las empresas sea permitir múltiples técnicas de medición, sin embargo, la amplia aceptación universal del valor ganado puede ser el resultado de encontrar la justa armonía entre la facilidad de implementación y la medición de los resultados exactos. Por todo ello se ha optado por el empleo de estimaciones subjetivas de porcentaje completado utilizadas en conjunción con hitos como puntos de control, ya que la combinación de estas proporcionan el equilibrio buscado.

3.2. Herramientas para la aplicación de las técnicas de valor ganado

Para la aplicación al proyecto EVM es necesario describir los procedimientos y herramientas necesarias para la realización de los cálculos concernientes al trabajo.

- Estructura de Desglose de Trabajo

  El PMBOK define la EDT como el *proceso que consiste en subdividir los entregables del proyecto y el trabajo del proyecto en componentes más pequeños y más fáciles de manejar.*

- Diagrama de Gantt

  Los diagramas de barras o gráficos de Gantt han constituido una de las principales herramientas de planificación al representar, en esencia, la duración en el tiempo de cada una de las actividades de un proyecto (Domingo, A., 2005).

- Hitos

  Un hito es una tarea de duración cero que señala un evento importante en el proyecto, normalmente la conclusión o logro de una determinada actividad, decisión o fase.

  Estos puntos del cronograma no son actividades, es decir que no consumen tiempo ni recursos, son, tan sólo, puntos de referencia del proyecto que permiten conocer el avance del mismo (Caamaño, J.E., 2012).

3.3. Análisis

Para facilitar el análisis de la obra con el método propuesto frente a los métodos tradicionales se han definido tres puntos de evaluación a lo largo del periodo de ejecución de la obra:

- Análisis en el mes correspondiente a la mitad del cronograma planificado
- Análisis en el mes programado para la finalización del proyecto
- Análisis en el mes de finalización real de la obra.

4. Caso de estudio

Para la aplicación de las técnicas de valor ganado a las obras de construcción se ha empleado como base el proyecto de obra civil “Acondicionamiento y nuevo trazado de la carretera provincial OU-0502. Gustei (N-525) – Os Peares (N-120). Tramo: Gustei (N-525) – A Peroxa”, facilitado por la Diputación de Ourense y que se encuentra totalmente ejecutado y terminado en el momento de realización del presente trabajo, lo que nos permite conocer la duración y coste real de la misma.

4.1. Datos Temporales

En proyecto se estimó un plazo de ejecución para la completa realización de las obras de dieciocho (18) meses.

Sin embargo, el plazo real de ejecución de las obras fue de veinticuatro (24) meses, tiempo superior al programado y estimado en el proyecto y que se analizará posteriormente mediante la aplicación de las técnicas del valor ganado.

Tabla 3. Datos Temporales

	Plazos de ejecución de la obra
Plazo de Proyecto	18
Plazo Real	24

4.2. Datos Económicos

Desde el punto de vista del análisis mediante el método del valor ganado, nos centraremos en el presupuesto de ejecución material.

La obra de estudio se adjudicó por un importe de un millón quinientos setenta y un mil trece euros con treinta y un céntimos (1.571.013,31 €); sin embargo, la obra se consideró completada por un coste de ejecución material real de un millón quinientos cincuenta y tres mil quinientos dieciocho euros con ochenta y nueve céntimos (1.553.518,89 €), cantidad inferior al de adjudicación. Posteriormente se analizará dicha diferencia.

Tabla 4. Datos Económicos

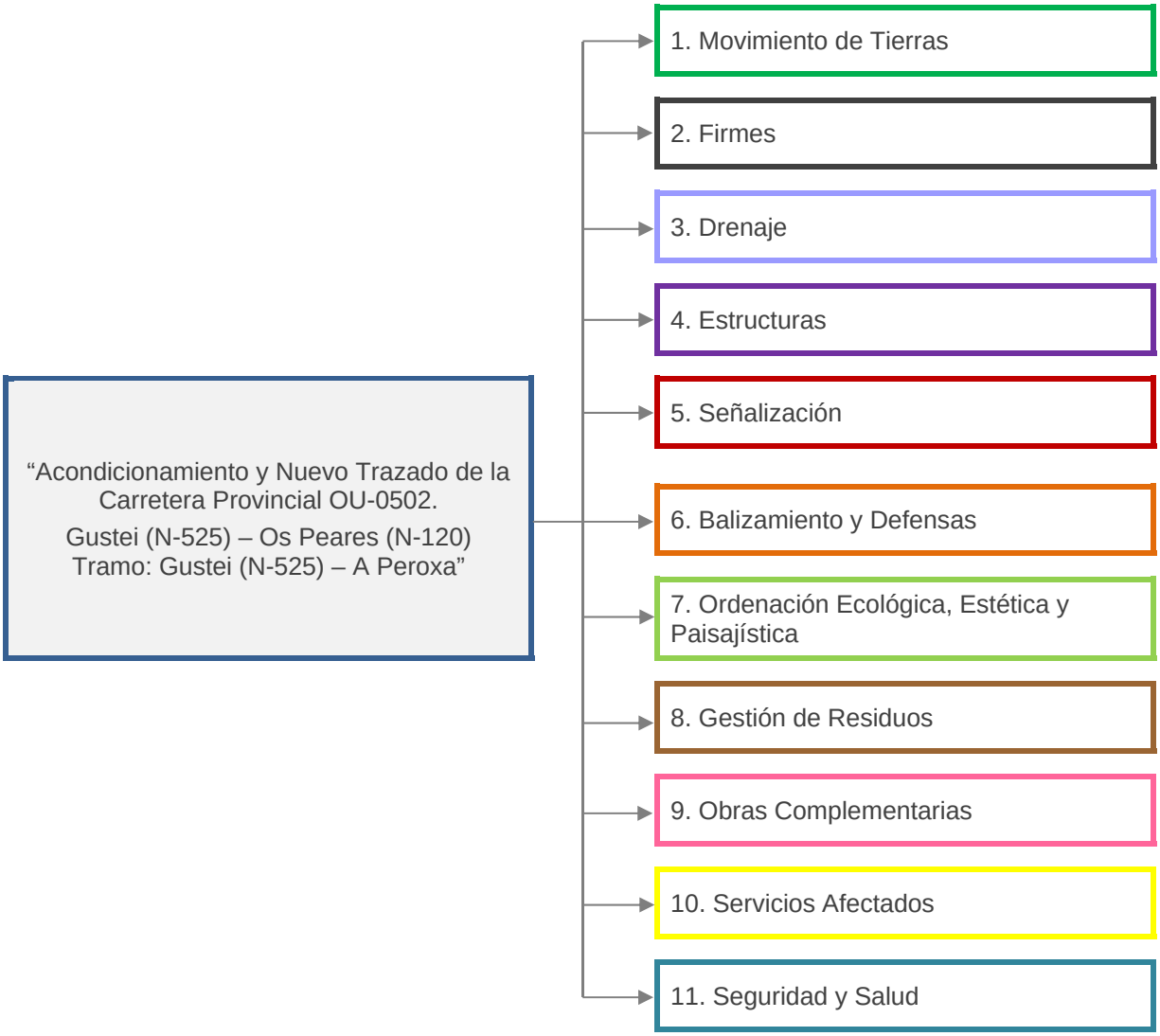
	Plazos de ejecución de la obra
Presupuesto de Adjudicación	1.571.013,31 €
Coste Real de Ejecución	1.553.518,89 €

4.3. Definición de la EDT

Para la definición de la Estructura de Desglose de Trabajo del proyecto de estudio se ha tomado como base el presupuesto oficial del mismo presentado en el momento de la adjudicación. Se ha considerado que para la aplicación posterior de las técnicas de valor

ganado es suficiente el uso de la primera escala de la EDT, tal y como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Estructura de Desglose de Trabajo del Caso de Estudio



4.4. Diagrama de Gantt y colocación de los hitos de control

Para la utilización de los gráficos de Gantt es necesario conocer las actividades principales del proyecto así como la estimación de los tiempos que se emplearán en el desarrollo de cada actividad. En la parte izquierda del diagrama se han enumerado las actividades de la obra mientras que la duración de las mismas se muestra como barras horizontales ubicadas según fecha.

Dentro de este gráfico se distribuyen los diferentes hitos que se emplearán como puntos de control para la aplicación del método de medición del valor ganado escogido. Se han considerado los siguientes criterios para la identificación de los mismos:

- Actividades o tareas de la EDT con mayor relevancia dentro del presupuesto.
- Unidades o trabajos con mayor peso específico dentro de cada capítulo.

- Otras unidades que a pesar de no considerarse importantes tengan un peso propio significativo.
- Puntos clave dentro del cronograma general del proyecto.

Tabla 5. Plan de obra. Diagrama de Gantt con hitos como puntos de control

ACTIVIDADES	MESES					
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18
1. Movimiento de Tierras		HITO 1: avance al 33 %				
2. Firmes					HITO 2: avance al 80 %	
3. Drenaje						
4. Estructuras		HITO 3: avance al 11 %				
5. Señalización						
6. Balizamiento y Defensas					HITO 4: avance al 43 %	
7. Ordenación ecológica, estética y paisajística						
8. Gestión de residuos			HITO 5: avance al 60 %			
9. Obras complementarias						
10. Servicios Afectados		HITO 6: avance al 43 %				
11. Seguridad y Salud						
		HITO 7: avance al 38 %		HITO 8: avance al 57 %		

5. Resultados

Partiendo de los datos disponibles del proyecto, así como los obtenidos gracias a las herramientas de gestión anteriormente explicadas, se procede al cálculo de los parámetros e índices del valor ganado, que han sido actualizados para el seguimiento y control de la obra mensualmente.

En el Figura 2 se puede observar la línea base de proyecto, obtenida mediante los valores acumulados mensualmente definidos en el Diagrama de Gantt y el presupuesto de ejecución material, la curva S del valor ganado, calculada mediante el método de porcentaje completado del trabajo programado en conjunción con los hitos señalados en la Tabla 5 y el coste real, cuyas valores fueron obtenidos por los importes presentados en las certificaciones realizadas en cada período de control.

A partir de estos valores se determinaron las variaciones de coste y tiempo, los indicadores de rendimiento y las estimaciones o proyecciones a la finalización. En la Tabla 6 aparecen reflejados los cálculos realizados para los meses destacados para el análisis del método.

Figura 2. Curvas S

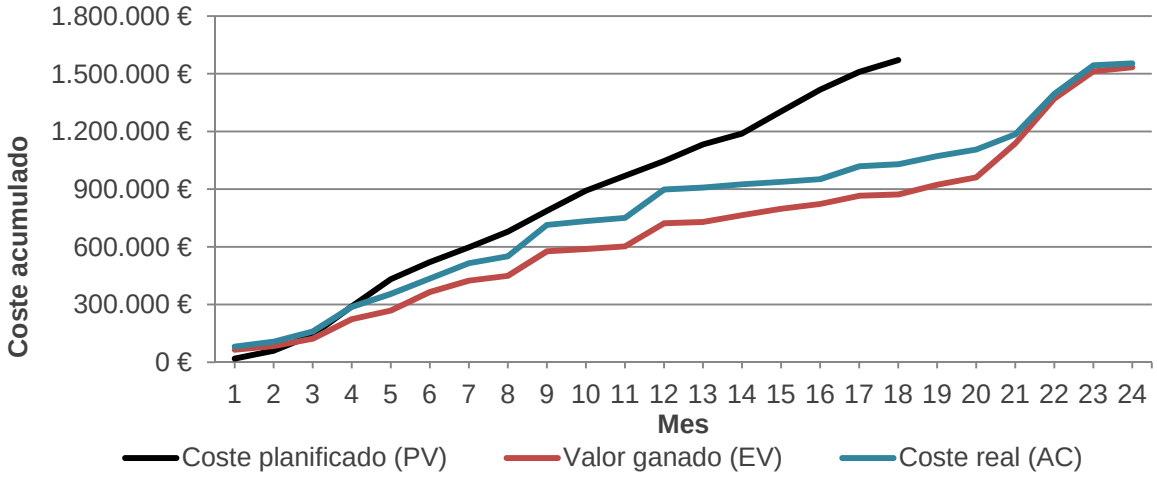


Tabla 6. Plan de obra. Diagrama de Gantt con hitos como puntos de control

Mes			9	18	24
BAC			1.571.013,31 €	1.571.013,31 €	1.571.013,31 €
VALORES	Coste planificado (PV)		786.953,25 €	1.571.013,31 €	1.571.013,31 €
	Valor ganado (EV)		576.661,36 €	871.649,20 €	1.533.326,72 €
	Coste real (AC)		714.239,99 €	1.029.031,42 €	1.553.518,89 €
	Programación ganada (ES)		6,73	9,80	17,39
INDICADORES	Variación en coste (CV)		-137.578,63 €	-157.382,22 €	-20.192,17 €
	Variación en plazo (SV)		-210.291,89 €	-699.364,11 €	-37.686,59 €
	Desviación en programación: SV (t)		-2,27	-8,20	-6,61
	Eficiencia en coste (CPI)		0,81	0,85	0,99
	Eficiencia en plazo (SPI)		0,73	0,55	0,98
	Eficiencia en Programación: SV(t)		0,75	0,54	0,72
	Eficiencia en coste - plazo (CSI)		0,59	0,47	0,96
DESVIACIONES	ATÍPICA	Presupuesto estimado (EAC)	1.708.591,94 €	1.728.395,53 €	1.591.205,48 €
		Estimación hasta conclu. (ETC)	994.351,95 €	699.364,11 €	37.686,59 €
		Variación a conclusión (VAC)	-137.578,63 €	-157.382,22 €	-20.192,17 €
	TÍPICAS OPTIM.	Presupuesto estimado (EAC)	1.945.822,30 €	1.854.670,50 €	1.591.701,77 €
		Estimación hasta conclu. (ETC)	1.231.582,31 €	825.639,08 €	38.182,88 €
		Variación a conclusión (VAC)	-374.808,99 €	-283.657,19 €	-20.688,46 €
	TÍPICAS PESIM.	Presupuesto estimado (EAC)	2.394.945,11 €	2.517.118,59 €	1.592.640,25 €
		Estimación hasta conclu. (ETC)	1.680.705,12 €	1.488.087,17 €	39.121,35 €
		Variación a conclusión (VAC)	-823.931,80 €	-946.105,28 €	-21.626,94 €
Porcentaje finalizado (%)			36,71%	55,48%	97,60%

5.1. Análisis en el mes correspondiente a la mitad del cronograma planificado

Se ha realizado un análisis en el punto intermedio de la obra, tal y como estaba planificado en el plan de proyecto, correspondiendo con el mes 9.

Los resultados obtenidos para este mes muestran que los trabajos realmente ejecutados hasta dicho punto corresponden a lo que estaba planeado para el mes 6,73. Se presenta un sobrecosto (CV) de 137.578,63 € y un retraso (SV) de 210.291,89 €, o lo que es lo mismo, de 2,27 meses.

5.2. Análisis en el mes programado para la finalización del proyecto

Del análisis elaborado para el mes 18, correspondiente al punto programado del cronograma donde la obra debería haber sido finalizada, se deduce que los trabajos realmente ejecutados hasta dicho punto corresponden al 55,48 % de la obra, cuando esta debería de estar finalizada según el cronograma de proyecto. Por otra parte, existe un sobrecosto (CV) de 157.382,22 € y un retraso (SV) de 699.364,11 €, o lo que es lo mismo, de 8,20 meses.

5.3. Análisis en el mes de finalización real de la obra

Por último, de los cálculos efectuados para el mes 24, correspondiente al momento de conclusión de la ejecución de los trabajos de la obra de estudio y, consecuentemente, de la finalización de la misma se obtiene que los trabajos realmente ejecutados corresponden a lo que estaba planeado para el mes 17,39.

En el momento de control descrito la obra no estaba completa en su totalidad, tal y como se había planificado, sin embargo se decidió, por temas administrativos, darla por concluida con un porcentaje finalizado del 97,60 %.

La obra se ha liquidado con un sobrecoste (CV) de 20.192,17 € y un retraso (SV) de 37.686,59 €, o lo que es lo mismo, de 6,61 meses, si consideramos que no se ha ganado toda la obra planificada.

Si comparamos este método con el sistema tradicional de control, donde se confrontan el coste planificado con el gasto real de la obra, la tendencia sería caer en el error de considerar que la obra va por debajo del presupuesto al ser el AC en el punto de estudio inferior a PV, sin embargo la realidad es muy distinta.

Figura 3. Análisis de los sobrecostos por el método tradicional

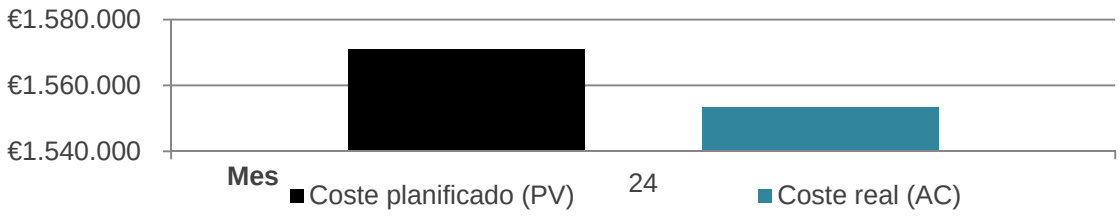
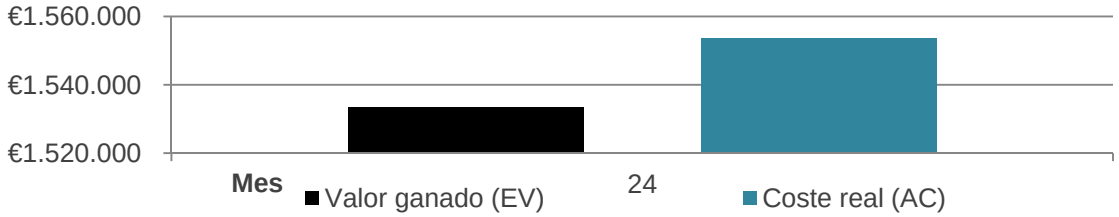


Figura 4. Análisis de los sobrecostos por el método del valor ganado



6. Conclusiones

El seguimiento de cualquier tipo de proyecto exige la selección de patrones de medida para la programación, el presupuesto y la calidad técnica de los trabajos, con el objetivo de comparar los planes reales del mismo con los previstos y poder establecer las acciones correctoras necesarias.

Un control continuo y adecuado facilita obtener con éxito los resultados proyectados en el tiempo previsto y dentro del presupuesto.

Frecuentemente se cae en la trampa de inspeccionar los proyectos utilizando, únicamente, el coste presupuestado y el coste real. Mientras no se vea diferencia entre lo que se ha planificado gastar y lo que realmente se ha gastado es imposible percibir un problema, hasta que tal vez sea demasiado grave o tarde para poner los medios adecuados.

Desde el punto de vista de la Administración, este dilema se acrecienta para aquellas obras que se realizan por adjudicación. En ellas, la parte contratada no cobrará un importe superior al otorgado.

Aunque desde esta perspectiva pueda parecer que el término de valor ganado carece de significado, lo cierto es que estos contratos no garantizan que las obras concluyan en plazo, suponiendo una preocupación para aquellas infraestructuras que deben de ser puestas en servicio en unas fechas fijas e inamovibles.

Por otra parte, no superar el presupuesto planificado no asegura la finalización y ejecución de todos los trabajos que engloban la obra, pudiendo haber grandes desviaciones en las cantidades y calidades proyectadas.

La aplicación de las técnicas de valor ganado resultan útiles a la hora de supervisar el avance del proyecto, sin embargo, el director de obra debe de seleccionar, según su experiencia y criterio, el método de medición de la evolución de la misma para que los resultados obtenidos se ajusten a la realidad de la obra.

El análisis de las desviaciones de coste y plazo permite evaluar la situación del proyecto y debe realizarse en el nivel de paquete de trabajo adecuado para no ocultar problemas. Puede ser interesante establecer límites para indicar cuándo debe revisarse con detalle el estado de una tarea y así saber cómo dirigir su energía para mantener un proyecto dentro del programa y el presupuesto.

Cuando los resultados de las mediciones usadas en EVM muestran que hay necesidad de hacer cambios, el director de obra puede ajustar el presupuesto o trabajar para ayudar a la evolución futura del proyecto volviendo a su línea original. Las mediciones pueden establecer claramente dónde se ubican los problemas y, de esta manera, activar acciones preventivas para reducir la posibilidad de que éstos vuelvan a ocurrir.

La correcta aplicación de las técnicas de valor ganado desde el inicio del proyecto, pueden servir de guía para la gestión de éste, siendo conscientes de que el resultado final dependerá de la experiencia y habilidad para dirigir el mismo.

El método de valor ganado supone una mejora en el seguimiento y control de cualquier tipo de trabajo y, consecuentemente, de las obras de construcción, tal y como ha querido reflejar este proyecto, permitiendo corregir las desviaciones producidas durante el desarrollo y ejecución de la obra de manera flexible.

Con esta investigación se presenta una posibilidad de administrar los costos y plazos en el mundo de la ingeniería y la construcción, mediante la práctica de un mecanismo óptimo y efectivo de control para futuros proyectos.

7. Bibliografía

Abba, W. F. (2000). *How earned value got to primetime*. *PMI Seminars & Symposium 2000*. Pennsylvania: Project Manager Institute, Inc.

Alsina J. (2013, 28 de Junio). Gestión de Valor Ganado para Control de Proyectos Versión 2. Publicado en http://www.projectcharter.com/

Caamaño, J. E. (2012). *Project Management: Práctico: Técnicas, Herramientas y Conocimientos*. Málaga: Publicaciones Vértice, S.L.

De Cos, M. (1995). T*eoría General del Proyecto: Dirección de Proyectos / Project Management*. Madrid: Editorial Síntesis, S.A.

Domingo, A. (2005). *Dirección y Gestión de Proyectos: un enfoque práctico* (2ª edición). Madrid: RA-MA Editorial.

Fleming, Q. W., & Koppelman, J. M. (2010). *Earned Value: Project Management (*4ª edición). Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.

Gbegnedji, G. (2012, 3 de Diciembre). Gestión del valor ganado (Earned Value Management EVM). Publicado en https://whatisprojectmanagement.wordpress.com/

Kerzner, H. (2009). *Project Management: a Systems approach to planning, scheduling, and controlling* (10ª edición). Hoboken (New Jersey): John Willey Company.

Klastorin, T. (2010). *Gestión de Proyectos: con casos prácticos, ejercicios resueltos, Microsoft Project, Risk y hojas de cálculo*. Barcelona: Profit Editorial.

Lewis, J. P. (1995). *Planificación, programación y control de proyectos: Guía práctica para una gestión de proyectos eficiente*. Barcelona: Ediciones S.

PMI. (2014). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos: Guía del PMBOK* (5ª edición). Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.

01-036

CONSIDERATIONS AFFECTING THE CIRCULATION VIABILITY PROJECTS OF ARTICULATED VEHICLES IN SPECIAL TRANSPORTS

Fadón Salazar, Fernando; Díez Gutiérrez, Joaquín; Cerón Hoyos, Enrique
Universidad de Cantabria

Currently large indivisible goods are transported on road what needs a viability project required by de road owner (Spain government or autonomous community). It is common the use of application software for the study of critical way points in entry/exit motorways, access to urban areas, turns at roundabouts…The transition of the vehicles, the deviation that the wheels suffer, and the rest of parameters are regulated in the directive UE 96/53/EC. Road transport is limited by the viability of movement according to width, length, height, weight or a combination of them. In this paper is intended to explain the different methods to make these kind of projects, important points to consider, existing documentation and the search of the itinerary that enables the transport. In addition, It is analyzed the geometrical relations in turns in different circumstances, depending on the technical elements that configure the transport.

Keywords: *Instant Centre of Rotation; Tractrix; Rear Swing Out; steering Axle*

CONSIDERACIONES QUE AFECTAN A LOS PROYECTOS DE VIABILIDAD DE PASO DE VEHÍCULOS ARTICULADOS EN TRANSPORTES ESPECIALES

Actualmente se transportan por carretera grandes piezas indivisibles que obligan a la realización de un proyecto de viabilidad de paso requerido por el propietario de la vía (Comunidades Autónomas o Ministerio de Fomento). Es común el uso de aplicaciones informáticas para el estudio de los puntos críticos de paso de los vehículos en entradas y salidas de autovías, acceso a zonas urbanas, giros en glorietas, zonas de paso en las propias fábricas y cadenas de producción. La transición de los vehículos o el desvío que sufren las ruedas en los giros a baja velocidad e incluso la abertura hacia afuera de la trasera están regulados por la Directiva UE 96/53/EC. El transporte por carretera está limitado a la viabilidad de paso por anchura, longitud, altura, peso o a una combinación de ellas. Se pretende explicar los distintos procedimientos para la redacción de este tipo de proyectos, aspectos importantes a considerar como la documentación necesaria, la elección de la ruta más adecuada. Se analiza con más detalle las relaciones con la geometría de giros en diversas circunstancias dependiendo de los elementos técnicos que configuren el transporte.

Palabras clave: *Centro Instantáneo de Rotación; Tractriz; Desviación trasera; Eje directriz*

Correspondencia: Fernando Fadón fadonf@unican.es Joaquín Díez diezj@unican.es

1 Introducción

Cuando se plantea el transporte de elementos de cientos de toneladas y grandes dimensiones, al equipo que se emplea para tal fin se denomina conjunto modular, el número de ejes se caracteriza porque es variable de modo que se van añadiendo módulos compuestos por un eje hasta lograr repartir el peso de la carga en la carretera, de esta forma, las cargas transmitidas a la vía son las de un trailer convencional. Las cabezas tractoras actuales tienen una potencia disponible de más de 600 CV además de las trasmisiones y los convertidores de par especialmente preparados para poder arrastrar la plataforma junto con la carga. La única limitación serán las dimensiones del elemento a transportar o el peso de la pieza indivisible que hacen disponer de más ejes y aumentar la longitud del transporte. En zonas de rampas pronunciadas, la realización de maniobras a baja velocidad pueden hacer aconsejable la unión de dos o más cabezas tractoras para poder comenzar a rodar.

El conjunto modular denominado comúnmente como ciempiés permite elevar o bajar el nivel de la plataforma mediante sistemas hidráulicos, algunos disponen de motores para moverse sin necesidad de la tractora reduciendo en gran medida los radios de giro.

Es precisamente este conjunto formado por la plataforma y una o varias cabezas tractoras lo que termina siendo un vehículo tecnológicamente avanzado que actualmente no se usa pero puede llegar a utilizar las nuevas tecnologías para facilitar su maniobrabilidad.

A lo largo de esta exposición, se hará mención de la normativa existente pero sobre todo a los puntos que el proyectista debe de tener en cuenta a la hora de redactar un documento de estas características.

Diferentes investigadores han estudiado la problemática de maniobras restringidas para diferentes tipos de vehículos con remolque tales como Gómez-Bravo, Cuesta y Ollero (2001), (2000), Caracciolo, De Luca y Iannitti (1999), Lamiraux, Sekhavat y Launmond (1999) además de otros. Estos autores generalmente enfocan sus estudios hacia la robótica, modelizando el problema mediante matrices de giro. Otros autores Amit, Nadav y Shay (2005), Antos y Ambrósio (2004) han investigado la trayectoria y la cinemática para vehículos independientes, sin remolque.

2 Objetivos

Se propone aportar una pauta en la realización de los proyectos de viabilidad de paso y conocer herramientas que se pueden utilizar, tales como las que permiten analizar el trazado en planta y alzado en curvas y acuerdos verticales (cambios de rasante). Se investiga sobre la circulación de grandes mercancías por carretera que puedan introducir tecnología en los vehículos para facilitar la conducción y como se puede mejorar, debido a que si se dotan de sensores, a la vez que recorre la ruta se obtiene en tiempo real los datos de gálibo de las carreteras, bien para aprovechamiento de la empresa transportista o bien para el propio Ministerio de Fomento con un coste mínimo.

3 Metodología del proyecto de transportes especiales

En este epígrafe se tratarán los parámetros de partida para la realización de un estudio de viabilidad, las consideraciones a tener en cuenta en función de las restricciones específicas de cada caso, la actividad que hay que realizar en campo y los criterios del estudio en cuanto a las maniobras especiales.

3.1. Parámetros de partida

Se parte de la base que cada país tiene una normativa propia en cuanto al trazado de carreteras y vías, en España está legislado por la Instrucción 3.1.IC cuya última actualización es de febrero de 2000, además existen numerosas recomendaciones para enlaces, nudos, glorietas, o incluso para la trayectoria de giro de vehículos a baja velocidad.

Para el diseño de una vía para la circulación de vehículos se han de determinar dos parámetros fundamentales, el primero de ellos es la *velocidad específica* o velocidad de diseño que será la que determine los radios de las curvas, peraltes, sobreanchos y, las longitudes de los acuerdos verticales en base a la distancia de visibilidad y de seguridad para circular a esa velocidad. El segundo de los parámetros es la IMD, (intensidad media diaria de los vehículos que circulan por la vía), que define el paquete de firmes necesario para que la carretera sea capaz de soportar ese tráfico sin un deterioro de las capas inferiores que produzcan el colapso de la vía.

Con estos dos parámetros queda recogida la geometría de la vía, el problema es que por condiciones orográficas, modificaciones durante la vida o bien obras que se están ejecutando en ese momento, no se puede garantizar esa geometría en todo el recorrido y esto obliga a que cuando es necesario transportar cualquier mercancía que excede de los límites permitidos por el código de circulación sea necesario un estudio pormenorizado del transporte así como una autorización especial concedida por la Dirección General de Tráfico, en el que se demuestre que el transporte puede circular con las actuaciones previas necesarias y no excede del peso por eje permitido y por tanto no deteriorará la infraestructura.

Todas las carreteras están afectadas por la señalización, balizamiento e iluminación de la vía, siendo obstáculos a considerar en el estudio.

3.2. Parámetros conocidos

Son parámetros conocidos el elemento a transportar en tipología y peso y la cabeza tractora que va a realizar el transporte, propiedad de la empresa transportista que tiene contratado el servicio. Según las dimensiones y el reparto de la carga, se diseñará la plataforma necesaria, número de ejes, portatubos e incluso la altura sobre el suelo de la pieza. También se conoce el itinerario que efectuará el transporte.

Una vez solicitado a la Dirección General de Tráfico el itinerario previsto, será remitido a los distintos organismos *“propietarios”* de la las carreteras que estén afectadas para su aprobación de paso.

3.3. Características para la solicitud de un estudio de viabilidad

Para redactar un proyecto de estudio de viabilidad de paso para transportes especiales es necesario conocer los condicionantes que puedan imposibilitar el paso. Estos podrán ser por longitud, anchura, altura o peso de la pieza a transportar y deberá especificarse el tipo de condicionante.

En España, según la Nota de Servicio 2/2014 del Ministerio de Fomento, se requiere un estudio de viabilidad para los transportes especiales extraordinarios y para los especiales excepcionales siendo necesaria la elaboración de un Estudio Específico cuando se excede de las siguientes dimensiones, indicadas en la Tabla 1:

Tabla 1: Requerimiento estudio específico

DIMENSIONES	TTE. ESPECIAL GENERICO	TTE. ESPECIAL ORDINARIO	TTE. ESPECIAL EXTRAORDINARIO	TTE. ESPECIAL EXCEPCIONAL
anchura	< 5,50 m.	< 6,50 m.	< 7,00 m.	> 7,00 m.
longitud	< 45,00 m.	< 45,00 m.	< 60,00 m.	> 60,00 m.
altura	< 4,70 m.	< 4,85 m.	< 4,90 m.	> 4,90 m.
masa máxima	< 110 Tm.	< 170 Tm.	< 300 Tm.	> 300 Tm.
estudio especifico	NO REQUIERE	NO REQUIERE	**SI REQUIERE**	**SI REQUIERE**

El propio Ministerio también puede solicitarlo por motivos de seguridad, vías nuevas, obras o empresa transportista nueva. Para las carreteras no Estatales, será la propia Dirección General de Tráfico (DGT) quien envíe la solicitud del permiso de paso al propietario de las mismas (Comunidad Autónoma, Ayuntamiento…).

Con esta Tabla 1, se puede hacer una idea de las dimensiones y peso de las mercancías que se pueden desplazar por las carreteras estatales que evidentemente son las de mayores dimensiones (Autopistas y Autovías), cualquier otra carretera autonómica, regional o local generalmente tendrá menores anchuras de calzada debido a que la velocidad específica para la que fue diseñada y su IMD son menores e implicará que los radios de curvatura y los acuerdos verticales son inferiores, además de otros condicionantes añadidos como viviendas, pasos estrechos, tendidos aéreos…

3.4. Consideraciones a tener en cuenta en el estudio específico en función de las restricciones

Aparentemente puede parecer que la masa no es un problema debido a que se solventa con la implantación de más ejes sobre el semirremolque, pero indirectamente sí lo es debido a que todas las estructuras se calculan para que soporten un tren de cargas determinado por normativa.

Como la carga a transportar se acerca a la máxima admitida por la estructura y la disposición de la misma es distinta de la calculada sobre el proyecto, se puede someter a la estructura a esfuerzos plásticos que produzcan un deterioro de la misma o llegar al colapso.

En la Tabla 2, se especifican los distintos tipos de estudios específicos para que el proyectista pueda hacer los análisis pertinentes una vez conocidos los parámetros de salida. Generalmente las restricciones son a añadir, siendo la más básica por anchura de la pieza a transportar y la más compleja por masa máxima autorizada para circular.

Tabla 2: Estudio específico en función de las restricciones

DIMENSIONES	ESTUDIO ESPECIFICO
Anchura	Estudio en planta de los giros y maniobras especiales en los puntos críticos
Longitud	Los anteriores además de estudio en alzado de los acuerdos verticales cóncavos o convexos.

Altura	Las estructuras superiores que crucen sobre la vía, banderolas, cables y en el caso de túneles o estructuras anchas, los giros y maniobras para comprobar el gálibo. Además de las limitaciones de los anteriores.
Masa Máxima	Re-cálculo de las estructuras que se encuentre a su paso para comprobar los esfuerzos para no superar en un 10% el máximo de los proyectados (tren de cargas). Además de las limitaciones de los anteriores.

Pudiera ser que el paso por esa ruta sea inviable, habrá que buscar otra zona de paso con el inconveniente que al salir de una autovía o autopista aparecerán nuevos condicionantes que generalmente serán de anchura o altura.

En carreteras distintas de Autopistas o Autovías, una solución muy utilizada es el uso de puentes desmontables tipo Bailey o Mabey Compact-200 como sobrepuentes para facilitar el paso del transporte especial sin que se vea afectada la estructura original.

En España, el Ministerio de Fomento no deja redactar un informe que contemple varias alternativas de paso, obliga a la redacción de una única ruta de paso y la viabilidad de la misma (Nota Servicio M.F. 2/2014)

Si la ruta ha de ser modificada, se deberá de solicitar una variación de la misma a la DGT para que comunique a los distintos organismos afectados la variación de la misma. No se puede solicitar una ruta y luego en el estudio específico presentar otra distinta.

3.5. Actividad de campo

Una vez que se conocen las dimensiones del transporte y la ruta, es OBLIGATORIO un recorrido de la misma por el redactor del estudio, que deberá ir acompañado por personal de la empresa transportista o con la empresa encargada del mantenimiento de la vía, con un vehículo preparado a tal efecto para poder estacionar en los puntos críticos y, tomar las mediciones de anchura o gálibos que considere puedan ser objeto de estudio. Comprobar el estado de la señalización que pueda verse afectada y la posibilidad de su retirada y nueva colocación. Se deberá de hacer un reportaje fotográfico de cada punto de estudio y a lo largo del recorrido y además se comprobará la no existencia de obras puntuales que imposibiliten el paso del transporte.

3.6. Criterios para el estudio específico de las maniobras especiales

Con los datos tomados en campo, se comenzará a preparar el estudio específico en la oficina técnica para ello son necesarios los siguientes datos

-Cartografía del itinerario.

-Ortofotos del itineriro.

-Fotografías del recorrido en sus puntos críticos.

-Diseño del vehículo en planta y alzado

Para disponer de estos datos generalmente se recurre a la propia cartografía que disponen las diferentes Comunidades Autónomas o el propio Ministerio de Fomento, el problema es que en muchos casos están obsoletas y es necesario dibujar sobre ellas las variaciones existentes en base a las medidas realizadas con la toma de datos en campo.

En cuanto al diseño del vehículo existen programas informáticos comerciales que admiten diferentes tipos de cabezas tractoras y semirremolques, el problema es que son todos americanos y se rigen por su propia normativa, American Association of State Highway and Transportation (AASTHO).

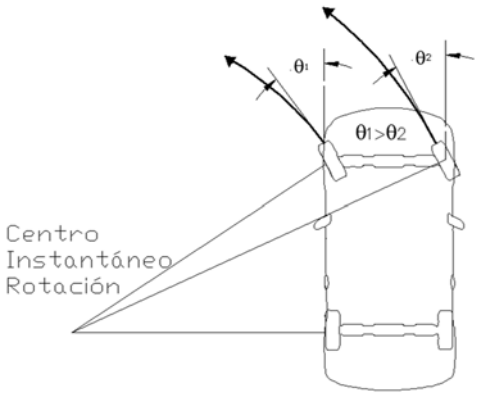
Otra forma de acometer el problema es mediante el uso de programas de cálculo que generen matrices de giro dando el resultado de las posiciones sucesivas del vehículo.

4 Maniobras a baja velocidad

Se analiza a continuación como se estudia una maniobra de un vehículo articulado para que el proyectista pueda optimizar y obtener las posiciones del vehículo al maniobrar programar el resultado en el caso que no quiera utilizar programas comerciales.

Se realizan las siguientes abstracciones cinemáticas y dinámicas. Los giros son curvas prácticamente planas por lo que se trabaja en 2D, cuyo centro instantáneo de rotación (CIR) en cada punto, correspondiente de la trayectoria para un instante t de tiempo, se puede definir como el centro de la circunferencia osculatriz. Se recoge en la Figura 1 un ejemplo del cálculo del centro instantáneo de rotación para un instante t. Los valores que definen el CIR son por tanto la batalla (distancia entre ejes) y el ángulo de giro de las ruedas directoras.

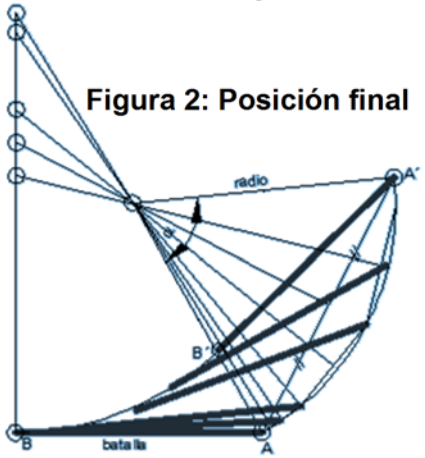
Figura 1: CIR



El ángulo de giro de cada rueda es distinto debido a que realizan diferentes trayectorias. Para una cabeza tractora convencional el giro máximo de las ruedas directrices está comprendido entre 40 y 55 grados sexagesimales.

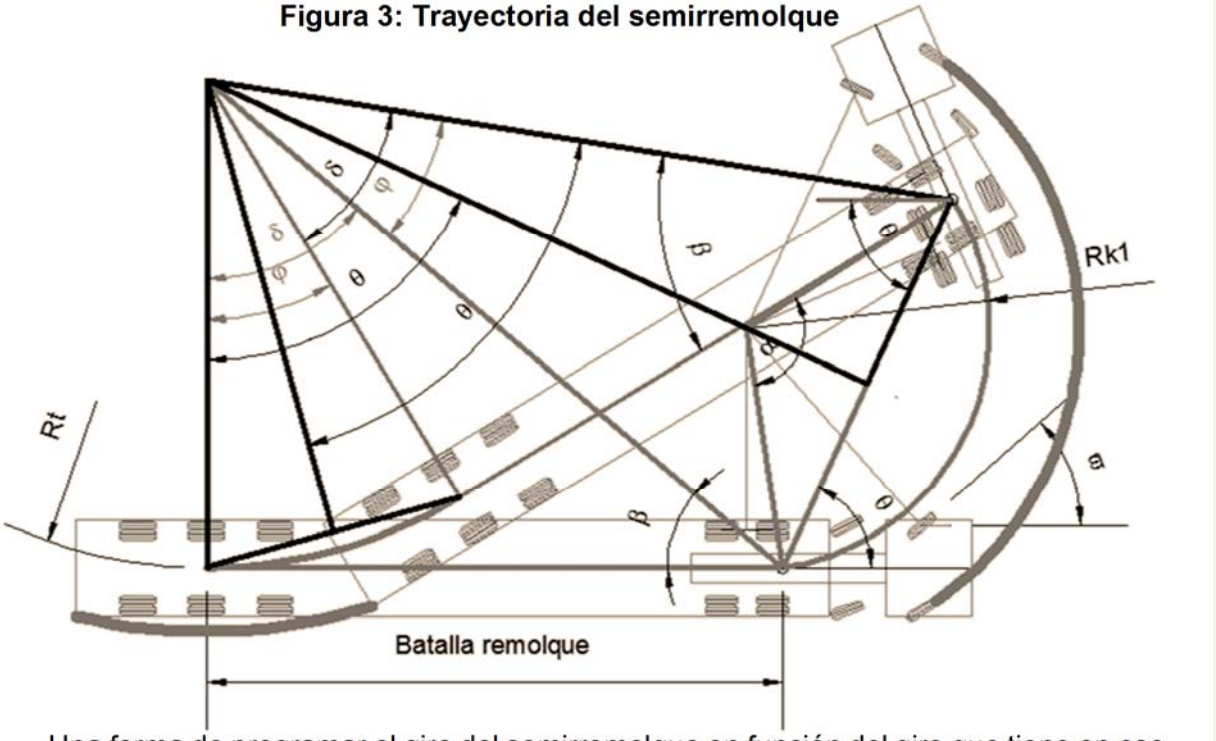
En la Figura 2, se puede observar que si se va moviendo el vehículo para varios instantes *t* de tiempo, podemos conseguir la posición inicial y final y poder trazar la trayectoria que describe el vehículo y la envolvente de su giro añadiendo la carrocería.

Figura 2: Posición final



Para el semirremolque, Figura 3, la situación es más complicada, debido a que está unido a la cabeza tractora a través de la 5ª rueda o "kingpin" y la distancia constante y limitada por el ángulo máximo que pueden formar ambos (tractor y semirremolque). Se trabaja calculando un eje trasero equivalente.

Figura 3: Trayectoria del semirremolque



Una forma de programar el giro del semirremolque en función del giro que tiene en ese mismo instante *t* de tiempo las ruedas directrices de la cabeza tractora es mediante la programación de **una curva de persecución** en la cual la distancia entre perseguido y perseguidor es constante e igual a la batalla del semirremolque.

En el estudio de la curvatura, la ecuación diferencial que define el movimiento de la cabeza tractora es:

$$\frac{d\alpha}{dS} = \frac{1}{r} \tag{1}$$

La ecuación diferencial que define el movimiento del semirremolque, estará relacionada con esta y queda definida por la ecuación 2.

$$\frac{d\varphi}{dSt} = \frac{1}{Rt} \tag{2}$$

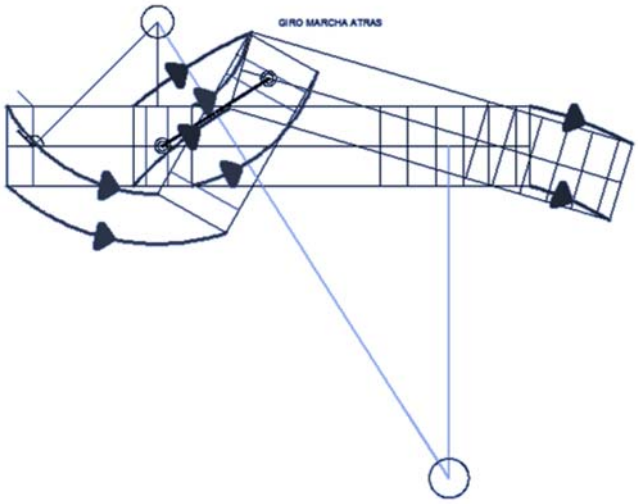
Uniendo la ecuación 1 y 2, obtendremos una relación entre la trayectoria de la cabeza tractora y el semirremolque

$$\frac{d\varphi}{dSt} = \frac{1}{r} \pm \frac{sen\varphi}{batalla\ semiremolque} \tag{3}$$

Recogidos en la Figura 3, donde *S* es la trayectoria, *r* el radio de giro y α el ángulo en radianes para la cabeza tractora y, *St, Rt* y φ para el semirremolque,

Para la trayectoria que describe el semirremolque se utilizará el signo negativo cuando es marcha adelante y el signo positivo cuando es marcha atrás, Figura 4. Por tanto el movimiento no es el mismo, de ahí la gran dificultad para volver a la posición original en caso de no ser realizada la maniobra correctamente en un primer intento.

Figura 4: Giro marcha atrás



Si se estudia el movimiento del semirremolque como una curva de persecución en la cual el eje equivalente persigue a la 5ª rueda o *"kingpin"*, cuando esta realizar un movimiento circular, las ecuaciones que se obtienen son las siguientes:

$$X_{n+1} = X_n + k\sqrt{(p_{n+1} - p_n)^2 + (q_{n+1} - q_n)^2} * \frac{p_n - X_n}{\sqrt{(p_n - X_n)^2 + (q_n - Y_n)^2}} \quad (4)$$

$$Y_{n+1} = Y_n + k\sqrt{(p_{n+1} - p_n)^2 + (q_{n+1} - q_n)^2} * \frac{q_n - Y_n}{\sqrt{(p_n - X_n)^2 + (q_n - Y_n)^2}}$$

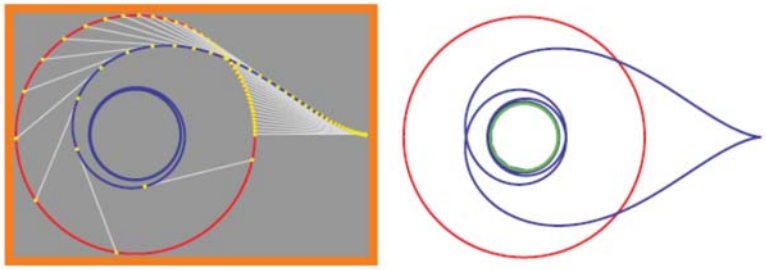
En donde el valor k es la relación de velocidades entre perseguido y perseguidor, en este caso es igual a 1, $\boldsymbol{X_i}$ e $\boldsymbol{Y_i}$ son las posiciones inicial y final, en coordenadas cartesianas del eje equivalente trasero y $\mathbf{p_i}$, $\mathbf{q_i}$ es la trayectoria que describe el *"kingpin"*, un movimiento circular.

$$\frac{1}{\sqrt{(p_n - X_n)^2 + (q_n - Y_n)^2}} \quad (5)$$

El valor de la ecuación (5) se puede sustituir por una constante definida como la distancia entre el kingpin y el eje equivalente trasero, valor conocido como batalla del semirremolque.

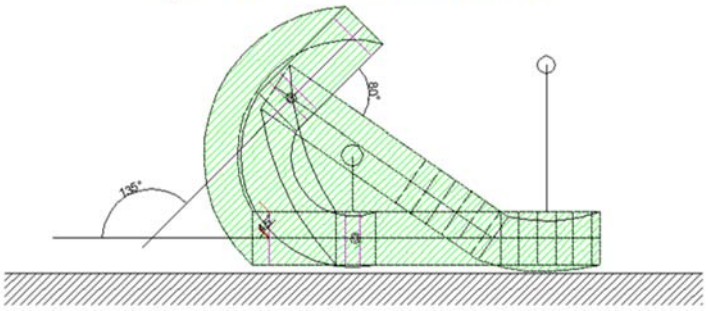
En la Figura 5, se muestran las distintas trayectorias que se generan en función del valor de la batalla del semirremolque. La curva generada por la trayectoria del semirremolque se denomina tractriz.

Figura 5: Trayectorias del semirremolque



Para vehículos de gran longitud, es interesante es estudio de la desviación trasera que sufre el semirremolque al efectuar el giro, cuya traducción es *"swing out"*. Figura 6.

Figura 6: Desviación trasera



5 Resultados y desarrollos futuros

5.1. Resultados

Una vez localizados los puntos críticos más característicos objeto del estudio específico, se deberán de plantear las soluciones y viabilidad de paso del transporte justificando de manera documental según los cálculos efectuados y la propia experiencia del proyectista.

En la Figura 7 se recoge el diseño de un transporte con carga, en planta y alzado, necesario para poder estudiar posteriormente los distintos puntos críticos.

En algunos casos, será necesario la retirada de la señalización vertical existe, se sabrá una vez recorrido el itinerario del transporte, en otros la viabilidad de la maniobra será en planta, Figura 8. En otros casos será en alzado, Figura 9.

Cuando el problema es debido a la masa máxima autorizada habrá que re-cálcular las estructuras y determinar que está no se verá afectada al paso del transporte.

Figura 7: Ejemplo diseño del transporte especial y la carga

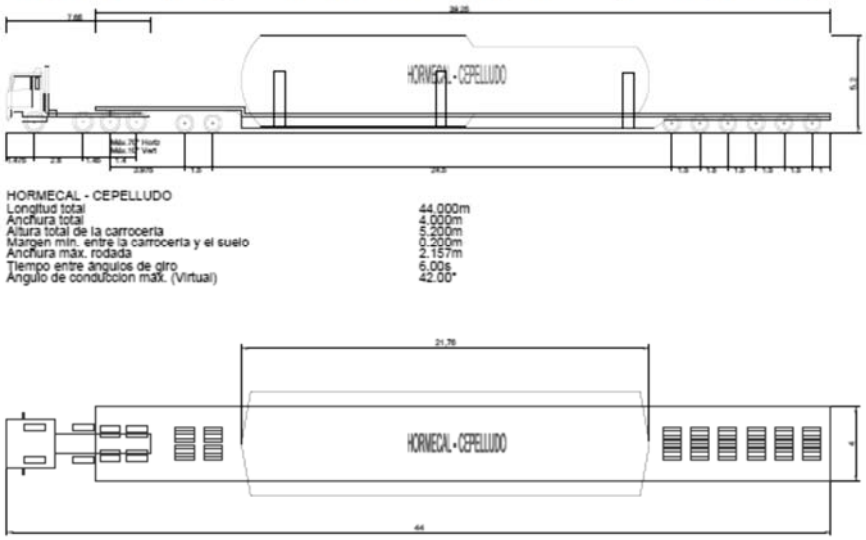
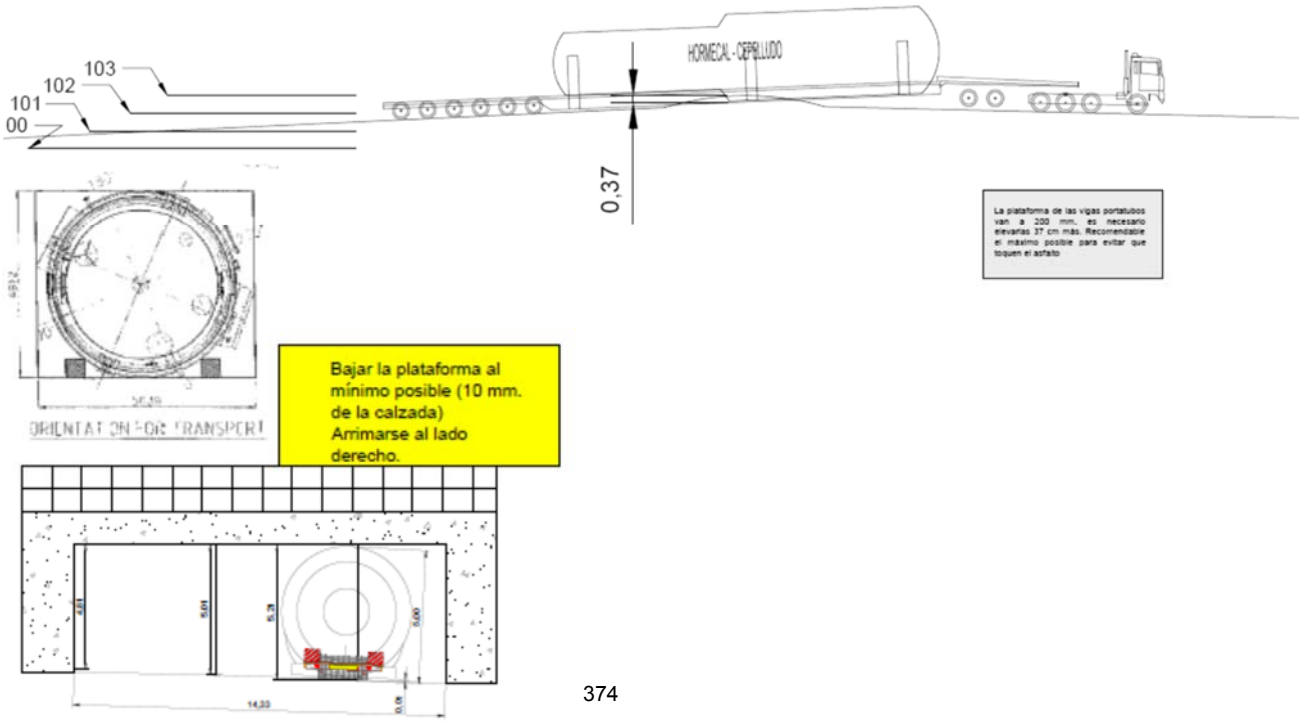


Figura 8: Ejemplo viabilidad de paso en planta

Figura 9: Ejemplo viabilidad de paso en alzado



5.2. Desarrollos futuros

El conjunto formado por la plataforma y una o varias cabezas tractoras es un vehículo tecnológicamente complejo que en un futuro no muy lejano podrá tener programadas previamente maniobras específicas para que se realicen de forma autónoma, y no sea necesario un desarrollo previo de los giros o bien in situ con sensores ópticos y aplicaciones informáticas que posibiliten la maniobra como existe en vehículos convencionales para realizar un estacionamiento en la vía pública.

Otro aspecto interesante es dotar de sensores a la plataforma y, mediante un programa informático poder revertir la maniobra macha atrás de manera automática para volver a la posición original de partida, lo que facilitaría en gran medida la operatividad del conductor que tendría un control total sobre la plataforma y en caso de ser necesario repetir la maniobra.

6 Conclusiones

Se realiza una propuesta metodológica para la resolución de problemas que se plantean actualmente para el transporte de grandes mercancías por carretera. Estos transportes se hacen en horario nocturno, con vehículos piloto y escolta, además de los inconvenientes que se ocasionan al usuario de las vías. Es muy importante que el estudio de viabilidad recoja los problemas con los que se encontrará el transporte junto con las soluciones previstas en cada caso, tanto de giros como señalización, cableado, etc.

Dado que uno de los problemas principales es el trazado de las trayectorias curvas tanto horizontales como verticales (cambios de rasante) se propone para las horizontales la aplicación de curvas de persecución de modo que se resuelvan analíticamente de forma más estricta optimizando la precisión del trazado que el vehículo realizará sobre la calzada.

Para las trayectorias verticales, se presentan mejoras para resolver dichas situacioens en las que se puedan controlar cuando se produce un contacto con el pavimento.

7 Referencias

Amit Ailon, Nadav Berman, Shai Arogeti, (2005). On controllability and trajectory tracking of a kinematic vehicle model, *Automatica*, *41*, 889-896.

Antos P, Ambrósio J., (2004). A Control Strategy for Vehicle Trajectory Tracking Using Multibody Models.

Caracciolo L, De Luca A, Iannitti S., (1999, Mayo). Trajectory Tracking Control of a Four-Wheel Differentially Driven Mobile Robot. *IEEE, 2632-2638*

EEUU, AASHTO (2001) A policy on geometric design of Highways and Streets.

España. Orden 3.1 I.C. Trazado, de 27 diciembre de 1999 por la que se aprueba la norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras.

Gómez-Bravo F, Cuesta F y Ollero A. (2000). Planificación de Aparcamiento Paralelo y diagonal Usando Curvas Beta-Splines. *Jornadas de Automática*. *Santander, España*.

Gómez-Bravo F, Cuesta F y Ollero A. (2001). Planificación de Maniobras Restringidas en Vehículos con Remolque. *Jornadas de Automática. Barcelona, España.*

01-038

STUDY ON THE APPLICABILITY OF METHODS OF COLLECTIVE FINANCING FOR PROJECTS (CROWDFUNDING)

Fernández Blanco, Aladino; Rodríguez Montequín, Vicente; Alvarez Cabal, Valeriano; Villanueva Balsera, Joaquín
Universidad de Oviedo

During the last years, new alternatives to the traditional mechanisms of project financing have appeared. One of the most successful methods is the so called 'crowdfunding'. This term involves very diverse phenomena, all of them based on the donation of few amounts of money from a crowd of people, using nothing else than a virtual platform and its managers as intermediaries. The term 'crowdfunding' involves several types of financing. Generally speaking, 'crowdfunding' is used for donations, loans, reward or investment, depending on the remuneration the funder receives. On the other hand, there are many other variables to be taken into consideration in order to decide if this method is applicable to finance a project. In this paper, an analysis is made on the main features of these methods of project financing and they are compared to other systems of project financing. The final result is a decision-making system in order to choose on the most appropriate financing method according to the main characteristics of the project and its environment. Although crowdfunding methods are usually applicable to a wide range of initiatives (music, films, …) the aim of this study is mainly focused on innovative projects, the so called startups.

Keywords: *project finance;crowdfunding;startups*

ESTUDIO DE APLICABILIDAD DE MÉTODOS DE FINANCIACIÓN COLECTIVA DE PROYECTOS (CROWDFUNDING)

En los últimos años han aparecido nuevas alternativas a los mecanismos tradicionales para la financiación de proyectos. Una de las más exitosas es la conocida como "crowdfunding". Este término agrupa fenómenos muy diversos basados en la aportación de pequeñas cantidades de dinero por parte de una multitud, sin más intermediarios que una plataforma virtual y sus gestores. El término "crowdfunding" engloba varios tipos de financiación. En general se suele hablar de "crowdfunding" de donaciones, préstamos, recompensa o inversión, en función de la retribución a obtener por el financiador. Por otro lado existen muchas variables que es necesario tener en cuenta a la hora de determinar si es aplicable o no a la financiación de un proyecto. En este trabajo se realiza un análisis de las características principales de estos métodos de financiación y se compara con otros sistemas de financiación de proyectos. El resultado final es un sistema de decisión para elegir el método de financiación más adecuado en función de las características del proyecto y del entorno. Aunque los sistemas crowdfunding se emplean para financiar muy variados tipos de iniciativas (música, películas, …), el objeto del trabajo se centra principalmente las denominadas "startups" o iniciativas innovadoras.

Palabras clave: *Financiación de proyectos;crowdfunding;startups*

Correspondencia: Vicente Rodríguez Montequín montequi@api.uniovi.es

1. Introducción

Hoy en día disponer de financiación para una idea o proyecto nuevo, no es fácil. Las entidades bancarias, lejos de facilitar la obtención de crédito, usan sus herramientas administrativas para asegurarse que detrás de ese proyecto, haya un riesgo mínimo y así no agravar el problema de falta de liquidez durante el periodo de crisis mundial que vivimos. Es por ello, que los proyectos o ideas de carácter innovador sean muy difíciles de financiar, ya que su baja credibilidad deja a la vista la probabilidad de no obtener retorno de la inversión. Debido a ello están adquiriendo más auge métodos de financiación alternativos, como puede ser el caso del crowdfunding o financiación colectiva. El término deriva en cierto modo del anglicismo acuñado por Jeff Howe como “crowdfunding”, conformado por las palabras “crowd-“ (multitud) y “-sourcing” (fuente), como herramienta abierta a la multitud para compartir ideas, soluciones o información. En el modelo crowdsourcing, el inversor es el que oferta su problema para que una cantidad de personas de número indeterminado y generalmente muy grande (multitud), realice sus propuestas a la solución. A partir de este modelo Howe propone una nueva vía de financiación consistente en hacer un cambio de perspectiva, de tal manera, que no sea el inversor el que porte el problema buscando solución, sino que, un proyecto o idea, en vías de llevarse a cabo, sea expuesto a una gran multitud a través de internet para buscar financiación. Esta nueva forma de financiación basada en hacer públicas las intenciones financieras a una multitud, se aparta totalmente del anterior concepto de financiación a través de una entidad bancaria, en el que un número limitado de personas deciden si el proyecto puede ser viable o no. Tras el modelo de crowdsourcing, el crowdfunding es otro anglicismo de origen similar cuya etimología proviene de las palabras: “crowd-” (multitud) y “-funding”, (financiación), traducido al español se entiende por: micro mecenazgo, financiación colectiva o financiación en masa. Podríamos definir el crowdfunding como una forma de financiación de ideas o proyectos, nacida para acoger aquellos con difícil financiación por su carácter claramente innovador, en el que cualquier persona puede hacer una aportación económica para obtener una recompensa o simplemente y de manera altruista por la satisfacción de haber colaborado en un proyecto.

Schwienbacher y Larralde (2010) definen el crowdfunding como: ”Una convocatoria abierta, fundamentalmente a través de Internet, para la provisión de recursos financieros , ya sea en forma de donación o a cambio de algún tipo de recompensa y/o los derechos de voto con el fin de apoyar las iniciativas para propósitos específicos”. Destaca tanto en esta como en otras definiciones la relación que se establece entre el método e internet. Y es que realmente la idea en la que se apoya el método es muy antigua (la construcción del pedestal para la Estatua de la Libertad se financió por ejemplo de esta forma), pero que se ve claramente potenciada por la utilización de internet y las redes sociales. Y es que está basado en la aportación de pequeñas cantidades de dinero por parte de una multitud, sin más intermediarios que una plataforma virtual y sus gestores. La plataforma virtual dota a la vez al proyecto de visibilidad y difusión. Con este modelo, un empresario puede plantearse la financiación externa de su proyecto a través de una convocatoria abierta en internet, donde cada individuo dona una cantidad pequeña de dinero, en lugar de solicitar una cantidad grande de dinero a un grupo más o menos pequeño de inversores sofisticados (Belleflamme, Lambert & Schwienbacher, 2014).

En el año 2006 Jeff Howe acuñó por primera vez el término de “crowdfunding” en su blog Fundavlog, un blog creado para la realización de videos y basado en la reciprocidad, transparencia, intereses compartidos y sobre todo en la financiación de la multitud. En 2008 se crea en San Francisco Indiegogo la primera Web con la que se puede financiar proyectos mediante crowdfunding, aunque no fue hasta abril de 2009 cuando nace la plataforma Kickstarter que da popularidad a este fenómeno, gracias a sus proyectos más exitosos.

2. Tipos de crowdfunding

Los tipos de crowdfunding actuales están establecidos atendiendo a criterios basados en la futura recompensa que puede obtener el financiador si la recaudación es exitosa. Independientemente del tipo de crowdfunding elegido, el posible beneficio que puede obtener un inversor/financiador ha de ser lo más atractivo posible pero cuidando no pasar por alto el fin principal, que no es otro que obtener la financiación necesaria para desarrollar su actividad. El impulsor del proyecto deberá elegir un ratio riesgo/beneficio lo suficientemente llamativo de cara a la multitud como para que una persona se vea interesada y pueda plantearse la inversión o financiación, es por ello la elevada importancia que tiene cuidar en todos los aspectos a la multitud sobre todo en este tipo de financiación.

Aunque muchos autores difieren en los tipos de crowdfunding existentes, la mayoría defienden cuatro modelos, cada uno de ellos cuatro basados en la retribución a obtener por el financiador y son: la donación, el préstamo, la recompensa o premio y la inversión (Rodríguez, 2013). Dentro de estos modelos se puede encuadrar cualquier tipo de micromecenazgo, cada uno con un enfoque diferente, ya que, no siempre comparten la misma perspectiva jurídica, función económica, modelo empresarial o la motivación social que subyace del cada uno de ellos (crowdsourcing.org, 2014).

La tabla 1 resume las características principales de cada uno de los cuatro tipos, que serán explicados en más detalle a continuación:

Tabla 1. Características de los distintos tipos de crowdfunding

Tipo	Características	Participantes	Popularidad	Ejemplo de plataformas
Crowdfunding de Donación o Donation-Based	Basado en donaciones a fondo perdido	Personas físicas, ONG's o cualquier entidad	Alta	www.migranodearena.org
Crowdfunding de Recompensa o Reward-Based	Premio o recompensa, no necesariamente financiera, que reciben los usuarios al contribuir en la financiación de un proyecto específico con aportaciones económicas	Personas físicas, grupos o PYMES	Media	www.lanzanos.com www.kickstarter.com www.indigogo.com
Crowdfunding de Préstamo o Crowdlending	Los mecenas aportan una cantidad de dinero que debe ser devuelta con incentivos	Empresas y PYMES	Baja	www.arboribus.com

Crowdfunding De Inversión o Equity Crowdfunding	Empresario que quiere lanzar un producto, servicio o idea nueva y que además está dispuesto a aumentar parte del capital mediante pequeñas aportaciones de la multitud, cediendo a cambio parte de los derechos sobre la empresa	Start-ups – PYMES	Baja	www.sociosinversores.es www.thecrowdangel.com

2.1 Crowdfunding de Donación o Donation-Based

Basado en donaciones, es para muchos autores la primera forma de crowdfunding que se realizó. Comenzó dirigido a facilitar la recaudación de fondos para proyectos de tipo social y cultural por la naturaleza colaborativa de los financiadores.

Los usuarios aportan donaciones parar apoyar sin ánimo de lucro proyectos específicos de ayuda social, estos proyectos están generalmente liderados por organizaciones, como ONGs, asociaciones o individuos (crowdsourcing.org, 2013).

Su éxito a la hora de reforzar el compromiso de los donantes, incentivar las donaciones reiteradas y de mayor valor y consolidar una base idónea para construir relaciones de confianza estables en el tiempo radica en que los proyectos son de características específicas y existe la posibilidad de que a través de la plataforma de crowdfunding los donantes reciban información actualizada y detallada sobre el estado de desarrollo del proyecto, además ofrece una capacidad de interacción entre usuarios, promotores e incluso con los beneficiarios del proyecto, por último ofrecen oportunidades de seguimiento en tiempo real que se utilizan soluciones tecnológicas incorporadas en la plataforma (Rodríguez, 2013) (Labarta, 2014a).

En las campañas de donación, es muy frecuente que los donantes reciban un regalo simbólico por haber participado, normalmente corresponde a un objeto publicitario de poco valor, con propaganda inscrita y haciendo mención al fin que va dirigido, regalos frecuentes son: Justificante de contribución, bolígrafos, gorras o pins.

No se debe confundir este modelo de crowdfunding con el de recompensa que veremos a continuación, ya que el fin principal del financiador o mecenas es la satisfacción personal de haber realizado una donación para llevar a cabo un proyecto, no la obtención de la recompensa material.

Por otro lado, para las campañas de donación de fin social o cultural es muy frecuente que el impulsor reciba la cantidad económica aportada por la multitud sin necesidad de alcanzar el total de presupuesto previsto.

2.2 Crowdfunding de Recompensa o Reward-Based

Este modelo se caracteriza por premio o recompensa que reciben los usuarios al contribuir en la financiación de un proyecto específico con aportaciones económicas. Estas

aportaciones son generalmente de valor variable y reducido. En la modalidad pura de este tipo de crowdfunding la recompensa no debe ser financiera.

Dentro de la categoría de crowdfunding de recompensa, se encuentran dos modelos que se diferencian por la relación entre la cuantía de la aportación y el valor relativo de la recompensa:

1. En el primer caso, el valor de la recompensa por la aportación es de tipo simbólico y no suele corresponderse en términos de precio con la cantidad aportada. No obstante, el incentivo que genera la motivación del aportante se encuentra en que la percepción del valor de la recompensa es muy superior a la cuantía aportada. Por ejemplo en la financiación de conciertos, obras de teatro o películas, se pueden ofrecer entradas VIP, encuentros con los artistas, copias firmadas, autógrafos, etc.
2. En el segundo caso, el valor de la recompensa si que se corresponde con el precio del producto o servicio que da el usuario. En este caso la relación entre el dador y el receptor es como un contrato de compraventa, de obra o de prestación de servicios en el que el aportante paga antes del precio convenido para que el promotor disponga de los fondos que precisa para desarrollar la actividad. Como elemento de atracción se suele recurrir a una rebaja del precio si se paga la aportación de forma anticipada, empleando así uno de los efectos propios de las llamadas “compras grupales o colaborativas”

La diferencia entre el primero y el segundo caso no siempre está clara, ya que además la relación entre la aportación y la recompensa va en función de: la precepción que el aportante tiene del valor de la recompensa sea real o simbólico y la precepción del promotor de que el valor de la contraprestación prevista sea de carácter obligatorio o de mera liberalidad (Rodríguez, 2013).

Es una de las modalidades más populares de crowdfunding, de hecho según un estudio, para atraer a un usuario a invertir en un proyecto u otro, depende en gran medida de los incentivos ofertados por la plataforma, siendo el incentivo tipo recompensa el más atrayente, por encima de otros como: donaciones, acciones, participaciones, etc. (da Cruz Matos, 2012)

Los criterios de éxito para recaudar cierta cantidad económica mediante el uso del crowdfunding son muy variados, de hecho, con la modalidad aquí estudiada, es posible e incluso habitual recurrir a ella cuando otros modelos han fracasado. Muchos de los proyectos que aparecen en campañas de crowdfunding han elegido este medio por ser el último mecanismo al que recurrir para obtener algún tipo de financiación. Este particular modo de financiación en masa, posee unas características distintas al resto de modelos presentados en este trabajo, sobre todo, de cara al tipo de motivación que es capaz de mover a una multitud de inversores para apoyar un proyecto, por esa razón, hay algunos aspectos determinantes que fundamentan la elección de un proyecto o producto a financiar, la mayoría de estos (propios del crowdfunding) responden a una persona que quiere satisfacer algún tipo de necesidad determinada como: Las ventajas de obtener un producto novedoso e innovador, la posibilidad de comprarlo a un precio inferior y antes de su presentación en el mercado o simplemente la oportunidad de haber colaborado durante el proceso.

2.3 Crowdfunding de Préstamo o Crowdlending

Esta modalidad está basada en recaudar fondos de la multitud de igual manera que las anteriores, pero esta vez, el fin no es obtener ningún tipo de recompensa que no sea económica, de esta manera el promotor de un proyecto puede ofertar una necesidad económica para llevar a cabo un proyecto, los mecenas aportarán una cantidad de dinero

que después de llevarse a cabo el proyecto será devuelta con incentivos, esta modalidad de préstamo de multitud o personas a empresa también se denomina como préstamos P2B, mientras que si se realiza de personas a particular, recibe la denominación de préstamo P2P.

Ambos modos están pendientes de regular mediante el Anteproyecto de Ley de Fomento de la Financiación empresarial (Proyecto de Ley 121/000119, 2015). Esta categoría de crowdfunding presenta diferentes formatos según la función desempeñada por el gestor de la plataforma y las condiciones económicas de los préstamos (Rodríguez, 2013):

1. Que el gestor de la plataforma actúe como un auténtico intermediario, recaudando las aportaciones de los prestamistas y devolviendo los préstamos en determinadas condiciones. al ser la financiación de esta forma, se necesitan una serie de regulaciones propias de instituciones financieras. Debido a estas regulaciones muchos autores no ven esta forma de financiación como crowdfunding de préstamo, si no como una modalidad de préstamo entre personas (préstamo P2P).
2. Que no exista intermediario, siendo una simple plataforma para la interacción directa entre prestamistas y prestatarios en la que la función del intermediario conocido como match-maker, es la de proporcionar a los usuarios acceso y uso del entorno electrónico. Este formato minimiza las consideraciones regulatorias y de supervisión, al contrario que el punto anterior.

También puede desarrollar diferentes modelos de negocios por las condiciones económicas de los préstamos y las motivaciones principales de los participantes (Rodríguez, 2013):

1. Fijar un tipo de interés en función del análisis de riesgo y viabilidad del proyecto a la hora de dar los préstamos, no intermediando bancos, lo cual es una ventaja.
2. O bien pueden inclinarse hacia modelos de social lending en los que la microfinanciación no necesite el pago de intereses, motivando a los prestamistas a apoyar proyectos en países en desarrollo o para proyectos de tipo social.

2.4 Crowdfunding de Inversión o Equity Crowdfunding

El equity crowdfunding o crowdfunding de inversión rompe con el modelo tradicional de recompensa al apoyar una campaña. Responde a un promotor o empresario que quiere lanzar un producto, servicio o idea nueva y que además está dispuesto a aumentar parte del capital mediante pequeñas aportaciones de la multitud, cediendo a cambio parte de los derechos sobre la empresa, aunque también es posible que el inversor busque algún privilegio sobre el producto fabricado.

Es un modelo muy cercano al Capital Riesgo (CR), aunque mucho menos restrictivo ya que el mecenas no tiene porqué ser un experto en la materia como sería en el caso del CR, por eso puede ser la opción ideal para aquellas empresas, que aun no dando beneficios por estar en fase inicial necesitan hacer una inversión, también para aquellos que no han podido acceder al CR porque la empresa está en fase demasiado temprana o llevan a cabo proyectos con alto nivel de riesgo (Collins & Pierrakis, 2012).

Basado en la participación en el capital de la sociedad promotora, el retorno se obtiene mediante beneficios del tipo de: derechos de voto, acciones o participaciones.

Esta contribución se trata como aportación de capital nuevo a la empresa, con lo que el que aporta el dinero se convierte en socio o accionista de la sociedad promotora del proyecto y tiene derecho a participar en las condiciones legales y estatutarias, recibiendo parte de las ganancias del proyecto.

Antes de iniciar el proceso, es necesario hacer un estudio de la cantidad de capital a financiar. Es muy importante que el posible financiador pueda obtener unas acciones o participaciones acordes con el capital de la empresa y que, además de asegurar que no son demasiado caras (sobrevaloración de la empresa), aporten la capacidad o beneficio suficiente al impulsor de la campaña sin dificultar la dirección de la empresa (Collins & Pierrakis, 2012).

Para prevenir el posible fraude, la mayoría de las plataformas de equity crowdfunding realizan un estudio de cada caso antes de publicarlo, normalmente es necesario aportar toda la documentación necesaria que haga las veces de "aval" para tener un mínimo de credibilidad.

Normalmente las plataformas establecen un sistema de "vales", cada uno con el mismo valor de tal manera que haya un precio mínimo para cada vale o participación, de esta manera un inversor puede invertir en varios proyectos, diversificando el riesgo.

Otra medida de protección adoptada por las plataformas es la recaudación tipo todo o nada, modalidad en las que sólo se hace entrega el dinero al portador del proyecto, si se llega a la cantidad estipulada previamente.

Los beneficios de este modelo de crowdfunding comparado con otros modelos hace que fluya una cantidad muy elevada de dinero, de ahí que su popularidad aumente día a día, hay que tener en cuenta los posibles cambios jurídicos y la reforma legislativa (Rodríguez, 2013), como el que concierne a este tipo de financiación pendiente de regulación mediante el Anteproyecto de Ley de Fomento de la Financiación empresarial (Proyecto de Ley 121/000119, 2015).

3. Regulación legislativa del crowdfunding

Surge en respuesta a la necesidad de regularización debida al crecimiento arrollador de las plataformas de Crowdfunding. La capacidad de captación de fondos que produce hace que cada vez sea más urgente disponer de normativa aplicable. Sobre todo para los modelos basados en participaciones de empresa equity crowdfunding y el crowdlending basado en préstamos. Actualmente los países con normativas de crowdfunding más avanzadas son EE UU, Reino Unido, Alemania o Francia, tal como refleja el Diario Cinco Días en su edición del 3 de marzo de 2014.

EEUU tiene el mayor mercado mundial de Crowdfunding, y por ello, el escenario legislativo se encuentra en un nivel diferente al de la Unión Europea.

La regulación del mercado americano se hace mediante la Jumpstart Our Business Startup Act (Pongamos en marcha nuestras empresas Start-Ups) también conocida como JOBS Act. Aprobada el 5 de Abril del año 2012 y resultado de la necesidad de promover las plataformas Web y facilitar su crecimiento (JOBSA, 2012). La JOBS Act. dedica un apartado al crowdfunding (Título III, sección 301 a 305), denominado Capital Raising Online.

En cuanto a la legislación comunitaria europea, el primer texto legislativo en el que se recogen tres principios fundamentales del derecho que rigen el comercio electrónico, es la ley CNUDMI de 1996 (Ley Modelo de la CNUDMI, 1999), con estos principios se consigue que las operaciones mercantiles que se llevan a cabo a través del Crowdfunding a nivel mundial sean seguras jurídicamente.

En la Unión Europea, la Directiva 2000/31/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a determinados aspectos jurídicos de los servicios de la sociedad de la información, en particular el comercio electrónico en el mercado interior (Directiva sobre el comercio electrónico) otorga seguridad jurídica a las operaciones de comercio electrónico entre los Estados miembros, pudiendo aplicarse a aquellos proyectos empresariales de las

plataformas establecidas la UE (Unión Europea), esta directiva ha sido transpuesta a cada estado miembro, junto a esta directiva, también está la directiva 2004/39/CE sobre Mercados de Carácter Financiero, en la que se incluyen las operaciones de crowdfunding que usan instrumentos financieros para proveer el retorno de la inversión.

Actualmente no existe ninguna norma de carácter transnacional que regule el crowdfunding, por ello la Comisión Europea, emitió una consulta pública el pasado 3 de octubre de 2013 para decidir se legislaba esta materia. Las respuestas salieron a la luz el pasado mes de marzo de 2014, se pueden consultar en la página Web de la Unión Europea. La comisión ha concluido de esta manera que de momento no va a entrar a regular este fenómeno hasta ver cómo se sigue desarrollando en el mercado (Labarta, 2014b). Ante esta ausencia de normativa regulatoria Europea, se debe acudir a las normas que regulen el comercio electrónico, que son las que regulan las operaciones de crowdfunding que se llevan a cabo a través de las plataformas electrónicas (Labarta, 2014a).

A nivel nacional, el pasado 28 de febrero de 2014, se presentó desde el ministerio de Economía y Competitividad al Consejo de Ministros, el Anteproyecto de Ley de Fomento de la Financiación empresarial (Proyecto de Ley 121/000119, 2015). La futura Ley aspira a ser el marco jurídico que incentive la inversión de carácter privado mediante plataformas tanto en la modalidad de préstamo (crowdlending), como en la de aportación de capital (equity crowdfunding) (spaincrowdfunding.org, 2014). Este anteproyecto obligara a las plataformas de equity crowdfunding a registrarse en la Comisión Nacional de Mercado de Valores y a las de crowdlending en el banco de España. El anteproyecto establece unos 3.000 euros de limitación máxima de inversión en un proyecto empresarial y de 6000 euros en más de un proyecto empresarial de la misma plataforma durante un periodo de 12 meses. Siendo el objetivo de financiación de un mismo proyecto empresarial no superior a 1.000.000 de euros (Gracia, 2014a). Desde su presentación, la Ley ha continuado su tramitación parlamentaria, habiendo sido aprobada el pasado 16 de abril de 2015.

4. Metodología seguida

Como resultado principal de este trabajo se presenta un flujograma que configura un sistema de decisión para determinar el método de financiación más adecuado para las distintas casuísticas que se pueden tener. Para el diseño del flujograma se adopta una estrategia top-down que da lugar a un árbol de decisión binario. Las variables sobre las que se instrumenta el modelo reflejan aspectos relativos a la naturaleza del proyecto (social, empresarial, proyecto personal, etc), al grado de definición del proyecto, al nivel de riesgo, al grado de urgencia en llevarlo a cabo, al periodo de retorno y a la estrategia empresarial (aceptación de participaciones, etc). Para el diagrama se utiliza la notación estandarizada de símbolos, concretamente se emplean rombos para reflejar los aspectos sobre los que tomar decisiones y cajas para reflejar las distintas acciones. Para la construcción del árbol se recurre a juicio de expertos para determinar la decisión más adecuada para cada caso.

5. Sistema de decisión

La Figura 1 muestra el flujograma propuesto como modelo de decisión. Se trata de un árbol de decisión binario situando en la raíz la decisión de financiar un proyecto empresarial o un proyecto social. A partir de ahí se van desencadenando las distintas ramas para reflejar la decisión más adecuada en cuanto a las distintas variables indicadas en la metodología. En rojo aparecen resaltadas las modalidades de crowdfunding objeto central de este estudio. Con motivo de facilitar la comprensión del flujograma se han obviado metodologías que se suponen básicas antes de elegir el mejor modo de financiación, como es el caso de contar con los recursos propios o ajenos y comprobar la viabilidad de obtener una ayudas o subvención antes de intentarlo por otras vías que conlleven intereses y deuda. También los

casos tan comunes de ayuda en el sector audiovisual como el Product Placement o el Branded Content se han dejado a un lado para la elección de alternativas por considerarse ayudas básicas para este tipo de proyectos.

Desde el punto de vista general y de cara a obtener financiación para un proyecto nuevo o con un factor de innovación importante, no se puede establecer un modelo de financiación concreto y “a priori”, ya que la gran diversidad de modelos de financiación existentes invita a detenerse y realizar un estudio de viabilidad financiera más definido. Aunque queda claro que para que un proyecto sea crowdfunded ha de tener un alto nivel de riesgo puesto que de otro modo se acudiría a fuentes tradicionales de financiación.

Si partimos de un proyecto o servicio innovador, tomándolo como un primer paso que permita llegar al producto, lo aconsejable en la mayoría de los casos es comenzar por los medios de financiación con menos comisiones e intereses, por ello, contar con ayudas y subvenciones puede ser un buen escalón de entrada, así como presentar dicho proyecto a un concurso de emprendimiento, ya que estos mecanismos a “fondo perdido”, permiten sin mucho esfuerzo aumentar la posibilidad de éxito gracias a las facilidades para comenzar un proyecto sin deuda.

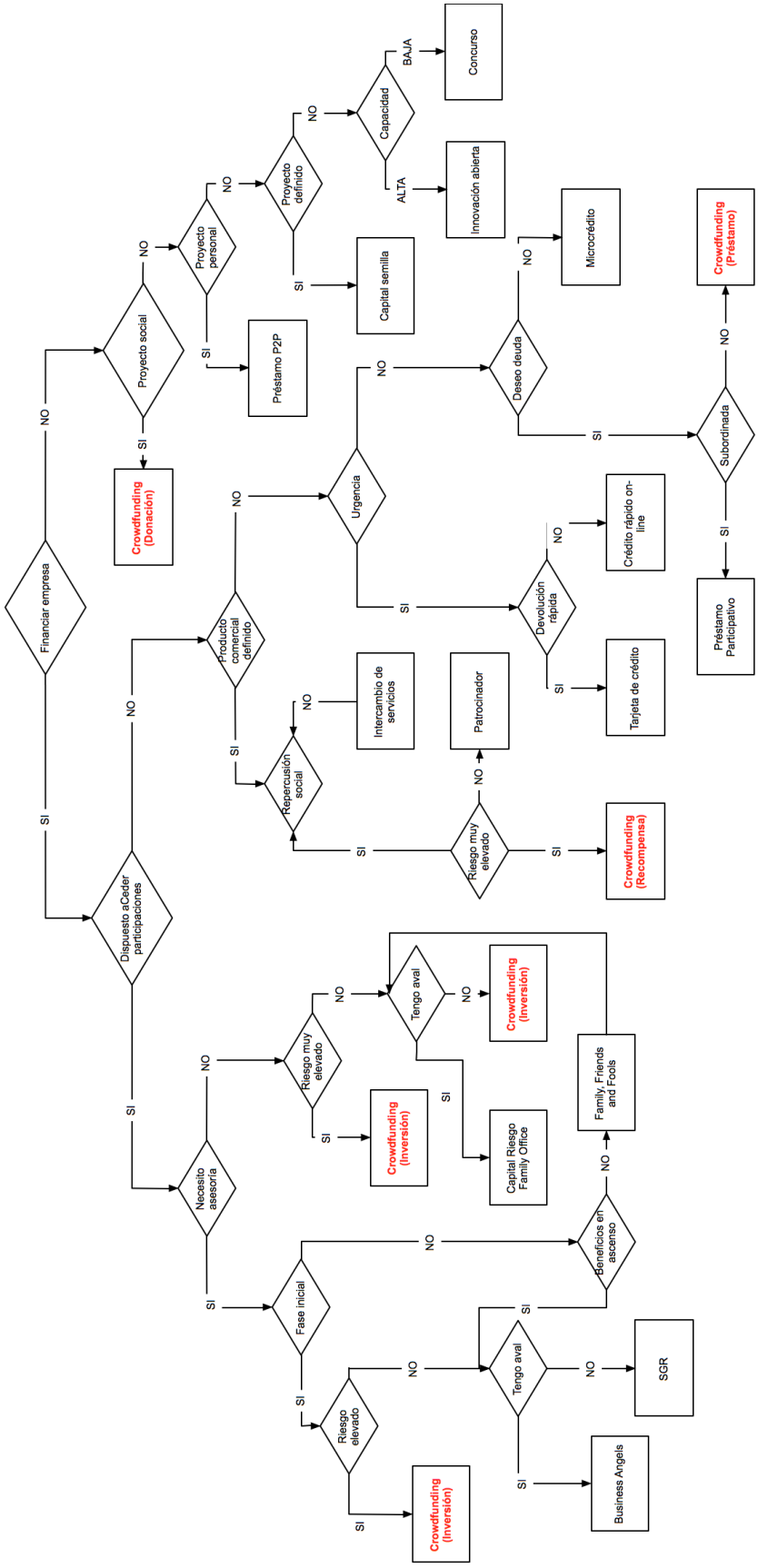
Si el proyecto está perfectamente definido en alcance con un límite claro, el tamaño de las participaciones individuales ha de elegirse de tal manera, que se priorice la participación de pequeños inversores antes que los grandes, ya que considerando un proyecto de alto riesgo, no tiene sentido que se realicen aportaciones de elevada cantidad. Sería interesante de cara a futuras investigaciones realizar un modelo que permita conocer la cuantía de las participaciones en función del tipo de proyecto y del riesgo percibido.

El modelo propuesto divide los proyectos en dos grandes grupos, atendiendo a la raíz del árbol de decisión: proyectos empresariales y proyectos no empresariales.

Dentro de la rama de proyectos empresariales, un punto de decisión crítico es si se está dispuesto a ceder participaciones o no. En caso afirmativo, las distintas ramas de decisión disciernen entre la aplicación de modelos de Crowdfunding de Inversión respecto a otro tipo de métodos de financiación (Business Angels, Sistemas de Capital Riesgo, Sociedades de Garantía Recíproca o el sistema conocido como “Family, Friends and Fools”). En caso de no estar dispuesto a ceder participaciones, el modelo de decisión discierne entre los métodos Crowdfunding de recompensa y préstamo frente a mecanismos como la obtención de distintos tipos de créditos.

En el caso de proyectos no empresariales, el modelo refleja que los métodos de financiación basados en crowdfunding sólo serían aplicables en el caso de proyectos sociales, siendo el modelo más adecuado en este caso el de donación, sugiriendo que para otro tipo de proyectos sería necesario recurrir a otros mecanismos como pueden ser los préstamos P2P, capital semilla, etc.

Figura 1 Sistema de decisión para elegir el método de financiación más adecuado en función de las características del proyecto y del entorno



6. Conclusiones

El flujograma presentado sirve de guía para decidir el tipo de financiación más conveniente en función de las características del proyecto y el entorno. Sin embargo hay que tener presente que no se puede establecer una regla y un modelo de finaciación "a priori", ya que la gran diversidad de modelos financieros existentes y la intangibilidad de las variables que participan en el criterio de decisión obliga a realizar un estudio específico. El modelo propuesto pretende servir de guía a la hora de comparar las distintas estrategias de financiación a seguir. El modelo configura un árbol de decisión que divide en la raíz entre proyectos empresariales y no empresariales. El modelo aportado es novedoso en cuanto a la relación que hace entre los distintos factores que incluye: grado de definición del proyecto, al nivel de riesgo, al grado de urgencia en llevarlo a cabo, al periodo de retorno y a la estrategia empresarial (aceptación de participaciones, etc).

Bibliografía

"2013CF CROWDFUNDING Industry report". Página Web www.crowdfunding.org. http://research.crowdsourcing.org/2013cf-crowdfunding-industry-report. (Consultada el 20/4/2015)

"Jumpstart Our Business Startups Act''.One Hundred Twelfth Congress of the United States of America at the second session. 2012

Asociación Española de Crowdfunding | Nota de Prensa sobre Anteproyecto de Ley – 16 mayo 2014. (s. f.). Recuperado a partir de http://web.spaincrowdfunding.org/nota-de-prensa-sobre-anteproyecto-de-ley-16-mayo-2014/ (Consultada el 29/05/2014)

Belleflamme, P., Lambert, T., & Schwienbacher, A. (2014). Crowdfunding: Tapping the right crowd. Journal of Business Venturing, 29(5), 585-609.

CincoDias, E. (2014, marzo 3). Las empresas de «crowdfunding» reclaman una regulación menos restrictiva. Recuperado 22 de mayo de 2015, a partir de http://cincodias.com/cincodias/2014/03/03/tecnologia/1393877832_149073.html

Collins, L., & Pierrakis, Y. (2012). The venture crowd: crowdfunding equity investments into business.

da Cruz Matos, H. N. F. (2012). Crowdfunding (Doctoral dissertation, Universidade Católica Portuguesa).

Labarta, C. G., & Abogados, É. (2014). Presente y futuro del crowdfunding como fuente de financiación de proyectos empresariales. Revista Española de Capital Riesgo, (1), 03-19.

Labarta, C. G., Crowdfunding, la fuente de financiación de la sociedad de la información. Artículo publicado en la revista electrónica Lawyerpress. http://www.lawyerpress.com/news/2014_05/2605_14_010.html. (Consultado el 26/5/2014)

Ley Modelo de la CNUDMI sobre Comercio Electrónico Guía para su incorporación al derecho interno. (1999). Publicación de las Naciones Unidas. Número de venta: S.99.V.4. ISBN 92-1-333278-5

Página Web de crowdsourcing.org, organización dedicada exclusivamente a crowdsourcing y crowdfunding. http://www.crowdsourcing.org/community/crowdfunding/7. (Consultada el

20/4/2015).

Proyecto de Ley de fomento de la financiación empresarial. Página del Ministerio de Economía y Competitividad. Boletín Oficial de las Cortes Generales. 24/04/2015

Rodríguez de las Heras Ballell, T. (2013). El Crowdfunding: una forma de financiación colectiva, colaborativa y participativa de proyectos. Pensar en derecho.

Schwienbacher, A., & Larralde, B. (2010). Crowdfunding of small entrepreneurial ventures. HANDBOOK OF ENTREPRENEURIAL FINANCE, Oxford University Press, Forthcoming.

01-040

GOOD PRACTICE FOR THE IMPLEMENTATION OF ASSET MANAGEMENT FROM THE STAGE DESIGN PROJECT MANAGEMENT

Amendola, Luis [123]; Depool Malave, Tibaire Angélica [2]; Larez, Alexis [12]; Artacho Ramirez, Miguel Angel [3]; Candelario Reyes, Juan Manuel [4]

[1] PMM Institute for Learning, [2] PMM Business School, [3] Universitat Politècnica de València, [4] UCE

The key to achieve the optimal cost-effectiveness and reliability of a product/facility, is applying the asset management concepts from the earliest design or project stage (particularly in the definition and development phases).The availability increase can be achieved through the reliability management from the design stage and adding improvements to operations and maintenance procedures. At this stage, the application of asset management tools has a great importance and opportunity to favorably impact the results, as the project is flexible enough to be modified or redesigned, without a high impact of costs. Otherwise, if asset management improvements are applied once the design is “frozen, any change or modification will substantially impact on costs. The present article intends to explore those techniques and tools for applying good asset management practices from design stage, based on the international norms and standards and on our experience as consultants.

Keywords: *Asset; Design; Projects; Reliability*

BUENAS PRÁCTICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS DESDE LA ETAPA DE DISEÑO EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS

La clave para lograr que una instalación sea coste-efectiva óptima y tener un producto/ instalación confiable, se encuentra en la aplicación de los conceptos de la gestión de activos desde la etapa más temprana del proyecto o diseño (particularmente en la etapa de definición y desarrollo). El incremento en la disponibilidad de los activos se puede lograr con la gestión de la confiabilidad desde la etapa del diseño y adicionando mejoras a los procedimientos de operación y mantenimiento. En esta etapa, la aplicación de las herramientas de gestión de activos tiene mayor importancia y oportunidad de impactar favorablemente los resultados, pues el proyecto es lo suficientemente flexible para ser modificado o rediseñado, sin un impacto elevado en los costes. De lo contrario, si las mejoras por gestión de activos se aplican una vez que se haya “congelado” el diseño, cualquier cambio o modificación tendrá un impacto sustancial en los costes. El presente artículo pretende explorar aquellas técnicas y herramientas para aplicar las buenas prácticas de gestión de activos desde la etapa de diseño, basándose en las normas y estándares internacionales y en nuestra experiencia como consultores.

Palabras clave: *Activos; Diseño; Proyectos; Confiabilidad*

Correspondencia: Tibaire Depool tibiare@pmmlearning.com

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día las organizaciones se encuentran en la búsqueda constantes de optimización de sus procesos en aras de obtener mayores márgenes de rentabilidad, esta búsqueda ha llevado a entender que la aplicación de herramientas metodológicas y tecnica desde la concepción de la fábrica en etapa de diseño, es una de las forma de poder rentabilizar el esfuerzo que se invierte.

Como afirma Harold Kerzner (2009), los ejecutivos de las grandes empresas se enfrentan cada vez a retos más complejos. Estos retos son el resultado de factores de crecimiento en los sueldos y en las materias primas, el aumento de las demandas sindicales, la presión de los accionistas y la posibilidad de una alta inflación a largo plazo acompañada, posiblemente, de recesión y crisis económica. De alli que conceptos como el de Gestión de Activo desde la Etapa del diseño pase a tomar un rol de gran relevancia e imprescindible en la gestión de proyectos industriales, y este rol se ve reforzado sobre todo por la fuerza que cobra las normas y estándares operacionales como la ISO 55000.

Para aterrizar estos concepto desde el punto de vista de proyecto, según la norma BS ISO 55000, la gestión de activos se define como las actividades y prácticas coordinadas, sistemáticas y sistémica a través de las cuales una organización maneja óptima y sustentablemente sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgos y gastos asociados a lo largo del ciclo de vida con el propósito de lograr las metas establecidas dentro de su plan estratégico.

2. MARCO TEÓRICO

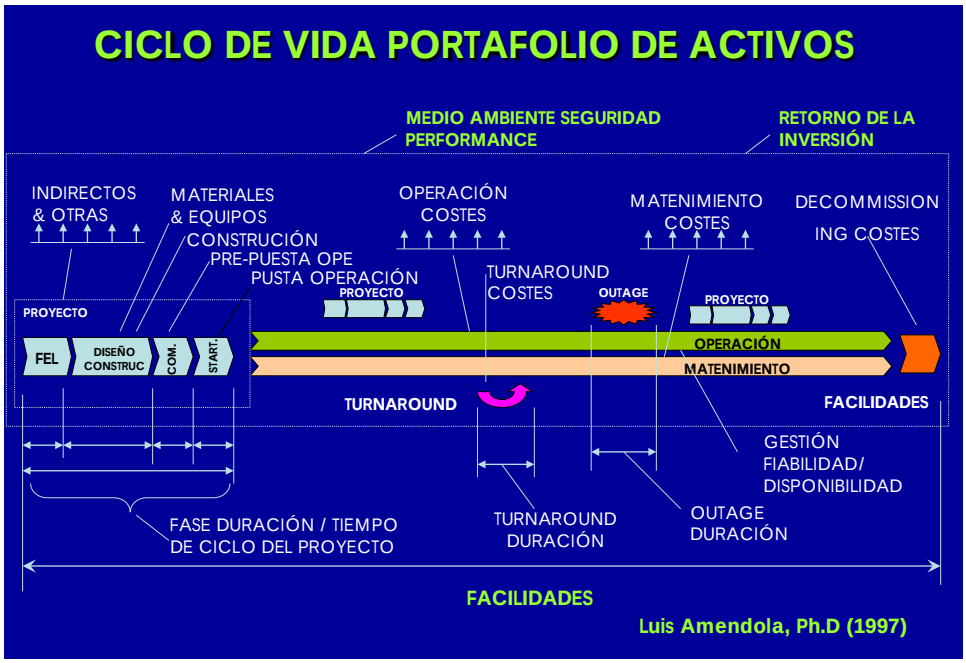
2.1 Sistema de Gestión de Activos

En el desarrollo inicial del sistema de gestión de activos, la organización debería delinear el modo en que establecerá, implementará, mantendrá y mejorará el sistema. Una revisión inicial de los procesos actuales de la organización en relación a los requisitos de la ISO 55001, contrinuirá en la determinación de las áreas que necesiten desarrollarse para dar apoyo al funcionamiento de un sistema de gestión de activos compatible.

El sistema de gestión de activos no debe estar aislado. Un factor de éxito para un sistema de gestión de activos es la virtud de integrar los procesos del sistema de gestión de activos, actividades y datos con otras funciones organizacionales, por ejemplo calidad, contabilidad, seguridad, riesgos, recursos humanos. Donde sea posible, los procesos existentes del negocio deberían aprovecharse para evitar nuevas tareas innecesarias y duplicación de tareas y datos existentes. Esta interacción con los procesos existentes necesita la coexistencia de procesos de comunicaciones claramente definidos y funcionales en todos los niveles de la Organización.

La interrelación de los Sistema de activos con las actividades asociadas a cada etapa de su ciclo de vida, se puede apreciar en la figura.1 (Amendola, L. 1997, 2011)

Figura 1. Requerimientos para la Optimización de Gestión de Activos (Amendola, L. 1997, 2011)



2.2 Consideraciones de la gestión de activos desde el diseño

Las consideraciones que justifican y explican la importancia de aplicar los conceptos asociados a la gestión de activos desde la etapa de diseño en los proyectos de ingeniería, así como ciertos aspectos conceptuales relacionados con el tema es uno de los dolores de cabeza de las organizaciones de proyectos en la industria.

Recientemente, se ha reconocido que uno de los enfoques más importantes para incrementar valor de los activos, es mejorando la confiabilidad y la disponibilidad de los misma. El enfoque tradicional comúnmente utilizado para incrementar valor ha sido aumentar el volumen de las ventas y la capacidad de manufactura del activo, reducir costes, la apertura de nuevos mercados o la combinación de estos factores. Un incremento en la disponibilidad se puede lograr mejorando los procedimientos de operación y mantenimiento de los activos y con la confiabilidad intrínseca de la instalación.

A raíz del reconocimiento de este nuevo enfoque, ha surgido el concepto de **Utilización de Activo (UA)**[2]**,** el cual toma en consideración las ventas y la disponibilidad. El objetivo primordial de una instalación es maximizar la **UA o maximizar el valor del dinero invertido a lo largo del ciclo de vida del proyecto.**

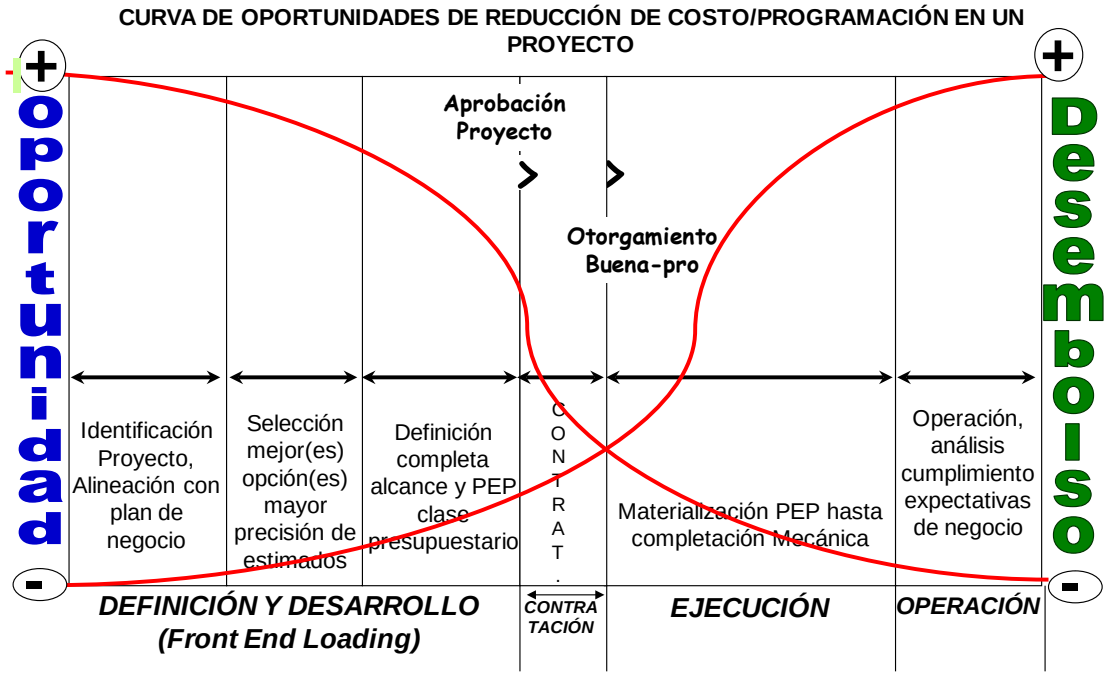
Al realizarse “benchmarking” con otras compañías, se ha encontrado que la pérdida de oportunidad de **UA** se debe a problemas que están distribuidos equitativamente entre Operaciones, Mantenimiento y Diseño. Para mejorar la disponibilidad de una instalación, se hace necesario aplicar conceptos, metas y procedimientos de gestión de activos a lo largo de toda la vida del proyecto, basado en indicadores técnicos financieros. Esto es lo que se conoce como la **G**estión de **A**ctivos **D**esde **D**iseño (GADD) [2] [19].

La clave para obtener una instalación que sea coste-efectiva y lograr obtener un producto e instalación confiable es a través de la aplicación de los conceptos de la gestión de activos

desde la etapa más temprana del proyecto o en la etapa de diseño (particularmente en la etapa de Definición y Desarrollo). Es en esta etapa cuando la aplicación de gestión de activos tiene mayor impacto u oportunidad de afectar los resultados, ya que el proyecto es lo suficientemente flexible para ser modificado o rediseñado sin un impacto elevado en los costes. De lo contrario, si las mejoras por fiabilidad se aplican una vez que se haya "congelado" el diseño, cualquier cambio o modificación tendrá un impacto sustancial en los costes.

Al observarse la curva de oportunidades de reducción de coste/programación en un proyecto Figura.2, existe un paralelismo entre esta oportunidad y la correspondiente a la aplicación de los conceptos de gestión de activos. Como se aprecia, hay mucha más oportunidad de influenciar los resultados de coste y tiempo durante las etapas tempranas del proyecto, cuando los desembolsos son relativamente mínimos que en las etapas subsiguientes, cuando se construye y opera la instalación. Lo mismo sucede al aplicar confiabilidad a las instalaciones, si los conceptos son aplicados tempranamente, la influencia que puede tener en el nivel de confiabilidad del producto/instalación será mucho mayor que cuando se aplique en una fase intermedia o tardía del proyecto.

Figura 2. Coste de programación de un proyecto



La aplicación de la gestión de activos en la fase de diseño de un proyecto, requiere de la participación de las experiencias y habilidades multidisciplinarias de diferentes especialistas. Para lograr un máximo valor, se requiere una combinación de prácticas de gerencia, financiera, de ingeniería, construcción y otras prácticas aplicadas a activos en búsqueda de un coste de ciclo de vida económico. Este concepto tiene que ver directamente con **G**estión de **A**ctivos **D**esde **D**iseño (GADD) y **M**antenibilidad de **A**ctivos (instalaciones).

Un aspecto a considerar a lo largo del ciclo de vida de un proyecto es lograr un balance adecuado entre productividad y seguridad a un coste óptimo, esto tiene un efecto directo en la gestión de activos, y por lo tanto debe considerarse como parte de los aspectos de confiabilidad a ser aplicados en el ciclo de vida del proyecto y se consigue a través de gerencia del riesgo definiendo las estrategias para cada uno de los siguientes aspectos, algunos de los cuales están estrechamente relacionados:

- Diseño (Diseño robusto vs. Diseño de bajo coste).
- Estrategia de gestión de activos y operación.
- Gerencia de eventos anormales.
- Desincorporación del activo.
- Manejo de personal y cultura corporativa.
- Responsabilidad en seguridad y medio ambiente.
- Gerencia de escasez de recursos.
- Actitud ante agentes reguladores (entes gubernamentales).

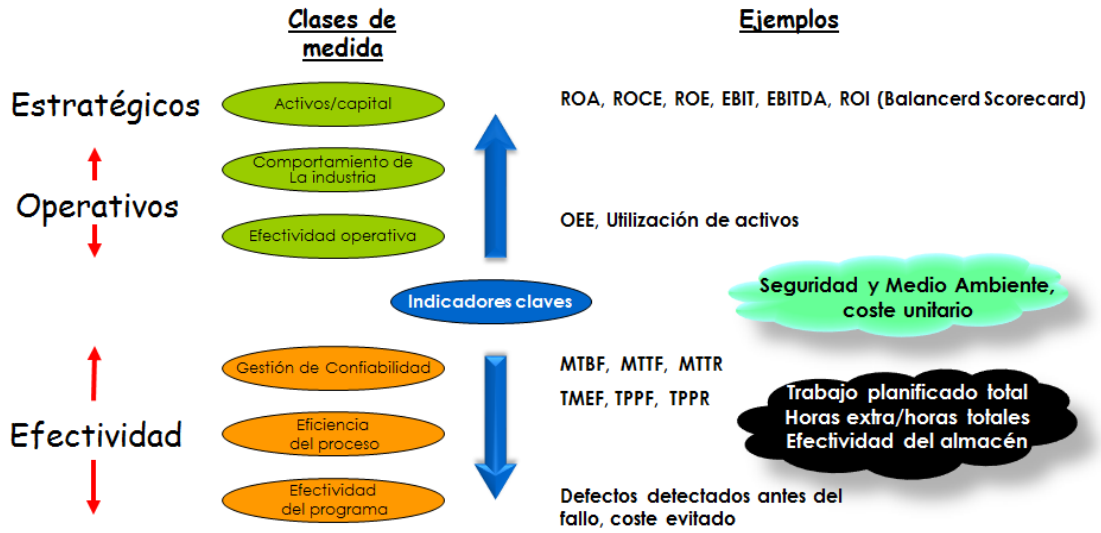
2.3 Indicadores de gestión

Los indicadores técnicos – financieros parten de la visión y estrategias de la empresa con todos los departamentos alineados con el negocio y creando una sinergia entre las áreas de operaciones, mantenimiento, ingeniería y los sistemas financieros de la empresa. A partir de allí se definen los objetivos técnicos y financieros requeridos para alcanzar la visión en los proyectos desde la etapa de diseño, y éstos a su vez serán el resultado de los mecanismos y estrategias que rijan nuestros resultados con los clientes (Internos y Externos de la Organización) [5] [6]. Los procesos internos se planifican para satisfacer los requerimientos técnicos y financieros y los de los clientes.

Finalmente, nuestra experiencia en la implementación industrial reconoce que el aprendizaje organizacional es la plataforma donde reposa todo el sistema y donde se definen los objetivos estratégicos.

La ventaja primordial de la implementación de sistemas de indicadores desde la etapa de diseño en proyectos, es el seguimiento y control del proyecto en su conjunto. De esta forma es posible establecer una cadena Causa - Efecto que permita tomar las iniciativas necesarias a cada fase de la ingeniería para aplicar las mejores prácticas [7].

Figura 3. Metodología de gestión de indicadores, Amendola, 2004 [6]



La metodología planteada en la Figura 3, permite determinar objetivos específicos para cada uno de los diferentes centros de responsabilidad en la organización de operaciones, mantenimiento e ingeniería. La descentralización supone dividir la organización en diferentes unidades organizativas y otorgar una mayor responsabilidad a las personas encargadas de gestionar en cada unidad [9]. Esto permite que la dirección pueda delegar las operaciones del día a día y concentrarse en tareas de carácter más estratégico.

Desde la perspectiva del control de cada organización (mantenimiento, operaciones e ingeniería) es necesario identificar las características de cada centro de responsabilidad (personas, funciones, jerarquías, responsabilidades, grado de descentralización de las decisiones, relación con otras unidades, mecanismos de coordinación) para realizar su control, pues éste debe hacerse en función de su grado de responsabilidad en las variables de decisión que afectan el resultado y que por tanto están bajo su influencia.

3. Objetivo de la investigación

El objetivo de esta investigación es desarrollar algunas buenas prácticas para llevar a cabo la implementación de la gestión de activos desde la etapa de diseño de los proyectos. Con la finalidad de establecer algunas prácticas comunes que se soporte por la norma ISO 55000.

4. Metodología

El tipo de investigación es Exploratoria, para lo cual fue necesario llevar a cabo el desarrollo un análisis en profundidad de la Norma ISO 55000 y entrevistas a experto en el área de proyectos y gestión de activos.

5. Resultado y Discusión

5.1 Factores Claves para Implementación "Modelo Integral de Gestión de Activos"

Los factores de éxito de un buen diseño e implementación son: el liderazgo por parte de la alta dirección del proyecto de gestión de activos, una buena comunicación y participación, y la adecuada constitución y esfuerzo de los equipos de trabajo, así como considerar las barreras del cambio y responsabilidades de las personas. El enfoque integrador y global proporcionado por las normas y estándares hace que su implantación no sea sencilla, pero no es imposible. Se trata de tener claros los aspectos o ingredientes que puedan allanar el camino hacia una implementación exitosa.

¿Cuáles son esos aspectos o ingredientes?

1. Un Modelo de gestión de activo Simple. El objetivo principal del modelo no es el de añadir burocracia o complicaciones, sino, el de establecer pauta simple que permitan la gestión de proyectos al centrarse en aquello que es importante. La palabra clave es priorización. Se trata de ordenar la información, los proyectos y los recursos de forma eficiente para la organización, en cada una de las etapas del ciclo de vida del activo (Amendola, 2014@), ver figura 4.

2. Lenguaje Común. El nombre que se le dé al modelo, a las perspectivas y a los diferentes elementos que lo componen, es lo de menos. Lo importante es que las personan que han de utilizarlo lo consensúen, es decir, que haya un lenguaje común en la organización de activos físicos (por ejemplo, que el modelo se llame Balanced Scorecard o Cuadro de Mando Integral es indiferente). Éstos pueden ser desde simples listas de indicadores hasta modelos de gestión basados en la estrategia y utilizados a lo largo y ancho de la organización.

3. Entender el Modelo. No hay dos empresas iguales y tampoco dos implantaciones idénticas. Las empresas han adaptado el modelo a sus propias necesidades. En principio, todos los elementos del modelo deben cumplir con un papel y es importante que éste sea entendido. Las desviaciones del modelo pueden estar en algunos casos justificadas, pero la justificación nunca debe ser la ignorancia. Es por eso importante que sea entendido bien el modelo al iniciar un proyecto de implantación de gestión de activos físicos.

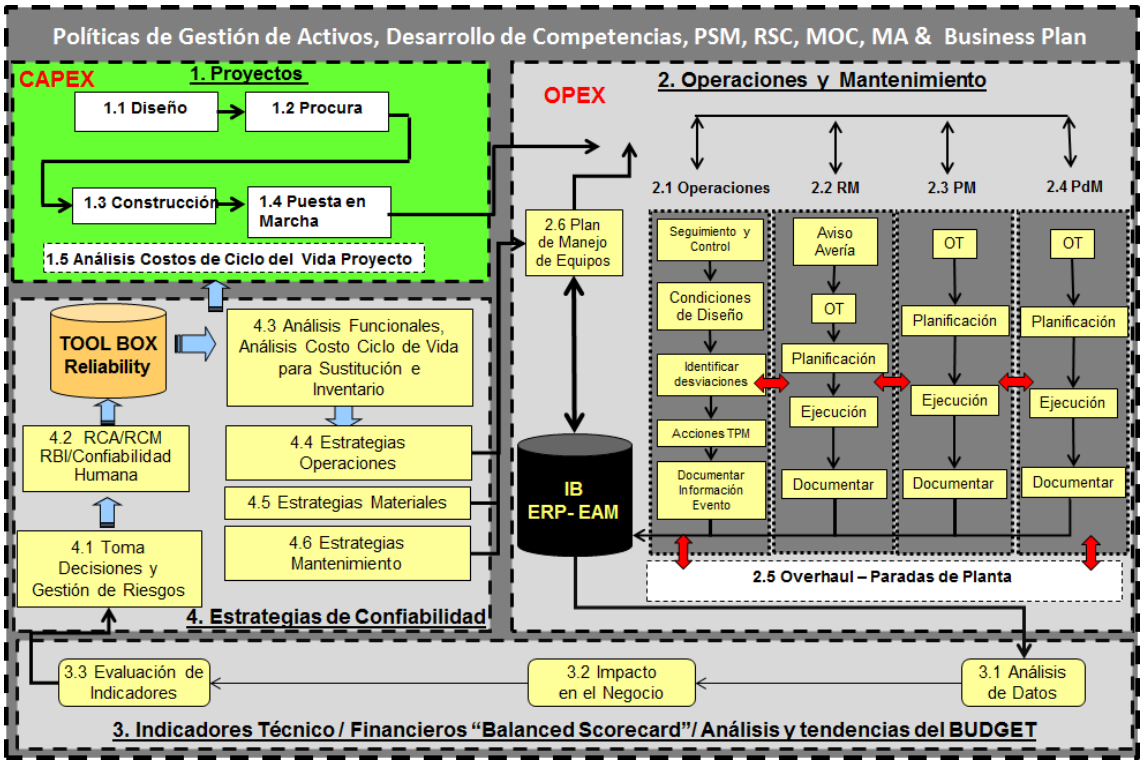
4. Liderazgo. Es necesario trasmitir la relevancia del proyecto a la organización y éste debe ser liderado y apoyado por el máximo nivel de la empresa, siendo además continuado y no sólo en la fase inicial del proyecto de gestión de activos físicos.

5. Comunicación. Para que el modelo sea aceptado éste debe ser entendido e interiorizado por parte de las personas que trabajan en la organización; por ello es necesario un buen proceso de comunicación (tanto vertical como transversal).

6. Participación. También ayuda en la interiorización del modelo la participación de determinadas personas que puedan aportar valor, que además enriquecen el diseño de los diferentes elementos que lo componen.

7. Equipo de Proyecto de Gestión de Activos. Es vital asignar un equipo de trabajo o facilitadores que gestione la implementación. Su cometido es facilitar el conocimiento, guiar en el proceso de diseño e implantación, proporcionar metodología y efectuar el seguimiento del proyecto.

Figura 4. Modelo de Gestión Integral de Activos (Amendola. L, 2006©, 2011 ©,2013 ©, 2014 ©, Copyright PMM)

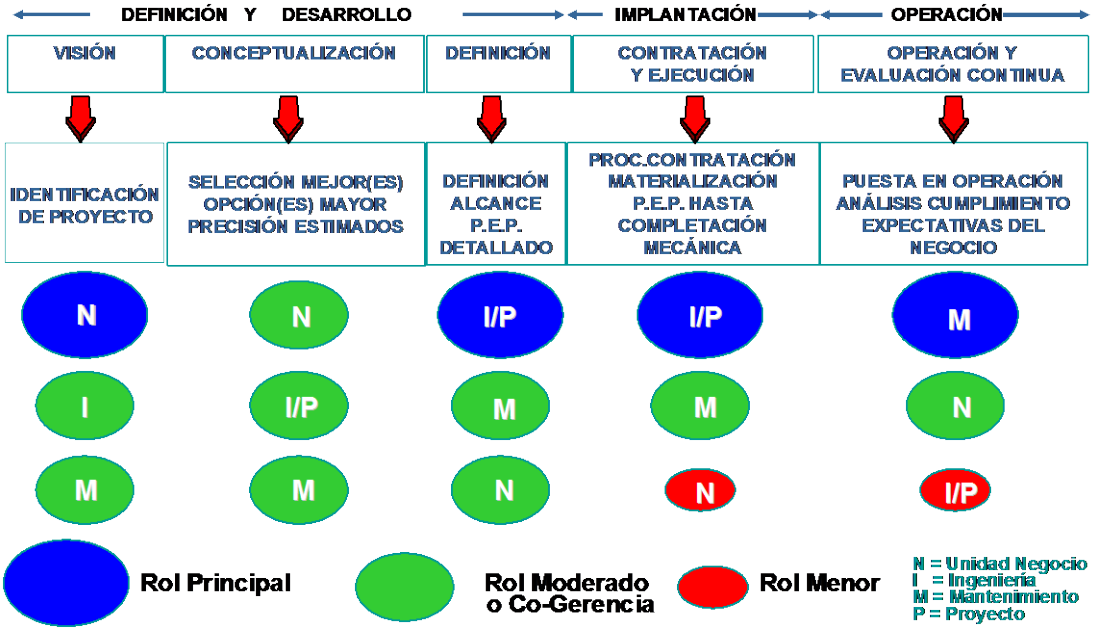


5.2 Buenas Prácticas asociadas a la Gestión de activos desde el diseño

- La correcta y completa aplicación de la fiabilidad desde la etapa de diseño de un proyecto, permitiría una mejor utilización del activo (UA) o maximizar el valor del dinero invertido en una instalación hasta la Fase de Desincorporación de un proyecto.
- La metodología planteada es susceptible a evolucionar en el tiempo en la medida que se adquiera mayor experiencia en su aplicación, nuestra experiencia en el sector de la energía (Gas, Petróleo, Refinación, Petroquímica y Generación Eléctrica) nos ha llevado a un proceso de mejora continua a fin de lograr las "mejores prácticas" de la fiabilidad adaptadas a nuestra realidad y a nuestra manera de hacer las cosas, y así lograr instalaciones que sean de "clase mundial".
- Los aspectos de fiabilidad van dirigidos a centrar el alcance del proyecto de una manera más eficiente ya que permite identificar tareas, acciones y actividades innecesarios [2]. Esto llevaría a identificar áreas incompletas del diseño conceptual y un mejor entendimiento de los requerimientos de mantenimiento y operaciones de las instalaciones (mantenimiento en diseño) lo que redunda en el futuro en una

reducción de costes de mantenimiento y operaciones, una mejor aplicación de las actividades de mantenimiento donde sea requerido y reducción de la tasa de fallos.

Figura.5 "Fiabilidad como estrategia de negocio en la gestión de Proyecto. XIII Congreso internacional de Ingeniería de Proyecto. Badajoz, 8-10 de julio de 2009.



- La etapa de diseño de un proyecto no está limitada únicamente a la etapa de Definición y Desarrollo, también se encuentra la etapa de implantación que comprende la ingeniería de detalle, aprovisionamiento de materiales y la construcción. Sin embargo, si los conceptos de fiabilidad son aplicados a cabalidad desde Definición y Desarrollo, las consideraciones de fiabilidad en las etapas posteriores serán de poco impacto en la instalación, ya que es en las etapas iníciales del proyecto donde se tiene mayor efecto, ver figura 5.

- No se puede esperar obtener el 100% del beneficio potencial la primera vez que se aplique la fiabilidad en la fase de diseño de proyectos. Esto requiere de un proceso de aprendizaje y cada uno de los participantes debe “internalizar” el proceso de aplicación de la fiabilidad desde esta fase.

- La aplicación de la fiabilidad en la fase de diseño de proyectos debe llevar implícito el balance entre la productividad, seguridad y riesgo. Este balance debe tomar en cuenta los lineamientos de diseño y las estrategias de mantenimiento. Sin un adecuado balance entre productividad, seguridad y riesgo, se puede comprometer la integridad mecánica (seguridad) de la instalación al momento de tomar decisiones operacionales.

- Generar un banco de datos, el cual sería obtenido con la información de cierre de cada proyecto. Esta información debería ir complementada con fuentes externas de información. Este banco de datos debe de incluir información de procesos, tecnologías asociadas, datos de confiabilidad e información de costes.

6. Conclusiones

El análisis llevado a cabo de la norma ISO 55000, la revisión bibliográfica con conjuntamente con el aporte del juicio de los expertos, nos permite establecer algunas buenas prácticas, para llevar a cabo el proceso de implementación de la gestión de activos desde la etapa del diseño. Vista desde otra perspectiva la gestión de proyecto debe ser complementada con las estrategias de gestión de activo desde la etapa inicial del diseño. Las disciplinas de gestión de activos y gestión de proyectos desarrollan sus actividades con radio de acción diferente, sin embargo dentro de sus estrategias, sus procesos y métodos se pueden identificar similitudes en cuanto a objetivos, planes estratégicos, ejecución de procesos, medición del desempeño, evaluación, acciones correctivas, revisión y mejora continua.

7. Referencias

- Amendola, L.; **"La Confiabilidad desde el Diseño en Proyectos de Mantenimiento, www.mantenimientomundial.com, Iberoamérica**, 2007
- Amendola, L.; **"Gestión de Proyectos de Activos Industriales", EDITORIAL:** Universidad Politécnica de Valencia, **ISBN: 84-8363-052-4,** España, 2006
- Amendola, L.; **"Retorno de la inversión sobre mantenimiento de activos (RIMA)", 3er** Congreso Cubano de Mantenimiento, CEIM, Cuba, 2004.
- Amendola, L.; **"Application of Balanced Scorecard in the project management",** AEIPRO, VIII International Congress on Project Engineering, Bilbao, Spain, October 2004
- Amendola, L.; **"Sistemas balanceados de indicadores en la gestión de activos", 2** do Congreso Mundial de Mantenimiento, Brasil, Curitiba, 2004.
- Amendola, L.; "**Strategies of maintenance management as investment return",** 17 th European Maintenance Congress, Barcelona, Spain, 2004.
- Amendola, L.; **Balanced Scorecard en la gestión del mantenimiento,** Artículo publicado, Web www.mantenimientomundial.com, www.confiabilidad.net, 2004.

- Amendola, L.; "**Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento",** Artículo publicado, Web www.mantenimientomundial.com, 2003.

- Amendola, L.; V Congreso Internacional de Mantenimiento, Asociación Colombiana de Ingenieros Eléctricos Mecánicos (ACIEM), Conferencista: "**MODELOS MIXTOS DE CONFIABILIDAD", "MANEJO DE PROYECTOS DE MANTENIMIENTO"**, Bogotá, Colombia, Junio, 2003

- ISO (The International Organization for Standardization), Norma ISO/DIS 14224 **"Petroleum and gas natural industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment".** 1997.

- Kaplan, R., Norton; D**., "Mapas estratégicos",** Editorial Gestión 2000, 2004.

- Kaplan, R., Norton; D**., "Cómo utilizar el Cuadro de Mando Integral",** 2000. Editorial Gestión 2000.

- Kaplan, R., Norton, D., **"Cuadro de Mando Integral - The Balance Scorecard"** 1997, Editorial Gestión 2000.

- Kaplan, R., Norton, D., **"Having trouble with your strategy"** Then Map It", Harvard Business Review, September-October 2009.

- Kaplan, R, Norton, D.; "**The Balanced Scorecard measures that drive performance"** Harvard Business Review. USA. 1992.

- Norton. D.; **"Building A Management System to Implement Your Strategy,"** Renaissance Solutions. USA. 1996.

- Porter, Michael, **"What Is strategy,"** Harvard Business Review. 1996.

- Estudio de "benchmarking", PMM Institute for Learning, España, Empresas del sector de la energía, 2008.

- Kailash C. Kapur, Leonard R. Lamberson; **"Reliability in Engineering Design",** ISBN: 978-0-471-51191-5, Paperback, 608 pages, June 1977.

01-041

EDUCATIONAL PROJECT MANAGEMENT OF AN INTEGRATED FARM SELF-SUSTAINING FOR RURAL EDUCATIONAL INSTITUTION FATIMA (COLOMBIA)

Poveda Bautista, Rocío; Diego Mas, José Antonio; García Botero, Sandra C.
Universitat Politècnica de València

The three major challenges for rural Colombia are food security, poverty reduction and sustainable management of natural resources. To this, must be added the challenge of education. This paper presents a project management Integrated Farm self-sustaining for Rural Educational Institution Fatima (Colombia) designed to meet the educational needs of the municipality in which there are great difficulties of children and youth to access education. In the field of rural education, to solve these difficulties we propose an innovative, creative and participative way, aimed at training developers of projects, generating alternatives and opportunities for development in the field to students, while providing other intellectual abilities required outside of this area. Through this work, the management of the Farm and its operating and self-sustaining activities are integrated with the activities of an educational project that meets the objectives of Colombian primary education curriculum in the area of mathematics. This project involves different levels of the educational community and maximizes environmental resources.

Keywords: *Project management; educational project; Integrated Farm self-sustaining*

GESTIÓN DE UN PROYECTO EDUCATIVO DE UNA GRANJA INTEGRAL AUTOSUFICIENTE PARA LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA RURAL FÁTIMA (COLOMBIA)

Los tres grandes desafíos para el medio rural colombiano son la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza y la gestión sostenible de los recursos naturales. A esto habría que sumarle el reto de la educación. Este artículo presenta la gestión de un proyecto de Granja Integral autosuficiente para la Institución Educativa Rural Fátima (Colombia) diseñada para responder a las necesidades educativas de este municipio en el que existen grandes dificultades de niños y jóvenes para acceder a la educación. Para resolver estas dificultades se propone, en el ámbito de la educación rural, una forma innovadora, creativa y participativa, orientada a la formación de creadores de proyectos, que genere a los alumnos alternativas y oportunidades de desarrollo en el campo, a la vez que les proporciona otras capacidades intelectuales necesarias fuera de este ámbito. Mediante este trabajo se integra la gestión de la Granja y sus actividades de funcionamiento y explotación autosuficientes con la gestión de las actividades de un proyecto educativo que cumpla los objetivos curriculares de Educación Primaria Colombiana en el área de las matemáticas. Este proyecto involucra a los diferentes estamentos de la comunidad educativa y aprovecha al máximo los recursos del medio.

Palabras clave: *Dirección y gestión de proyectos; proyecto educativo; granja integral autosuficiente*

Correspondencia: Rocío Poveda Bautista ropobau@upvnet.upv.es

1. Introducción

La educación en áreas rurales y de difícil acceso es un problema complejo en algunos países de América Latina, ya que en ella intervienen múltiples factores intrínsecos del ser humano, que sumados a factores externos tan determinantes como la pobreza, el hambre, la falta de oportunidades y la violencia, hacen del acceso a la educación un problema de difícil solución, más aún cuando éstos factores negativos se presentan en zonas rurales de estos países como Colombia.

Es precisamente en la educación rural, donde se presentan de forma reiterada y con porcentajes elevados, dificultades para que los niños y los jóvenes puedan acceder a la educación, como derecho fundamental. Los obstáculos vienen dados desde las limitaciones en la oferta educativa existente, la deserción y la poca pertinencia de los modelos educativos tradicionales, por mencionar algunas.

La respuesta más prometedora para el futuro de los niños y jóvenes del sector rural, es una educación innovadora, creativa y participativa, orientada a la formación de creadores de proyectos que generen riqueza, más que de personas con mentalidad de futuros empleados. Se debe crear una estrecha relación entre la escuela y la vida que permita un aprendizaje más eficaz, en la medida en que aprovecha los elementos del medio para motivar al alumno. Se busca pues, acercar a los estudiantes a experiencias positivas y exitosas en el sector más cercano a su cotidianidad, el sector agropecuario, cubriendo necesidades vitales de la familia rural como evitar el desarraigo, participar activamente del proceso de enseñanza-aprendizaje, contar con un servicio de alto grado de retención y de estrecha vinculación con el mundo del trabajo.

El proyecto, objeto de este artículo se desarrolla para el caso concreto de la Institución Educativa Rural Fátima, del Municipio de Ebéjico, Departamento de Antioquia, Colombia, para resolver la falta de pertinencia en la educación de los niños y los jóvenes del sector rural colindante a la Institución Educativa Rural Fátima.

Bajo el lema “Educación para Todos: EpT”, se han logrados dos importantes acuerdos a nivel mundial. El primero de ellos, logrado en La Conferencia Mundial sobre Educación para Todos (EpT), organizada por UNESCO, UNICEF, el PNUD y el Banco Mundial, en Jomtien, Tailandia, en el año 1990, del cual se obtuvieron las metas destinadas a “satisfacer las necesidades básicas de aprendizaje” de las personas, niños, jóvenes y adultos, además de adoptar el término educación básica y proponer una “visión ampliada” de dicha educación básica, no restringida a la educación escolar ni a la infancia. Dicha “visión ampliada” incluía: desarrollo infantil y educación inicial; educación primaria; alfabetización, educación básica y capacitación de jóvenes y adultos excluidos del sistema escolar; mejora de los resultados de aprendizaje; y difusión pública de información relevante para la mejora de la vida de la personas.

Diez años después, en Dakar, se realizó el Foro Mundial de Educación donde se evaluó el avance de la EpT en el mundo, y luego de un exhaustivo análisis, se decidió extender el plazo quince años más, hasta el 2015. Las metas iniciales de Jomtien (1990) fueron depuradas. Uno de los cambios más significativos fue respecto al aprendizaje, quedando diluido en la “satisfacción de necesidades básicas de aprendizaje”, renunciándose a todo intento de dar seguimiento a su cumplimiento y avance. También se agregó una meta específica sobre la equidad de género, la cual aparecía como un tema transversal en varias metas de Jomtien.

Concretamente en Antioquia, como resultado de esta política, se han hecho alianzas entre algunos municipios antioqueños y algunas entidades del sector productivo, con el objetivo de implementar en la zona rural prioritariamente, modelos pedagógicos activos, que

mediatizados por el docente, la tecnología y módulos escritos, ha permitido atender la demanda educativa de niños y jóvenes marginados del sistema escolar en los niveles de preescolar, primaria y secundaria. Estos modelos pedagógicos han creado necesariamente, otras formas de enseñar, llegando a los estudiantes con otros enfoques y desde su realidad. Es así como se crean, primero, y desde hace más de 20 años, Escuela Nueva, para niños desde Primero hasta Quinto de la Básica Primaria, y Telesecundaria, para jóvenes de Sexto a Noveno grado de enseñanza secundaria. Ambos enfoques pedagógicos con conceptos muy similares,

La Granja Integral Autosuficiente, se presenta como una oportunidad para generar empresa desde el campo, integrando diferentes elementos de la actividad pecuaria y agrícola en un entorno familiar, primero desde el ámbito educativo, con una granja demostrativa – educativa, y luego, lo más relevante de este proyecto, con una granja comercial o agroindustrial que permita a los jóvenes del sector, y con él a sus familia y vecinos, al aprovechamiento de los recursos de su entorno, como medio más eficaz para mejorar las condiciones de vida.

Puede hablarse de Granja Integral Autosuficiente ya que es, integral en la media que, tiene en cuenta diferentes puntos de vista como el económico, el social y el cultural; es autosuficiente porque genera ingresos para la subsistencia, produciendo alimentos para el consumo propio, y generando excedentes comercializables. Y es autosuficiente, puesto que mediante elementos de planificación se espera se convierta en una microempresa con elevados márgenes de rentabilidad y por ende pueda abastecerse de con sus propios beneficios.

Es por esto que se ve la necesidad de realizar actividades del agro y de la producción de animales en un sistema integrado y sistemático, plasmado en un proyecto que permita a los directivos, profesores y demás personal de la institución a buscar ayudas para poner en marcha un proyecto de granja integral autosostenible que facilita al profesor acercar la realidad rural a su aula de clase, aprovechando los recursos del medio, y al alumno, mostrar alternativas de solución en su vida cotidiana.

El propósito del estudio consiste entonces, en gestionar el diseño del proyecto de una granja integral autosuficiente en la Institución Educativa Rural Fátima, del Municipio de Ebéjico, Departamento de Antioquia, Colombia, llevando a los niños y jóvenes del sector rural a una educación con pertinencia, tratando de cumplir con unos requerimientos mínimos de planteamiento y asegurando una adecuada gestión de los recursos. Para ello se definen las actividades necesarias para la gestión técnica del proyecto y de diseño de las actividades educativas.

Queda para una segunda fase del trabajo la planificación, programación de las tareas, recursos y costes, ya que los pasos siguientes se llevarán a cabo durante la realización y seguimiento que parece necesario que sean desarrollados por el alumno y toda su comunidad, de tal manera que se integren activamente en el proyecto y puedan ser agentes involucrados en su familia y su vecindad.

Serán los alumnos y los demás miembros de la institución los que participarán realmente en el proceso constructivo de las actividades agropecuarias, eso sí, bajo la supervisión de personal cualificado. Este proyecto, sigue así, un proceso de aprendizaje constante, para que luego los estudiantes, sus familias, vecinos y hasta educadores puedan multiplicar, en sus parcelas, los conocimientos adquiridos en la granja demostrativa - educativa.

Los apartados siguientes justifican, describen y organizan las tareas para que los elementos de la granja se comiencen a construir aprovechando los recursos y gestionando adecuadamente los costes y los tiempos y se integren con el diseño de las actividades educativas para así conseguir el propósito del presente trabajo.

2. Objetivos

El presente proyecto tiene por objeto, gestionar la puesta en marcha de una Granja Integral Autosuficiente (GIA) en la Institución Educativa Rural Fátima de Ebéjico, Departamento de Antioquia, Colombia, como actividad educativa y formativa de los estudiantes y toda la comunidad educativa. Para ello, es necesaria la definición de las características y condiciones técnicas que han de reunir todos los elementos que conformarán la G.I.A.

Se pretenden establecer así, las consideraciones necesarias, precisando las características que deben satisfacer las condiciones del proyecto, tanto en la construcción e instalación, como en la producción, para que sean conformes al fin a que están destinados dentro de la granja.

3. Definición y alcance

Los proyectos de G.I.A. en las Instituciones Educativas del sector rural están pensados para que tanto, estudiantes, padres de familia, profesores como los demás miembros de la comunidad educativa se involucren en el proceso educativo de una forma productiva, es decir, los conocimientos adquiridos sirvan para mejorar su calidad de vida a través del aprovechamiento de los recursos del medio.

Una G.I.A. es un espacio donde se desarrollan actividades agrícolas y pecuarias, de tal manera que los productos y los residuos sean aprovechados, procurando hacer un manejo eficiente de los recursos físicos y financieros. Algunas de las actividades que integran este espacio son: un cerramiento, dedicado a la producción del banco de proteínas, para la alimentación de pollos y cerdos. Este cerco encerrará el área dedicada a la siembra de hortalizas, la marquesina, el galpón para pollos de engorde y la porqueriza; una huerta orgánica con hortalizas de distintas especies, según su adaptabilidad al piso térmico; cultivos de pancoger[1] según la adaptabilidad como maíz, fríjol, yuca, plátano, arracacha, ñame, entre otros; un banco de proteína, ya que es necesario que en la parcela se integren algunas fuentes de proteína con distintos propósitos como son alimentación humana, animal y el aporte de nutrientes al suelo, así como la prevención de la erosión. Además de un sistema de riego y aspersiones, kits de preparados orgánicos, composteras de lombricultivo y semilleros.

Se pretende diseñar la parcela ecológica – agropecuaria, educativa, demostrativa y gestionar su puesta en funcionamiento. Se aprovechará un área total de 3.363’25 m^2 para dicha parcela que estará ubicada en las instalaciones de la Institución Educativa Rural Fátima – Sede Fátima, del Municipio de Ebéjico, Departamento de Antioquia, Colombia.

El trabajo que ha de desarrollarse para entregar una parcela que cumpla con las especificaciones técnicas necesarias para que funcione como integral y autosuficiente comenzará con la distribución de superficies de sembrado, instalaciones para animales, residuos, y producción final. Seguidamente, el diseño de las diferentes estructuras que componen la granja, el galpón de pollos de engorde y gallinas ponedoras, una pequeña conejera para crianza, una porqueriza capaz de albergar cerdos de reproducción, un pequeño estanque de cultivo de peces y el cuarto de herramientas. De otro lado, el diseño adecuación de los terrenos donde se llevará a cabo el huerto, propiamente dicho, el cercado natural y la siembra de todos los cultivos de hortalizas, frutas y flores. Las composteras, semilleros y lombricultivos se irán realizando paralelamente a estas tareas. Lo mismo que las formas de riego y abastecimiento de agua, esencial en este proceso

Además de la realización de las obras físicas con todas las especificaciones técnicas para su durabilidad y permanencia en el tiempo, se pretende proyectar las actividades

[1] En el municipio de Ebéjico, zona cafetera, son cultivos de pancoger: el maíz, la yuca y el plátano.

primordiales para el proceso de formación de la comunidad educativa a quien se dirige el objeto del proyecto.

Otras funciones, no directas pero no por ello menos importantes, que debe cumplir este proyecto son:

- Motivar a los estudiantes para que comprendan de forma práctica y "real", asignaturas como las ciencias naturales y las matemáticas, aprovechando los espacios y los recursos disponibles en su entorno escolar, familiar y vecinal.
- Romper con los esquemas tradicionales de enseñanza a través de la formulación y solución de situaciones problema de la cotidianidad de los y las estudiantes acercándolos a su realidad.
- Integrar la familia, y toda la comunidad educativa dentro del proceso de aprendizaje y formación de los estudiantes.
- Incentivar el trabajo agropecuario generando empresa desde el campo y por el campo.

También se facilitará el proceso de formación de otras comunidades y otras Instituciones que visiten el plantel educativo, permitiéndoles a través de la observación y el aprendizaje por medio del ejemplo, como dentro de pequeños espacios se puede disponer adecuadamente diferentes elementos de una granja de una manera adecuada. En el mismo sentido, se planteará la posibilidad de obtener producción de cultivos en áreas reducidas donde se obtienen productos libres de pesticidas para la alimentación familiar y con el mínimo impacto sobre el ambiente.

Vista la educación como un proceso que pretende formar integralmente al individuo para hacerlo más reflexivo en torno a su forma de relacionarse con las demás personas, los animales y el medio ambiente, se pretende, por la vía de la construcción individual y colectiva, lograr una completa aprehensión de los conceptos y la construcción de realidades que permitan comprender los problemas que se pueden presentar a diario, para con ello emprender soluciones comunitarias sostenibles y efectivas.

Dentro del alcance de este proyecto se incluye por tanto, la definición de las tareas necesarias para que la granja comience a funcionar y el diseño del proceso de formación de la comunidad educativa, actores principales de éste.

Paralelamente al modelo educativo, se ha puesto a funcionar la estrategia denominada Proyectos Pedagógicos Productivos (PPP), con el objetivo de asociar productividad con aprendizaje escolar y contribuir al mejoramiento alimentario de los escolares. Estos proyectos tienen que ver con la producción piscícola, avícola, porcina, horticultura, formación de apriscos y granjas integrales, entre otros, proyectos que funcionan en terrenos aledaños a los establecimientos educativos de propiedad del municipio, la comunidad u otorgados en comodato por particulares. Así, en este proceso participarán los estudiantes, los educadores, con la capacitación correspondiente, los padres de familia y los demás estamentos educativos de las instituciones y del municipio.

3.1 Proyectos Pedagógicos Productivos

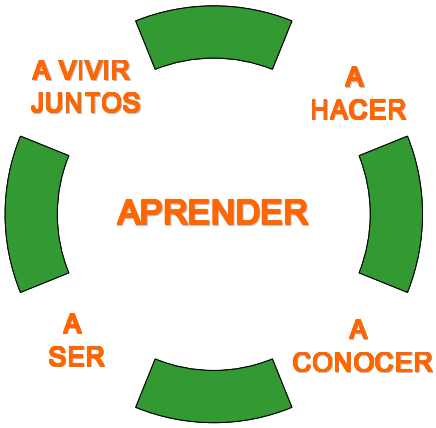
Un Proyecto Pedagógico Productivo (PPP) es el conjunto de las actividades productivas, pedagógicas y comunitarias que es posible sistematizar, con el propósito de aplicar, contrastar y ampliar los conocimientos e informaciones adquiridos por los estudiantes en su proceso formativo, aplicado a su contexto, con diferentes escenarios que le pueden ayudar a solucionar los problemas de su vida diaria. Planteándose como una unidad de trabajo en la cual, los estudiantes y los docentes encuentran oportunidades concretas y directas para

traducir en aplicaciones prácticas los contenidos conceptuales, teóricos y abstractos de las estructuras curriculares.

En los PPP se generan oportunidades para aproximar los métodos deductivo e inductivo. Con ellos se propician la convergencia entre las instituciones educativas y diversos segmentos de la sociedad, preferentemente los actores económicos. Constituyen vías para abrir los muros del aula escolar a la interacción con el mundo de la vida productiva.

La expectativa esencial con que se propone la inclusión de PPP en la cotidianidad escolar consiste en que a través de ellos los estudiantes encuentren formas eficaces de desarrollar competencias útiles para sus vidas, tales como las de aprender a aprender, aprender a comunicarse, aprender a convivir, aprender a tomar decisiones, aprender a organizarse para la acción conjunta coordinada y, con base en todas las anteriores, desarrollen competencias para gestionar y convertir en logros de sus vidas las iniciativas que se propongan para su desarrollo personal y colectivo, para resolver problemas y para satisfacer necesidades individuales y sociales.

Figura 1: Esquema circular e integrador de los aprendizajes por medio de los PPP
Fuente: Elaboración propia



Los componentes que integran estos proyectos son:

- Componente de organización, administración y gestión. Desarrollado a partir de procesos participativos y autogestionados, articulados a elementos de planeación, organización, dirección, control del proceso educativo y manejo eficiente de los recursos físicos y financieros. Propicia la autonomía escolar, la organización y el funcionamiento del gobierno estudiantil como espacio democrático, mejorando la capacidad para el logro de objetivos educativos formulados en la institución.
- Componente Pedagógico. Dinamizador de propuestas educativas y metodologías flexibles acordes a las necesidades del medio rural a partir de procesos de autoaprendizaje analítico, autónomo y creativo. Reconoce los saberes previos de los alumnos, articula la teoría con la práctica, promueve el desarrollo de proyectos pedagógicos y proyectos pedagógicos productivos, fortalece nuevas metodologías para garantizar la flexibilidad de los procesos curriculares y facilitar en el alumno el desarrollo de sus propias habilidades o destrezas.
- Componente de Interacción Comunitaria. Que fortalece la participación, organización y vinculación de la escuela con la comunidad, a fin de generar

espacios donde los aprendizajes escolares se multipliquen en las veredas como acciones educativas y sociales y contribuyan a afianzar las relaciones institucionales con organizaciones comunitarias.

- Componente de Proyectos Pedagógicos Productivos. Como eje articulador del currículo facilita la relación teoría y práctica en los alumnos, desarrolla competencias laborales, fomenta la autogestión, genera aprendizajes pedagógicos productivos, fortalece la capacidad de gestión y organización entre la institución, los padres de familia y demás miembros de la comunidad para la realización de eventos de fortalecimiento de los aprendizajes.

Figura 2: Componentes de los PPP
Fuente: (Worldbank, 2006)

Al menos tres retos parecen estar presentes en el camino hacia la puesta en práctica de los proyectos pedagógicos productivos con las expectativas que se acaban de señalar (IICA, 2003)[2]. El primero, ¿cómo lograr la cooperación entre actores económicos e instituciones educativas públicas?; el segundo, ¿cómo encontrar correspondencias entre contenidos curriculares y actividades productivas, que refuercen la formación de competencias de los estudiantes para acceder al mundo laboral, a la creación de empresa y, o, a la continuación de sus estudios hacia la educación superior?; y el tercero, ¿cómo evitar los riesgos de que los PPP se desnaturalicen y distorsionen, por ejemplo, concentrándose en la actividad productiva per se, o en la generación de ingresos o de empleo, o en un activismo con limitada contribución a las finalidades educativas?.

3.2 Modelos educativos flexibles y activos en la Institución Educativa Rural Fátima

A pesar de que la vida en el campo es muy diferente a la vida urbana, el modelo de escuela y la organización que se trasladaba a los ámbitos rurales era de corte urbano, con el agravante que no había acceso para todos los niños y mucho menos, para los jóvenes de veredas alejadas del casco urbano del pueblo de Ebéjico. Los enfoques fundamentales del mundo urbano, no calaba en la zona rural, puesto que no había identificación con los

[2] IICA:Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2003). *Lineamientos conceptuales y metodológicos sobre Proyectos Pedagógicos Productivos.*

modelos educativos trasladados de lo urbano a lo rural. Es por ello por lo que se decide optar por la puesta en marcha de un proyecto de GIA en la Institución Rural Fátima.

3.3 Requisitos de diseño

Una Granja Integral Autosuficiente está concebida como un terreno de entre 2 y 4 hectáreas, para que en esta área se desarrollen diferentes actividades agrícolas y pecuarias en un ambiente sostenible, donde cada uno de los procesos sea aprovechado al máximo, desde la producción agropecuaria hasta los residuos serán reutilizados en beneficio de la granja; una familia campesina tendrá dentro de la granja, que será parte integral en el proceso, no sólo en la explotación y administración, sino como agente de la cadena productiva y de desechos. Estas bases conceptuales de las granjas no se encuentran estipuladas en ninguna normativa, son más bien, las conclusiones a las que se han llegado a través de diferentes experiencias en el sector rural agropecuario.

La granja que se pondrá en marcha en la I.E.R. Fátima, del municipio de Ebéjico, tiene un carácter de granja educativa.

No se integran actividades relacionadas con el ganado vacuno, que en la mayoría de las granjas integrales autosuficientes está presente, por no contar con el área suficiente para las instalaciones adecuadas de producción de leche y sus derivados.

Por otro lado, las condiciones del terreno, ubicado en una zona cafetera de clima cálido, han definido los tipos de cultivo, y los animales que se adaptarán naturalmente al entorno.

Otro factor importante en las soluciones técnicas del proyecto, son la motivación e interés que puede despertar entre los estudiantes y su comunidad, los trabajos que se realizarán dentro de la granja. Un ejemplo claro de este factor, es que se optó por no incluir el cultivo de café, a pesar de ser un terreno y zona térmica aptos para ello. Los estudiantes y sus familias han vivido de la recolección de café, éste hace parte de su sustento, y por tanto no ven como un agente motivador, cultivar en su colegio café.

3.4 Análisis de soluciones

Algunas de los elementos de la granja fueron en el pasado objeto de estudio y puesta en marcha en la parcela de la I.E.R. Fátima, el huerto escolar, el cuidado de pollos de engorde, y hasta la adecuación del terreno para el cultivo de peces. Pero la experiencia ha demostrado que estos elementos trabajados de manera aislada no dan los resultados apropiados.

Por un lado, un solo elemento no genera los recursos suficientes para su sostenibilidad en el tiempo, por otro lado, al no haber una integración real de los diferentes grados, donde los niños desde preescolar hasta los jóvenes de Undécimo Grado, trabajen conjuntamente por un objetivo común, no se podrá generar una motivación colectiva en la que todos trabajen con la misma finalidad.

Así que en este proyecto, más que diferentes alternativas de solución, lo que se realizó fue una evaluación de las experiencias vividas en el pasado para sacar, el mayor provecho, encontrando en la integración de diferentes actividades agrícolas y pecuarias, donde participen activamente todos los miembros de la comunidad educativa, la mejor solución para hacer de la G.I.A un proyecto viable y con futuro.

Se llega así al objeto de gestionar la puesta en marcha de una Granja Integral Autosuficiente en la Institución Educativa Rural Fátima de Ebéjico, como actividad educativa y formativa de los estudiantes y toda la comunidad, cuyos elementos aptos según el clima, pisos térmicos, pendientes y áreas de la parcela, se describen a continuación:

3.5 Entregables

3.5.1 Un galpón de pollos de engorde cuya producción será dividida, una tercera parte para el comedor escolar y, dos terceras partes para la venta. Los excrementos serán utilizados en el compostaje.

3.5.2 Un galpón de gallinas ponedoras, que de igual manera que los pollos, se sacará provecho de la producción de huevos para el comedor y para la comercialización.

3.5.3 Conejos, cuya carne será usada en la nutrición de alumnos y sus familias, se aprenderán a hacer diferentes recetas en el restaurante escolar y se comercializará otro porcentaje.

3.5.4 Una porqueriza, con cerdas para crías y unos pocos lechones de engorde. En este caso el total de la producción, los lechones, será vendido. Los desechos sólidos de los cerdos representan un abono orgánico muy importante.

3.5.5 Un estanque para cultivo de peces, cuyos productos serán consumidos en el restaurante escolar, y mediante venta directa, comercializados en el sector.

3.5.6 Un huerto de hortalizas, aptos para el terreno, como zanahoria, pepino, cebolla junca, cilantro, remolacha. Se acompañará de plantas como la caléndula y la albahaca cuyas propiedades funcionan como plaguicidas, control biológico que forma el proceso de Alelopatía. Además, de plantas medicinales, que en el futuro pueden servir para comenzar una microempresa de bebidas aromáticas.

3.5.7 Un semillero

3.5.8 La fábrica de abono orgánico, composteras y el lombricultivo, con los desechos de los animales, servirán para podar la plantas.

3.5.9 Un cuarto de herramientas y almacenamiento.

4. Descripción de las actividades

Actividades agropecuarias

Construcción y adecuación del galpón para los pollos de engorde y las gallinas ponederas. La construcción la llevarán a cabo los padres de familia con experiencia en esta rama, los alumnos de primaria se encargarán de la adecuación del galpón, como la colocación de la viruta para cama y nidos, las lámparas, los bebederos y comederos, además del cuidado de las gallinas. Cuando la granja esté en funcionamiento, desarrollarán las actividades de explotación en el gallinero como la recolección de huevos.

Construcción y adecuación de la conejera. Una vez construida la conejera por parte de padre y líderes dela comunidad, los estudiantes de los últimos cursos de primaria se encargarán de poner adecuadamente los componentes para albergar los conejos y sus crías.

Construcción y adecuación de la porqueriza. Su puesta en marcha se llevará a cabo por parte de las madres de familia, y los alumnos de los últimos cursos de secundaria recibirán la formación tanto para la construcción como para el acomodamiento de los cerdos.

Construcción y adecuación del estanque de peces. Con ayuda de técnicos del SENA, después de la excavación del estanque, se impermeabilizará y se acondicionará para que pueda ser llenado y comenzar con el cultivo de los peces. Del estanque se encargarán los alumnos de primeros años de secundaria.

Adecuación del terreno para el cerco natural. Cultivo que marca los límites de la propiedad. Todos los alumnos participarán en el sembrado.

Adecuación del terreno para la huerta orgánica. La superficie total de la granja para esta actividad será distribuida a cada uno de los grupos, asignando pequeñas parcelas para los niños de primaria y, para los jóvenes, superficies más amplias.

Adecuación del terreno para cultivos de pancoger. El cultivo de maíz, el plátano y la yuca, no debe ser manejado por los alumnos más pequeños, por tanto, los jóvenes de secundaria con ayuda de padres de familia, se encargarán de la siembra, cuidado y recolección, siguiendo pasos similares a los de la huerta orgánica.

Adecuación del terreno para los árboles frutales. Los frutales como mango y naranjos se colocarán en las zonas no utilizadas en la granja, como caminos y sitios cercanos a la escuela.

Adecuación del terreno para flores. Las madres de familia se harán cargo de todo el proceso, que comenzará con la adecuación del terreno, como en cualquier cultivo y la siembra y explotación. Estarán siempre supervisados por los educadores.

Lombricultivo. Se construirá sobre el mismo piso de tierra, colocando una capa de grava para que sirva de drenaje. Luego se colocarán las lombrices y los nutrientes necesarios para correcto desarrollo y reproducción.

Semilleros. Seguirán los patrones de los lombricultivos pero servirán para plantas que no se pueden sembrar directamente en el terreno.

Sistema de abastecimiento y riego. Para el abastecimiento se suministrará agua proveniente de un manantial natural cerca de la institución, a los diferentes componentes de la granja: galpones, porqueriza, conejera y estanque. Para el sistema de riego, se instalarán tuberías para riego por goteo en las diferentes zonas de cultivo. Un tanque de almacenamiento de lluvias servirá como apoyo de suministro y estará conectado a todo el sistema. Las diferentes instalaciones se desarrollarán con personas expertas de la zona y con al ayuda de estudiantes y padres de familia.

Actividades educativas

Capacitación agropecuaria. Tanto en las actividades pecuarias como en las actividades agrícolas, los profesores recibirán la formación necesaria, posteriormente se harán reuniones con los padres de familia con los padres de familia y se dictarán charlas y talleres a los alumnos.

Capacitación en la preparación de alimentos y economía doméstica. La alimentación escolar es una potente herramienta que permite aliviar el hambre a corto plazo e incrementar la capacidad de aprendizaje de los niños. La alimentación escolar también ofrece un incentivo para que los padres envíen a sus hijos a la escuela o permitan que asistan con asiduidad. Además de aumentar los efectos a largo plazo en el estado de salud y nutrición de los niños y en los logros académicos de niños y jóvenes.

El fomento de la utilización de hortalizas ricas en nutrientes, incluidas las variedades autóctonas, de frutas y de otros alimentos, como el pescado y la carne de conejo en la escuela, los huertos familiares y comunitarios diversificarán la base alimentaria local, generará ingresos y añadirá valor nutricional a las comidas de los niños en las escuelas, contribuyendo con ello a mejorar su estado nutricional.

Se dictarán charlas con nutricionistas para que los padres, los profesores y los estudiantes, entiendan la importancia de una dieta variada y equilibrada. Por otro lado se les enseñará a manejar adecuadamente los recursos de la granja con el fin de mejorar la economía de las familias. Además se integrarán estos contenidos en las diferentes asignaturas para los alumnos de todos los cursos.

Creación de una asociación para la explotación de la granja. Una vez se firmen los compromisos entre los inversores, los directivos de la institución y la administración municipal, los representantes y líderes de los diferentes miembros de la comunidad educativa se reunirán para formar una asociación que vele por la transparencia y buena marcha de la granja una vez que comience a producir.

Asignación de tiempos y temas de horticultura en el programa escolar. Las actividades de sembrado, cuidado y cosecha de los diferentes cultivos, además del aprovechamiento de su producción, pueden ser parte de las actividades del plan de estudios, tanto en escuela Nueva como en telesecundaria.

Las materia básicas como la lectura, la escritura, las matemáticas, las ciencias y el arte pueden beneficiarse de la existencia de la agricultura aplicada a la escuela, lo cual hace el aprendizaje más interesante para os niños y jóvenes. Las actividades didácticas directamente relacionadas con la producción de cultivos, así como la nutrición, pueden integrarse según proceda a los estudios generales de ciencias y naturaleza.

La inclusión, también, de cursos de formación en contabilidad y comercialización en el programa académico en relación con los huertos y demás cultivos, aumentará también, las competencias en la esfera comercial y contribuirá a que se comprenda mejor el valor económico de la agricultura en pequeña escala.

Definición de contenidos en las diferentes asignaturas respecto de la crianza de animales. Para el caso de adecuación de los sitios que albergarán a los animales, su cuidado y explotación, se seguirán las mismas pautas que con los cultivos. A partir de las experiencias que se vayan viviendo, y con ayuda de los contenidos en asignaturas como matemáticas y biología, se enriquecerán los planes de estudio para lograr una verdadera educación cercana a la realidad de la vida campesina de los alumnos.

Se ofrece así, una formación básica que le abre la posibilidad, a los estudiantes y sus familias, de dedicarse al campo en forma competitiva y productiva. Para ello se desarrolla en los jóvenes la capacidad de gestar proyectos y asociaciones de economía solidaria que dan solución a problemas del entorno agropecuario y se incentiva la diversificación y aplicación de nuevas tecnologías rentables. Esto se logra mediante una metodología docente dinámica y flexible cuya constante es la construcción de conocimientos, el desarrollo de habilidades y la formación en valores.

Además de las prácticas en la granja de la institución, se hacen salidas de campo, consultas en la biblioteca y se acude a ayudas tecnológicas como videos e internet. La evaluación se hace mediante un registro semanal, que incluye planillas, vídeos y fotografías con especial énfasis en registros de producción, cronograma de actividades e informes de avance de proyectos.

Elaboración de material didáctico. La formación de maestros y voluntarios de la comunidad en la planificación, gestión y uso de la granja, y la preparación de directrices prácticas y material didáctico son elementos esenciales de todo programa eficaz. Han de determinarse y fomentarse mecanismos que permitan hermanar los huertos escolares con los agricultores locales que cuenten con experiencia en materia agrícola y pecuaria, para que, junto con los estudiantes, se cree material escrito y audiovisual que permita plasmar las experiencias vividas y sirva como elementos de consulta bibliográfica para generaciones futuras.

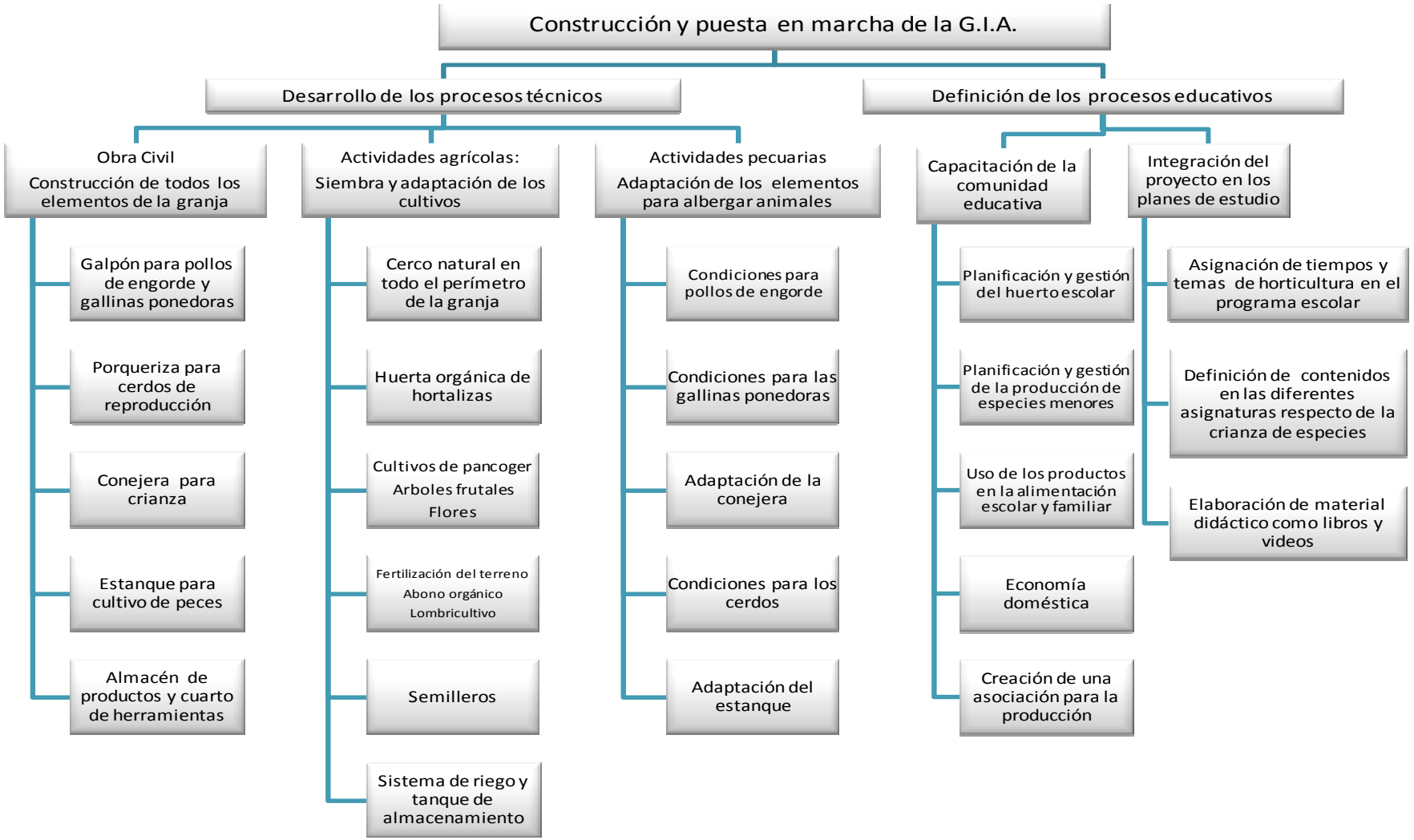


Figura 3: Estructura de descomposición del trabajo de la GIA para la Institución Educativa Rural Fátima

Fuente: Elaboración propia

5. Conclusiones

Los tres grandes desafíos a los que nos enfrentamos en el medio rural son: la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza y la gestión sostenible de los recursos naturales, pero a esto habría que sumarle el reto de la educación y la formación, ya que problemas como el desplazamiento de los jóvenes hacia las ciudades por falta de oportunidades, se puede revertir enseñándole al campesino a subsistir en su entorno, bajo condiciones favorables de sostenibilidad.

Por esto se crea como alternativa de solución, diseñar una granja integral autosuficiente que se convierte en un sistema ecológico demostrativo, centrado en la circulación y aprovechamiento máximo de los recursos existentes en la región, ofreciendo al estudiante el medio más eficaz para mejorar sus condiciones de vida y las de su familia, a partir de la coordinación docente-institucional, usando tecnologías apropiadas y llevando una gestión detallada de todos los procesos de construcción y puesta en funcionamiento, para que, en el momento que se ponga en marcha la explotación de la granja, haya dentro de la institución una cultura de la organización y seguimiento de los procesos para que el proyecto tenga continuidad a nivel productivo y sobre todo a nivel educativo, siendo apropiado para los estudiantes, acercando su realidad a las aulas de clase, para que sean capaces de solucionar problemas y vean en el campo verdaderas alternativas y oportunidades de progreso.

6. Referencias

FAO (1995). *Agricultura Mundial: hacia el año 2010.* Madrid, España: Ediciones Mundiprensa.

FAO (2004) Nota conceptual sobre los huertos escolares: la mejora de la nutrición y educación infantiles mediante programas de horticultura escolar. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Fundación Hogares Juveniles Campesinos (1995). *Compendio de manuales sobre Granjas Integrales Auto suficientes* (3ªedición). Colombia: Biblioteca del Campo.

Guerrero, C.J.; Cruz, J.P. (2002). *Granja Integral Autosuficiente*. Bogotá D.C., Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA.

.

IICA (2003*). Lineamientos conceptuales y metodológicos sobre Proyectos Pedagógicos Productivos.* Bogotá. Colombia: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Isaza Ramos, M.L. (2006). *Telesecundaria, Modelo Educativo Adaptado a Colombia*. Obtenido de http://info.Worldbank.org/etools/docs/library/235970/D3_TELESECUNDARIA_COLOMBIA.pdf

Martínez de Anguita d´Huart, P. (2006). *Desarrollo Rural Sostenible*. España: McGraw Hill

Nogues, S. (2004). *El futuro de los espacios rurales*. España: Universidad de Cantabria, servicio de publicaciones.

Seymur, J. (2004*). Guía Práctica de la Vida Autosuficiente*. España: BLUME.

01-047

DIAGNOSIS TO THE VALUE CHAIN OF THE FURNITURE INDUSTRY OF JALISCO, MÉXICO

Quintero Hernández, Luis Héctor; Martinez Gonzalez, Daniel Universidad de Guadalajara

This paper presents an analysis to the value chain of the furniture industry of the Jalisco state in Mexico, in order to display the sequence processes to improve their performance. Is applied the methodology of the Economic Commission for Latin American and the Caribbean (ECLAC) and the Agency for International Cooperation (GIZ). Which put principally attention to the next aspects: geographical distribution, domestic market, export capability, governance and collaboration networks. A proposal for their strengthening is developed by implementing systematic supports and specific actions, to facilitate the integration of Small and Medium Enterprises (SMEs), into regional chains that achieve a significant impact in their immediate social and economic environment.

Keywords: *SMEs; value chain; furniture industry.*

DIAGNÓSTICO DE LA CADENA DE VALOR DE LA INDUSTRIA MUEBLERA DE JALISCO, MÉXICO

Este trabajo presenta el análisis de la cadena de valor de la industria mueblera de Jalisco con el objetivo de visualizar los procesos de acompañamiento que mejoren su desempeño aplicando para su estudio la metodología de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Agencia de Cooperación Internacional (GIZ), poniendo principal atención en aspectos como su distribución territorial, mercado interno y capacidad exportadora, así como la gobernanza y redes. Se desarrolla una propuesta para su fortalecimiento a través de una serie de apoyos sistemáticos y acciones específicas que faciliten la integración de pequeñas y medianas empresas (Pymes), en cadenas regionales que logren generar un impacto significativo en su entorno social y económico inmediato.

Palabras clave: *Pymes; cadena de valor; industria mueblera.*

Correspondencia: Quintero H. L. hectorquintero@yahoo.com

1. Introducción

En los últimos años, el desarrollo de la política industrial en el mundo y particularmente en América Latina se ha dado en un contexto de consenso creciente sobre su importancia en el desarrollo económico incluyente y de largo plazo. Después de la crisis financiera internacional de 2008-2009 el papel de la intervención del estado en la economía retomó su importancia para actuar ante las posibles fallas del mercado, evidenciando nuevamente que el mercado por sí mismo, no necesariamente conduce a un crecimiento económico sostenible, con desarrollo y equidad social (CEPAL, 2010).

A partir del 2012 la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) ha señalado constantemente la importancia de los cambios estructurales para lograr un desarrollo económico y social equilibrado. Efectuando en algunos países de la región procesos de acompañamiento a iniciativas de cambio que tienen como objetivo principal incentivar las actividades y sectores con perspectivas de mayor crecimiento y productividad. El diseño de estrategias colaborativas de fortalecimiento de las cadenas de valor es una herramienta de gran utilidad para instrumentar la política industrial, ya que permite identificar y focalizar acciones específicas.

La estrategia de fortalecimiento de las cadenas de valor promueve la inserción de productores locales en cadenas regionales y globales de valor, generando un impacto significativo que mejora las condiciones económicas y sociales de su entorno inmediato.

Este instrumento se presenta como una herramienta analítica importante para priorizar la implantación de estrategias diseñadas en base a la problemática observada y al costo beneficio de realizar cada una de estas líneas de acción. Este insumo facilitara la toma de decisiones, optimizando los recursos disponibles (materiales, financieros y humanos), de acuerdo a la voluntad de los agentes involucrados.

Los principales agentes de la cadena participan directamente en la provisión de insumos, la producción, el transporte y la comercialización. Estos se encuentran alojados en los diferentes niveles institucionales y escalas territoriales que conforman el grupo de eslabones. Los entes públicos y privados proveen productos y servicios que apoyan el funcionamiento de la cadena, incluyendo el embalaje, la manipulación, la certificación y el apoyo financiero, en la medida que tales actividades no sean llevadas por los actores propios de las cadenas.

En este contexto se presentan los resultados de la metodología de fortalecimiento de cadenas de valor cuyo objetivo principal es incrementar el valor agregado de la cadena, facilitando el acceso a nuevos mercados potencializado por el desarrollo del Clúster Mueblero de Jalisco, a partir de la mayor inclusión de pequeñas y medianas empresas (Pymes). El diagnóstico para el desarrollo de las estrategias fue practicada en 115 empresas (principalmente productores de mueble), 5 representantes gubernamentales (gobierno del estado de Jalisco) y 2 académicos que coordinaron las acciones del grupo. La función de estos últimos fue agrupar las necesidades, priorizar la problemática y establecer las acciones de mejora con base en el consenso del grupo.

Propiciando el dialogo, primero entre los productores para posteriormente fortalecer éste con la articulación del gobierno, universidades, centros de investigación y organizaciones internacionales. Esta colaboración en red permitió la incorporación de nuevos socios estratégicos y actores posiblemente no contemplados pero que con el trabajo de estas sinergias ven la conveniencia de integrarse en los esfuerzos articulados de la cadena de valor. Actualmente se está desarrollando una segunda etapa de diálogo y consenso para evaluar, enriquecer y ajustar las estrategias.

2. Diagnóstico de la cadena de valor

El análisis de la cadena de valor de la industria mueblera de Jalisco tiene como objetivo visualizar los procesos de acompañamiento que mejoren su desempeño aplicando para su estudio la metodología de la CEPAL y la Agencia de Cooperación Internacional (GIZ), poniendo principal atención en aspectos como su distribución territorial, mercado interno y capacidad exportadora, así como la gobernanza y redes. Se desarrolla una propuesta para su fortalecimiento a través de una serie de apoyos sistémicos y acciones específicas que faciliten la integración de pequeñas y medianas empresas en cadenas regionales que logren generar un impacto significativo en su entorno inmediato.

Esta metodología posibilita ver a detalle los procesos de creación de valor de cada eslabón, la relación entre estos y la estructura de la cadena, aunque pertenezcan a distintos sectores. A diferencia del enfoque sectorial, el estudio de las cadenas permite analizar con mayor detenimiento los actores, vínculos y procesos. En la primera parte se hace un diagnostico breve de las restricciones y oportunidades existentes en los distintos eslabones de la cadena de valor.

La importancia de la industria mueblera de Jalisco es que es el tercer estado con mayor número de unidades económicas representando el 7.82% del total de las industrias manufactureras con 2,344 empresas y aunque del año 2004 a 2009 se incrementó la cifra de unidades económicas, este incremento se mantiene prácticamente en todas las ramas del sector. Esta proporción se conforma básicamente de una industria tradicional donde el 84.39% corresponde a la fabricación de muebles excepto cocinas y muebles de oficina y estantería (INEGI, 2009).

La cadena se muestra como un sistema abierto que desarrolla una función benéfica para la sociedad, al proveer de productos y servicios que mejoran su calidad de vida. En esta función la industria recoge del ecosistema flujos de materia, energía e información y los transforma en nuevos flujos de materia, energía e información. Todo ello con un costo económico, social y ambiental.

En la cadena madera-mueble de Jalisco se distinguen básicamente dos sectores: uno dedicado a la primera transformación, que incluye los procesos de aserrado, tratamiento inicial y fabricación de tableros, predominando este último. En la siguiente transformación el principal resultado es la fabricación de muebles sin incluir cocinas muebles de oficina y estantería.

En cuanto a su estructura empresarial, la base del tejido empresarial está compuesta mayoritariamente por Pymes, con un peso muy importante tanto en la creación de riqueza productiva como en la generación de empleo. Y aunque existe una gran heterogeneidad dentro de la industria mueblera de la región en cuanto a la capacidad productiva, administrativa y tecnológica de los productores, se pueden generalizar algunas de las características más comunes en este estudio. Su heterogeneidad era un aspecto muy importante a determinar para poder estratificar proyectos específicos para cada segmento regulando su integración de acuerdo a sus características.

Por lo que, en general se detecta que la producción de muebles de la región es en un 95% salas, comedores, recamaras y centros de entretenimiento. Fabricados principalmente de aglomerado, MDF, HDF, flexiboard y tablero panal. Existe muy poca incursión hacia el mercado de muebles de oficina, cocina y construcción.

El estilo predominante en la industria es artesanal, con escaso diseño y poco avance tecnológico, en estos puntos es dónde las empresas de la región buscan invertir para

presentar una oferta de muebles con calidad y bajo costo no permitiéndose entrar en la recesión alcanzando una alta productividad, implantando para ello con procesos automatizados y tecnología de punta de principio a fin.

Se observa además una búsqueda por trascender el aspecto rústico y robusto de los muebles mexicanos al cual se había acostumbrado el mercado internacional; hoy la diversidad de estilos del mueble hecho en México es un signo distintivo de la oferta nacional.

Básicamente su producción es comercial con pocos productores para segmento alto, sus clientes son en su mayoría las grandes tiendas departamentales como: Elektra, Coopel, Liverpool (Fabricas de Francia), Sears, Hermanos Vázquez, Famsa, SAM´s, Muebles Plasencia, Muebles Dico, Muebles Troncoso, Mundihogar, Excel, Albassan, Frey, Rosend, Maple, D´europe, Dixy, Vanbeuren, Artex, Habitania y Bender, entre otras.

Estas empresas que están bien posicionadas en el ramo, cuentan con un buen desarrollo de la mercadotecnia y múltiples puntos de venta, que brindan una cierta estabilidad económica al productor pero que reducen en muchas ocasiones sus márgenes de utilidad ya que estas tiendas ofrecen distintas ofertas y facilidades de pago al usuario final como: descuentos por fin de temporada, meses sin intereses, abonos semanales, entre otros y que muchas veces estos instrumentos de venta castigan de utilidades del productor.

Dentro de esta gama de características comunes de la industria mueblera podemos detectar la siguiente problemática:

- La falta de innovación en estilo, diseño, multifuncionalismo, materiales y colores, la monotonía en el diseño está acompañada con la producción del mismo modelo por varios productores, pero no como una forma de generar economías de escala.
- Dentro de la región la especialización se ha dado en base a la experiencia y el cariño a esta actividad tradicional, la preparación, capacitación y profesionalización solo está presente en el 8% de las industrias del sector, empresas que ya cuentan con tecnología de punta y personal altamente capacitado.
- La mayoría de estas empresas carece de liquidez para soportar grandes inventarios lo que trae consigo que se amplíen los tiempos de entrega, además se vuelven las financieras de las grandes tiendas departamentales.
- El 80% de la actividad se financia a costa de los productores.
- Los costos de transporte se elevan debido a la corrupción, robo o secuestro de unidades en algunos casos. El costo estándar puede variar del 5% en la zona centro hasta un 20% en algunas regiones del norte y sureste del país.
- Solo el 38% menciona haber adquirido maquinaria, aunque no todas las compras de maquinaria y herramentales sea nueva.
- El 30% ha desarrollado maquinaria o herramentales, pero no se ha documentado para su venta en toda la industria.
- El 85% de la maquinaria es importada principalmente de E.U, Italia, España y Alemania. Aunque últimamente se ha venido incorporando a esta lista Brasil.
- Sólo el 23% de las empresas muebleras de la región está planeando adquirir maquinaria.

En este contexto el conocimiento de las necesidades del consumidor es el factor más importante para la permanencia de esta industria en la región por lo que se analizan las características más relevantes de compra entre las que se encuentran: un producto de calidad a bajo costo, con buenos acabados, que en estos tiempos tengan una adecuada funcionalidad y estética para ganar espacios.

Además de esto el consumidor persigue otros factores importantes para su decisión de compra como son: atención, proximidad, variedad, diseño, prestigio de la marca, imagen y facilidades de pago.

Las mejoras en el diseño y niveles de productividad en los procesos es la única forma de competir con los productos de importación que cada vez tenemos México en mayores porcentajes. Por lo que debemos aprovechar el alto consumo de mueble moderno que se tiene en la actualidad creando diseños de acuerdo a la demanda, todos estos puntos característicos de la industria y el conocimiento del contexto internacional nos llevan a analizar a fondo los mecanismos que nos permitan llevar a cabo estos ajustes.

Tabla 1: Distribución de unidades económicas del sector muebles en Jalisco

Sector, Subsector, Rama	Descripción	Unidades económicas			
		Absolutos		Relativos	
		2004	2009	2004	2009
31-33	Industria manufacturera	24,742	29,991	100%	100%
337	Fabricación de muebles y productos relacionados	1,836	2,344	7.42%	7.82%
3371	Fabricación de muebles, excepto de oficina y estantería	1,711	2,174	93.19%	92.75%
33711	Fabricación de cocinas	115	196	6.26%	8.36%
33712	Fabricación de muebles excepto cocinas y muebles de oficina y estantería	1,596	1,978	86.93%	84.39%
3372	Fabricación de muebles de oficina y estantería	89	130	4.85%	5.55%
33721	Fabricación de muebles de oficina y estantería	89	130	4.85%	5.55%
3379	Fabricación de productos relacionados con los muebles	36	40	1.96%	1.71%
33791	Fabricación de colchones	27	28	1.47%	1.19%
33792	Fabricación de persianas y cortineros	9	12	0.49%	0.51%

Fuente: Elaboración propia con base en el Censo Económico 2004 y 2009, INEGI.

2.1 Distribución territorial

En cuanto a su distribución geográfica, el 70% de la producción de este sector en el estado se concentra en dos zonas; seis municipios de la ZMG (Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, Tlajomulco de Zúñiga y El Salto) y la Zona Metropolitana de Ocotlán (conformada por Ocotlán y Poncitlán). La parte restante se concentra en municipios como, Puerto Vallarta, Zacoalco de Torres y Zapotlán el Grande, estos dos últimos con producción de equipal y producción de mueble rústico respectivamente. Tan sólo en el municipio de Ocotlán el 31.76% de la actividad manufacturera está representada por la industria mueblera.

Tabla 2. Concentración de unidades económicas por municipio

Municipio	Unidades económicas
Guadalajara	537
Zapopan	293
Tonalá	256
Ocotlán	209
Tlaquepaque	191
Zacoalco de Torres	86
Puerto Vallarta	58
Arandas	39
Tlajomulco de Zúñiga	36
Gómez Farías	35
Tepatitlán de Morelos	33
El Salto	30
Zapotlán el Grande	30
Autlán de Navarro	27

Fuente: Elaboración propia con base en el Censo Económico 2009, INEGI.

Figura 1: Concentración geográfica de unidades económicas

Fuente: Elaboración propia con base en el Censo Económico 2009, INEGI.

2.2 Mercado interno y capacidad exportadora

La cadena de valor de la industria mueblera de Jalisco se caracteriza por una marcada orientación hacia el mercado interno con solo el 0.03% en materia de exportaciones. No obstante, también es cierto sólo importa el 0.89% de este sector del total de sus importaciones.

Una de las principales limitaciones que ocurren frecuentemente entre los pequeños y medianos empresarios que aspiran a internacionalizar sus productos y negocios es la detección de oportunidades existentes en los mercados del exterior, para después poderlas evaluar y aprovechar, es decir, para conocer sus oportunidades y amenazas.

Si bien es cierto que la competencia internacional se ha incrementado de forma importante, también es cierto que los productores de la región han logrado mantener su mercado debido a que este todavía se encuentra acostumbrado a los muebles robustos, con una mejor calidad y durabilidad. Muchos de los muebles importados son para armarse por el propio comprador y son de baja calidad, aunque ya algunas tiendas departamentales envían ya el producto y en unos días más remiten a los técnicos para su armado incluido en el precio inicial.

Tabla 3: Importaciones y exportaciones del sector manufacturero de Jalisco en 2009

	Importaciones		Exportaciones		Balanza
	Monto	%	Monto	%	Monto
Industria de la madera y productos de madera	266,683,263.01	0.89	6,705,714.54	0.03	-259,977,548.47
Industria metálicas básicas	498,669,372.08	1.66	347,197,169.20	1.42	-151,472,202.88
Otras industrias manufactureras	4,359,411,624.82	14.54	2,591,895,758.61	10.58	-1,767,515,866.21
Papel, productos de papel, imprentas y editoriales	558,319,884.07	1.86	72,624,815.79	0.30	-485,695,068.28
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	1,765,481,183.05	5.89	1,719,130,429.12	7.02	-46,350,753.93
Productos de minerales no metálicos (excepto derivados del petróleo y carbón)	908,931,160.51	3.03	314,697,315.51	1.28	-594,233,845.00
Productos metálicos, maquinaria y equipo	17,679,434,586.06	58.99	18,026,235,192.22	73.58	346,800,606.16
Sustancias químicas, derivados del petróleo, productos del caucho y plástico	3,039,958,351.40	10.14	1,120,573,356.25	4.57	-1,919,384,995.15
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	895,148,693.44	2.99	299,078,432.14	1.22	-596,070,261.30
Cifras en dólares	29,972,038,118.44	100%	24,498,138,183.38	100 %	-5,473,899,935.06

Fuente: Elaboración propia con base en el Censo Económico 2009, INEGI.

Aunque esta nueva idea de “hágalo usted mismo” aún no está arraigada en México, es una opción que se debe considerar para la adaptabilidad al modelo internacional expuesto en el propio sector. IKEA la empresa sueca líder en el mercado mundial de muebles para armar (que cuenta con más de 250 tiendas en aproximadamente 35 países), ha demostrado que este modelo de negocio funciona.

2.3 Gobernanza

La gobernanza de la cadena muestra el marco relacional en el que actuaran económicamente las empresas, su relación entre estas y otros agentes de apoyo que pueden venir del gobierno o del propio sector privado. El análisis de la gobernanza debe ser constante ya que depende entre otros, de los cambios de las estrategias de las empresas involucradas y los factores institucionales, tecnológicos y de innovación organizacional (Gereffi, Humphrey y Sturgeon, 2005).

En general la cadena es dominada por los compradores, las grandes tiendas departamentales seleccionan a sus proveedores mediante una serie de criterios, principalmente precio, la calidad es prácticamente uniforme entre los productores. Pero uno de los aspectos fundamentales para su competitividad es la capacidad de producción y capitalización, este último les permite reducir sus tiempos de entrega ya que muchas veces se tienen que soportar los largos plazos de pago que imponen los grandes compradores.

Muy pocos productores tienen un producto diferenciado o diseños exclusivos lo cual beneficia a los grandes compradores, los cuales aprovechan esta situación para obtener el mismo producto con el productor que le entregue estos artículos a un menor precio. Únicamente los productores que se centran en nichos poco congestionados o especializándose en un solo artículo, han logrado mantener una ventaja competitiva y poder establecer sus condiciones.

Dentro de la gobernanza de la cadena de valor se encuentra instituciones tanto públicas como privadas, entre ellas la Secretaria de Desarrollo Económico (SEDECO) quien promovió la formación de un Clúster del Mueble que aun cuando en un inicio nació como Clúster Mueblero de Ocotlán (CMO) en la región Ciénega de Jalisco, los trabajos de construcción de un Clúster de Mueble de Jalisco ya estaban presentes entre la Asociaciones de Productores de Mueble más importantes del estado por lo que rápidamente se extendió la iniciativa a conformar el Clúster Mueblero de Jalisco (CMJ) integrado por:

- La Asociación de Fabricantes de Muebles de Ocotlán (AFAMO)
- La Asociación de Fabricantes de Muebles de Jalisco (AFAMJAL)
- La Cámara de la Industria Mueblera de Jalisco (CIMEJAL)
- La Universidad de Guadalajara-Centro de Innovación, Incubación y Diseño (CIID)
- La Fundación Mexicana para la Innovación y Transferencia de Tecnología en la Pequeña y Mediana Empresa (FUNTEC)
- La Cámara Regional de la Industria de la Transformación (CAREINTRA)
- La Exposición Nacional de Artículos de Regalo y Decoración Artesanal Mexicana (ENART) y
- La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción de Jalisco (CMIC).

Estas dos últimas con el propósito de cerrar aún más la cadena de valor, donde la construcción de casas, sean ya vendidas amuebladas y decoradas.

2.4 Redes

Uno de los factores más importantes que influyen en la cadena de valor es el acceso a redes, estas forman parte del capital social de la cadena. Este sistema de redes permite estrechar los vínculos, conforme las conexiones se expanden, forman una red de propiedades similares a las que prevalecen en una red social. La intensidad de los vínculos entre la empresa y cualquier otro ente de la red depende de la frecuencia, el nivel y la reciprocidad de la relación, entre más frecuente en profundidad y beneficio mutuo, más fuerte y durable es la red.

Existe un conocimiento suficiente de los proveedores y los intermediarios comerciales de la cadena, pero si bien las relaciones entre los elementos de la red es casi de información perfecta son las fuerzas del mercado las que determinan la frecuencia y profundidad de la relaciones de la red.

2.5 Resultados y conclusiones

Si bien existe una red articulada entre las empresas que integran la cadena de valor en el fortalecimiento de la cadena siempre están implícitas percepciones individuales o grupales. En esta interacción entran en esencia ideas, juicios de valor y construcciones interiorizadas que determinan la interpretación de las propuestas u opiniones que cada uno emite y recibe de este diálogo.

El diálogo es un factor central en el fortalecimiento de la cadena ya que permite alinear una gran cantidad de percepciones individuales y grupales que ayudan a realizar alianzas estratégicas y que hacen que este diálogo resulte benéfico y productivo. No toda comunicación entre las partes es un diálogo, pero un diálogo si establece una comunicación. El desahogo de las primeras reuniones permitió compartir algunos elementos clave tanto como para la definición de una problemática común, así como, para establecer prioridades y oportunidades.

Una vez realizado este acercamiento en donde los interlocutores reconocieron esa falta de acciones conjuntas que en ocasiones son aisladas y fragmentadas. Uno de los factores más importantes es la confianza, la construcción de esta confianza se da paulatinamente conforme se le da transparencia a la información y a los beneficios obtenidos, en un marco de tolerancia, respeto y solidaridad, esto es lo que da una percepción positiva a las estrategias de fortalecimiento.

Es claro que a este nivel los involucrados actúan con base a un móvil de conveniencia e intereses individuales y grupales. Los mejores diálogos que atestiguamos son los que logran un peso común en el que todos los puntos, propuestas u opiniones son considerados, ignorar cualquiera de estos puede cerrar la puerta a un grupo de interlocutores. También es común que existan tensiones a partir de los beneficios obtenidos a partir del fortalecimiento de la cadena.

La visión compartida es la consistencia del propósito del fortalecimiento de la cadena, esto es la manera en que cada individuo o grupo percibe los objetivos y metas del clúster. Esta visión compartida depende de la buena planeación de los interlocutores, si los miembros de cada empresa, gremio u organización logran una misma visión, misión y objetivos es más sencillo llegar a resultados favorables (Ganar-Ganar).

La falta de información, la duplicación de actividades y, sobre todo, la falta de motivación entre los empresarios para apoyar, solicitar y colaborar en programas de capacitación, impiden consolidar un comportamiento asociativo entre la industria y el sistema educativo técnico que permita utilizar productivamente estos servicios. Es imprescindible lograr una articulación entre los diversos actores que provean la formación y capacitación de recursos humanos y la producción de conocimientos para la generación de ciencia y tecnología

acorde a las necesidades de cada región en particular, donde la investigación crea un ambiente interinstitucional favorable para el desarrollo de la información y el aprendizaje, por lo cual es importante resolver los problemas de cooperación.

Es importante mencionar que el fortalecimiento de la cadena de valor es multifactorial pero entre las conclusiones que arroja este estudio para potencializar su desarrollo se encuentran 2 ejes centrales y algunas acciones complementarias:

1. La Gestión de las Relaciones con los Clientes y la Gestión de la Cadena de Suministro conocidas por sus siglas en inglés (CRM y SCM), esto con la finalidad de complementar la cadena de valor tanto hacia atrás como hacia adelante, es decir, Proveedores-Productores-Clientes, con el propósito de poder establecer el desarrollo de compras en común, ventas en común y generación de empresas productoras y comercializadoras de productos y servicios específicos para la generación de economías de escala.
2. Impulso al desarrollo y colaboración con centros de diseño, debido a que una de las problemáticas más importantes era la diferenciación en el diseño, mejorar las técnicas de diseño, capacitar a sus diseñadores con software especializado en el diseño de muebles que además cumplieran con características de ecodiseño.

Acciones complementarias

- Mantener e incrementar la cooperación de la cadena de valor.
- Dar seguimiento y buen fin a las líneas estratégicas prioritarias.
- Lograr la integración y complementariedad de toda la cadena de valor.
- Consolidar el cambio de la actitud empresarial hacia la colaboración para competir.
- Que las cámaras y asociaciones permeen con celeridad este cambio de actitud.
- Vinculación más estrecha con las universidades y centros de investigación.
- La consolidación del parque industrial mueblero en Ocotlán.
- Continuar desarrollando programas de capacitación gerencial
- Terminar de implantar el software de gestión y gobernanza de la cadena de suministro.
- Fortalecer los esquemas de compras y comercialización.
- Planeación económica de la producción y especialización para la producción conjunta.
- Seguimiento puntual de las diferentes variables mercadológicas a nivel nacional e internacional la cual permita encontrar nuevos nichos de mercado.

El desarrollo de estas acciones aporto beneficios a todos los agentes económicos involucrados vía vinculación y alianzas estratégicas aplicadas, como lo son: industria, universidades (estudiantes-maestros-ingresos propios y aprovechamiento de capacidades), gobierno, cámaras y organismos empresariales, así como a su entorno en general.

Beneficios del fortalecimiento de la cadena hacia su entorno inmediato.

- Generan mayor derrama económica en la región o zona de influencia.
- Prestigio de la región al elaborar el producto común y con mejor calidad.
- Respuesta rápida a los cambios de la industria.
- Generación de economías de escala.
- Especialización de las empresas en productos, procesos y maquinaria.
- Fortalece las industrias de la cadena de valor.
- Eleva los niveles de competitividad de las empresas mediante su integración en las cadenas productivas.

2.6 Referencias

CEPAL (2012), Cambio estructural para la igualdad. Una visión integrada del desarrollo. Síntesis (LC/G. 2524(SES.34/4)), Santiago de Chile.

_____ (2010), La hora de la igualdad: brechas por cerrar, caminos por abrir. Síntesis (LC/G. 2433(SES.33/4)), Santiago de Chile.

Gereffi, G., J. Humphrey y T. Sturgeon, (2005), "The governance of global value chains", Review of international Political Economy, vol. 12 No. 1, Londres, Routledge.

INEGI (2004). "XVI Censo Industrial", Censos Económicos.

_____ (2009). "XVII Censo Industrial", Censos Económicos.

01-051

SUSTAINABLE PLM ARCHITECTURE FOR ENGINEERING PROJECTS

Huertas Vera, María del Carmen [1]; Peralta Álvarez, María Estela [1]; Marcos Bárcena, Mariano [2]; Aguayo González, Francisco [1]; Córdoba Roldán, Antonio [1]; González-Regalado Montero, Eduardo [1]

[1] Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla, [2] Universidad de Cádiz

Organisations must carry out the management of sustainability in their projects in the best efficient way. This situation incorporates a great complexity to the life cycle project and increases the volume of information. For this aspects, PLM system (Product Lifecycle Management) are an appropriate choice of design and development process for sustainable projects and a possible solution to reduce the complexity of managing information. Currently PLM system make available all necessary information to the different departments and stakeholders of organisations. But if we analyse the real solutions in detail (both commercial and model which have been developed in the scientific community) there is any tool to manage the sustainability in a comprehensive and efficient way. For this situation in this paper a PLM architecture for sustainability is developed to carry out sustainable engineering projects under strategies of data management. This PLM Architecture can help companies to identify requirements, organise, distribute and manage all relevant information, thought the perspective of the triple-Bottom line (economic, ecological and social).

Keywords: *Sustainability; PLM systems (product lifecycle management); PLM architecture; PDM (product data management); Triple Bottom Line; sustainable projects*

ARQUITECTURA DE PLM SOSTENIBLES EN PROYECTOS DE INGENIERÍA

Las organizaciones deben llevar a cabo una correcta gestión de la sostenibilidad en sus proyectos. Esta situación incorpora una gran complejidad a su ciclo de vida y un aumento en el volumen de información relativa al proyecto. Por lo que los sistemas PLM (o gestión del ciclo de vida del producto) son una opción adecuada de diseño y desarrollo de proyectos sostenibles y una posible solución en la reducción de la complejidad de gestión de la información. Actualmente los gestores PLM desarrollados ponen a disposición de los diferentes departamentos e interesados (stakeholders) de las organizaciones, toda la información del producto o proyecto en cualquier fase de su ciclo de vida, aunque si analizamos las soluciones en detalle (tanto comerciales como planteadas en la comunidad científica) no existe una herramienta que gestione la sostenibilidad de forma integral y eficiente. Por esta situación en el presente trabajo se identifica y formula una arquitectura de PLM sostenible para la gestión de proyectos en ingeniería, bajo estrategias de gestión de datos que permitan a las empresas identificar los requerimientos de información relevantes para la sostenibilidad del sistema, estableciendo la integración de la información desde la perspectiva de la triple-E (económica, ecológica y social).

Palabras clave: *Sostenibilidad; sistemas PLM (gestión del ciclo de vida del producto); arquitectura PLM; PDM (gestión de los datos del producto); Triple Bottom Line; Proyectos sostenibles*

Correspondencia: Mª Carmen Huertas Vera mcarmenh89@gmail.com

1. Introducción

Las industrias de fabricación actualmente están incorporando tecnologías de frontera como soluciones de diseño, fabricación y tecnologías de soporte. Esta situación conlleva para su control eficiente, un conjunto de procesos de gestión de la información que mueven un gran volumen de datos que las empresas deben gestionar (calidad, prevención, Responsabilidad Social Corporativa, costes, tiempos, materiales, recursos humanos, etc.). En este sentido, el uso de las tecnologías TIC para soportar el diseño y fabricación no son una excepción, siendo los sistemas PLM (Product Lifecycle Management) uno de los pilares en los que se sustenta la gestión de los datos del producto y procesos de fabricación. Pero desde el comienzo de la revolución industrial, las industrias manufactureras han sido las principales responsables de los impactos sobre el medio ambiente, situación que ha provocado una gran presión gubernamental y social sobre las organizaciones a través de regulaciones y leyes ambientales tanto a nivel nacional como internacional. Todo lo anterior determina la necesidad y oportunidad de llevar a cabo el presente trabajo abordando la gestión de la información operacional y sostenible en la gestión de proyectos, a partir de la estructuración de una nueva arquitectura para sistemas PLM sostenibles. Para ello se expone en las siguientes páginas el estudio del estado del arte de los sistemas PLM sostenibles y el desarrollo de una solución de diseño y gestión bajo la orientación PLM que permita incorporar criterios de sostenibilidad en proyectos, productos y procesos de fabricación como herramienta de evaluación y gestión de la sostenibilidad integral 3E.

2. Product Lifecycle Management: sistemas PLM para el desarrollo sostenible

La gestión del ciclo de vida del producto (Stark, 2011), en adelante PLM**,** es un concepto sistemático y controlado para la gestión, el desarrollo y el control de la información relacionada con un producto. Consiste en la gestión, de la manera más eficaz, de los productos de la empresa a través de todo su ciclo de vida (CV): diseño, fabricación, logística, uso y fin de vida útil. El objetivo de PLM es aumentar la eficiencia y eficacia operativa de la empresa (tiempos, costes, recursos humanos, calidad, etc.) maximizando el valor de la cartera de productos y su proyección a todos los interesados. Actualmente PLM es utilizado por todos los sectores que en el CV de sus productos tengan que controlar un gran volumen de información: desde ingeniería aeronáutica, desarrollo informático hasta industria farmacéutica o actividades financieras. Y se aplica indistintamente a cualquier tipo de producto seleccionando el conjunto de funciones requeridas que resultan adaptables, es decir, un sistema PLM es dinámico y puede satisfacer entre otras, las siguientes necesidades (Stark, 2011; Pérez, 2011).

En un nivel de **planificación y gestión de cartera o proyecto**, se encarga de la *gestión de cartera de manera estructurada, de las etapas del CV del producto, proyecto o sistema y retroalimentación adecuada con los interesados (clientes, ingenieros, cadena de suministro, etc.)* En un nivel relativo a la **gestión de las actividades** a llevar a cabo dentro de cada etapa del CV de los productos, PLM se encarga de (1) *gestionar los procesos relacionados con el producto de una forma integrada en cada una de las etapas del ciclo, (2) almacenar, organizar, jerarquizar, controlar, distribuir y asegurar en tiempo, forma y seguridad, la información relativa a las tareas, actividades o procesos de la etapa correspondiente del ciclo, (3) mantener la integridad y actualización de la información y maximizar su disponibilidad y (4) almacenar, gestionar y proteger los datos.* Por último, teniendo en cuenta un **nivel operativo** dentro de actividades del CV, PLM permite *(1) gestionar los documentos del proyecto, producto y sistema y su actualización según los cambios requeridos en cada tarea, (2) compartir datos de forma controlada y directa, (3) ejecutar procesos y flujos de trabajo, (4) permitir la visualización de datos y documentos e (5) integrar la información de ingeniería con otros sistemas y procesos informáticos de la organización.*

2.1. Evolución de los sistemas PLM: hacia la gestión de la sostenibilidad

Todas las funciones que han sido descritas en los párrafos precedentes han ido enriqueciendo los sistemas PLM a lo largo de las últimas décadas, gracias a la evolución tecnológica de las empresas y las necesidades de gestión a medida que la complejidad de datos y volumen de información aumentaba. Esta evolución está caracterizada por tres cambios estructurales en las arquitecturas PLM que se representan en la figura 1.

Figura 1: Evolución estructural de sistemas PLM

A finales de los años 80 surge EDM (Gestión de Datos de Ingeniería) y posteriormente PDM (Gestión de los Datos del Producto) como soluciones para satisfacer la necesidad de poseer un sistema que permitiese el seguimiento de los crecientes volúmenes de archivos de diseño generados mediante los sistemas CAD en las industrias de fabricación. PDM permitió estandarizar productos, almacenar y controlar los archivos de documentos, mantener la lista de materiales actualizada, controlar las versiones de los elementos del producto y verificar los documentos de revisión. Esta funcionalidad facilitó el acceso rápido a elementos estándar y archivos para su reutilización al tiempo que redujo el riesgo de utilizar versiones de diseño incorrectas y fomentó la reutilización de la información del producto existente (Stark, 2011). Posteriormente (PTC, y coincidiendo con el crecimiento tecnológico, el desarrollo social y la expansión de los mercados industriales, surgió la necesidad de gestionar paralelamente el volumen de datos implicados en la planificación de recursos empresariales (ERP, que cumple las funciones de gestión del calendario de producción, de inventario, aprovisionamiento, logística e información contable y financiera) y aquellos pertenecientes a todas las fases del CV del producto (PLM, con la gestión de requerimientos del producto, configuración, diseño de detalle, procesos de fabricación, gestión de cambios, entre otros).

Con el tiempo surge la intención de unificación global, a partir de la creación de un sistema que pudiera almacenar y gestionar dentro de una solución unificada, cualquier tipo de información dentro del CV; PLM ofrece en tres unidades funcionales independientes *un almacén de archivos, una base de metadados y la propia aplicación o interfaz de usuario* que actúa como enlace y facilita las diferentes conexiones entre todas las etapas del CV del producto o proyecto. Este sistema unificado de PLM está dividido en cuatro grandes gestores o subsistemas: **ERP** o *Planificación de los recursos empresariales*, **SCM** o *Gestión de la cadena de suministro*, **CRM** o *Administración basada en la relación con los clientes* y **HCM** o *gestión de los recursos humanos* (CIMData 2012; Peralta, 2011). Esta última evolución es conceptualizada en este trabajo como **PLM INTEGRADO**, que permitirá la colaboración de ingeniería y donde la sostenibilidad debe tener cabida en cada una de las actividades implicadas.

Figura 2: PLM integrado

2.2. Sostenibilidad en los sistemas PLM para la gestión de proyectos, productos y sistemas

Para desarrollar con éxito proyectos, productos y sistemas sostenibles, las empresas deben implementar un marco de trabajo integrado en tres dimensiones: social, económica y ambiental. Esto implica que la industria tiene que modificar el enfoque económico tradicional que viene desarrollando desde la revolución industrial para incluir las dimensiones ambientales y sociales en beneficio del desarrollo sostenible, es decir, para minimizar los impactos generados durante décadas y recuperar el valor perdido a través de actividades más "sostenibles" que fomenten el respeto de la diversidad natural, la minimización del gasto de recursos y la creación de valor social (Elkington, 1997). Bajo esta perspectiva la sostenibilidad se aborda desde la estrategia enmarcada en el concepto triple E, Triple Bottom Line o 3E (economía, equidad y ecología). Este nuevo marco de trabajo para el potencia un fractal dinámico no lineal, eliminando las siguientes posiciones unidimensionales que dan lugar a la insostenibilidad de proyectos, productos y sistemas: (1) La perspectiva económica del negocio asociado a la rentabilidad del producto (capitalismo), sin considerar los aspectos ambientales y sociales, (2) visión de la equidad, prestando solo atención a los segmentos de mercado de grupos desfavorecidos y a la sostenibilidad cultural, sin considerar aspectos económicos ni medioambientales y (3) la vertiente ecológica de cuidado del medioambiente sin considerar aspectos sociales y económicos. La concepción individual de las tres dimensiones no permite un desarrollo integral de la sostenibilidad, es decir, el ajuste independiente de cada vertiente podría perjudicar a las otras dos dimensiones. Esta integración global provoca en las empresas un aumento de la complejidad en sus operaciones; primero en el nivel operativo y segundo en el aumento del volumen de datos a considerar en sus proyectos, que habrá que tener en cuenta de forma simultánea y en paralelo con cada etapa del CV para conocer los impactos generados e intentar minimizarlos, lo que implica nuevos procesos de gestión para la sostenibilidad. Es en este sentido donde los sistemas PLM facilitan el alcance de la sostenibilidad, permitiendo la integración de las nuevas concepciones que transformarán en sostenibles los objetivos convencionales de la empresa.

En la actualidad existen varias soluciones de arquitecturas PLM que comienzan a incorporar de forma puntual la gestión de la sostenibilidad, centradas sobretodo en la dimensión ambiental. Antes de plantear la solución de diseño para la arquitectura de PLM sostenible integral, se realiza un estudio de las diferentes soluciones desarrolladas y existentes. Este estudio se ha llevado a cabo a través de dos ámbitos: análisis de soluciones comerciales del mercado más utilizadas en la actualidad y análisis de los planteamientos de la comunidad científica referidos a la investigación y desarrollo de PLM y sostenibilidad.

Dentro del análisis de las soluciones comerciales (Calvo, 2010), es necesario distinguir los sistemas PLM según su origen y contexto de uso, situación que asienta su funcionalidad y modo de aplicación. Entre los sistemas PLM más importantes se encuentran los productos Enovia Smarteam y Enovia V6 (Dassault Systèmes), Teamcenter (Siemens PLM) y Windchill (PTC). Ofrecen una funcionalidad modular y pueden expandirse a medida que la empresa lo requiera. Por otra parte, los PLM desarrollados por los fabricantes de software de gestión ERP, ofrecen una visión del sistema de gestión empresarial integrado. Entre éstos se encuentran los productos SAP PLM, Oracle Agile PLM. Las funcionalidades principales que ofrecen los sistemas PLM comerciales están disponibles a través de la integración de diversas herramientas, incluyendo colaboración y simulación (para aplicaciones CAx – CAE/CAM/CAE), herramientas de gestión de la estructura del producto (para la gestión de los datos del producto), baúl de datos, gestión documental (para un seguro almacenaje y recuperación de la información de definición del producto) y herramientas de gestión de programa (para la planificación de los recursos y seguimiento del proyecto). En los últimos años las empresas especializadas, han ido incorporando algunas funcionalidades referidas a

la dimensión ambiental para la gestión de la sostenibilidad, como por ejemplo “perfil ecológico de producto, huella de carbono o eficiencia energética”.

En cuanto a las publicaciones analizadas, cabe destacar las aportaciones de Duque (2009), que desarrolla un marco de trabajo para la gestión de la sostenibilidad a través de PLM indicando que los datos del producto, la información y el intercambio de conocimientos, son la base del modelo de negocio necesario para cumplir con los requisitos de sostenibilidad llegando a gestionar un desarrollo más sostenible de los procesos y la información. También es necesario resaltar el modelo obtenido de Perspectives (2014) que desarrolla íntegramente los diferentes niveles de una empresa para una gestión ambiental integrada y se asignan los responsables ambientales para cada fase del CV y la jerarquía de las funciones que debe de realizar cada responsable. Por último cabe mencionar cada una de las aportaciones de SIEMENS y DASSAULT que recogen los modelos de sostenibilidad integrados en sus respectivos sistemas PLM (Theret, 2014; Rezayat, 2010)

A continuación se muestran las conclusiones de los resultados obtenidos en el estudio comparativo de funcionalidades y características. En la tabla 1, se recogen los requerimientos convencionales de PLM clasificados según las tres dimensiones de la sostenibilidad. Se incluyen de forma detallada los aspectos relativos al desarrollo sostenible que en los últimos años algunas soluciones PLM han incorporado dentro de la dimensión ambiental.

Tabla 1: Comparativa de las características de los sistemas PLM comerciales más importantes

	Requerimientos	Siemens	PTC	Dassault	Oracle	Autodesk	SAP
ECONÓMICO	Gestión de conformidad	SI	SI	SI	SI	NO	SI
	Análisis y elaboración de informes	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión de requisitos	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión portfolio (productos, programas, proyectos)	SI	Limitado	Limitado	SI	Limitado	SI
	Gestión de los costes del producto	SI	NO	NO	SI	SI	SI
	Gestión de la calidad del producto	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión de los Cambios y Modificaciones	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión de procesos de mecatrónica	SI	SI	SI	SI	NO	SI
	Gestión de la lista de materiales	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión de procesos de ingeniería	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Visualización del CV	SI	SI	SI	NO	NO	NO
	Integración con Sistemas ERP	Limitado	SI	SI	Limitado	Limitado	Limitado
	Gestión de los procesos de fabricación	Limitado	Limitado	SI	Limitado	Limitado	Limitado
	Gestión de procesos de simulación	SI	SI	SI	NO	NO	NO
	Integración con sistemas de CAD	SI	NO	NO	Limitado	NO	SI
	Gestión de los datos del producto	SI	SI	SI	SI	SI	SI
ECOLÓGICO	Gestión de materiales y sustancias	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	REACH, RoHS y Conflicto Minerales	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Normas para el cumplimiento ambiental	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Gestión de impactos del producto	SI	SI	NO	SI	NO	SI
	Gestión del flujo de trabajo y cambios	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Iniciativas DfE (Design for Environment)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Reciclabilidad	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Perfil ecológico del producto	SI	SI	SI	SI	NO	NO
	Huella ecológica	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Huella de carbono	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Consumo de energía	SI	NO	SI	SI	SI	SI
	Optimización de energía en procesos de fabricación	SI	SI	SI	SI	SI	SI
SOCIAL	Gestión del conocimiento empresarial	Limitado	SI	Limitado	SI	Limitado	SI
	Colaboración en comunidad	SI	SI	SI	SI	Limitado	SI
	Accesible desde la nube	SI	SI	Solo V6	NO	SI	SI

Los resultados del análisis permiten comprobar que la integración de la sostenibilidad en los sistemas PLM está en una etapa incipiente, lejos de alcanzar la integración del marco de

trabajo que propone la Triple Bottom Line. Por esta situación en el presente trabajo se plantean los siguientes objetivos que enmarcarán el desarrollo de un modelo para la creación de arquitecturas PLM sostenibles a nivel empresarial:

- Para desarrollar con éxito productos y proyectos sostenibles, las empresas deben implementar un marco de sostenibilidad integral. Siendo los sistemas PLM una opción óptima para la gestión de la información y el alcance del objetivo sostenible.
- Tanto las soluciones comerciales como las publicaciones científicas referentes a PLM estudiadas no contemplan la sostenibilidad de forma integral (social, económica y ecológica), por lo que surge la necesidad de proponer un modelo que facilite el diseño de arquitecturas PLM sostenibles.

3. Formulación del modelo: Arquitectura PLM Sostenible para la gestión de proyectos

El objetivo del presente trabajo es desarrollar un modelo para el diseño de arquitecturas de PLM sostenibles, que incorpore tanto la gestión de proyectos, la gestión de la sostenibilidad y la gestión del CV junto a la definición de los agentes implicados para su alcance, de tal manera que permitan gestionar la sostenibilidad de una forma estructurada e integrada bajo el modelo de sostenibilidad de la triple E.

3.1. Estructura básica para arquitecturas PLM sostenibles

La arquitectura planteada para el modelo de PLM sostenible propuesto estará formada por cuatro capas estratificadas, donde la capa principal será el núcleo PLM o baúl PLM que estará caracterizado por ser el nexo o punto de unión para la gestión y el intercambio de información del sistema y donde será almacenada toda la información (es decir, la base de metadatos). Este núcleo proporcionarán información el resto de las capas, las cuales están ordenadas por niveles de alcance: capa (1) fases del CV del producto (donde se gestionará la información relativa al diseño, fabricación, uso, fin de vida del producto), capa (2) gestión de la sostenibilidad (tiene acceso a todos los datos que se extraen del análisis sostenible del producto y desde la misma se controlará y modificará todo lo relativo al impacto ambiental, social, económica y creación de valor 3E) y capa (3) gestión del sistema global o gestión del proyecto (administra todo el PLM, puede acceder a toda la información y se encarga de la dirección del proyecto, es decir, alcance, tiempo, costes, recursos humanos, etc.).

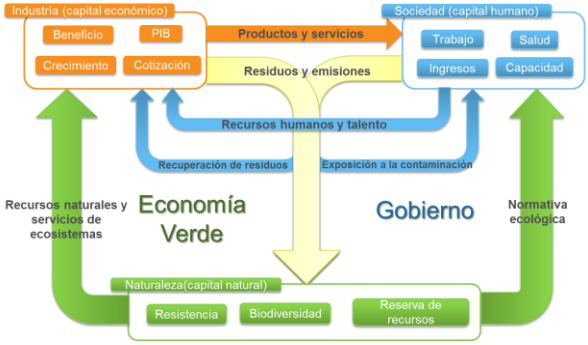
Figura 3: Estrutura de la arquitectura PLM sostenible

3.2. Flujo informacional para la gestión sostenible

Antes de dar solución al diseño de la estructura PLM de forma detallada, es necesario conocer todas las interacciones que se ponen de manifiesto entre las actividades de la industria (capital económico), las actividades de la sociedad (capital humano) y los elementos del ambiente (capital natural). La interacción entre las tres dimensiones provoca un flujo de información

complejo que será necesario administrar de forma eficiente, es decir, teniendo en cuenta el impacto generado por todas las entradas y salidas necesarias que utilizan los procesos del sistema para convertir la actividad empresarial en sostenible. A continuación se define el flujo informacional que será administrado y gestionado por la capa "gestión de la sostenibilidad" en la arquitectura PLM sostenible.

Figura 4: Interacción de los flujos de información en la gestión de la sostenibildiad



A su vez, todos los **proyectos** requieren de una dirección y gestión. Esta tarea también genera un flujo informacional con gran volumen de datos, que en este caso es identificado a partir del estándar en dirección de proyectos PMBOK y que será llevado a cabo por el "gestor del sistema". En el apartado de modelado del presente trabajo se identifica de forma detallada el flujo de información.

3.3 Despliegue detallado de la propuesta de arquitectura PLM sostenible.

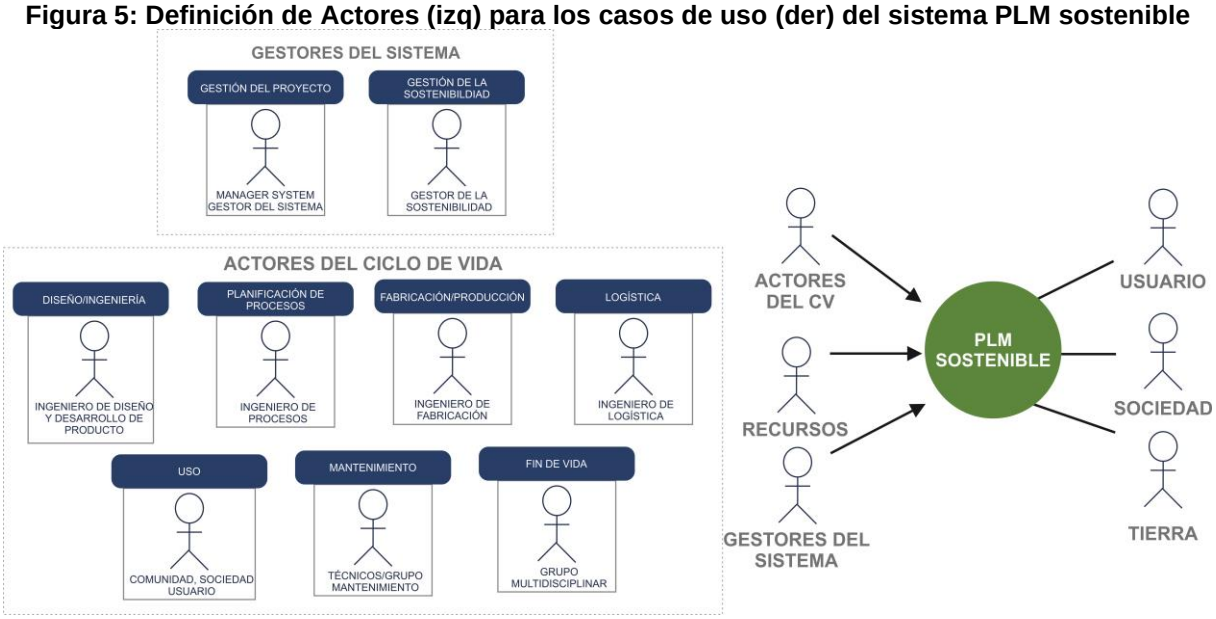
Para concretar el diseño de la arquitectura PLM sostenible se lleva a cabo un proceso de modelado. La representación del CV del producto junto al conjunto de actividades, flujos de información e interesados (Niemann, 2009) hace que sea posible tratar de manera explícita todos los procesos como parámetros de diseño, con el objetivo de identificar sus interdependencias desde una perspectiva sistemática y llevar a cabo una gestión eficiente. Para el modelado de procesos, existe un conjunto de lenguajes disponibles como son PSL, BPML, UML y OPM entre otros. En este caso se ha elegido UML, si bien en este trabajo no se presenta toda la metodología completa. Los siguientes apartados recogen una síntesis de la arquitectura PLM sostenible, definiendo los actores, los casos de uso y los diagramas de clases mostrando un ejemplo para la fase del CV de fabricación sostenible.

3.3.1 Definición y modelado de actores, casos de uso y comportamiento del sistema

Para documentar el comportamiento del modelo PLM propuesto desde el punto de vista de cada uno de los usuarios e interesados que intervienen en él se define a continuación el conjunto de actores para los casos de uso que serán modelados con UML (Zhao, 2012). Los casos de uso (figura 6 parte derecha) determinan los requisitos funcionales del sistema, es decir, representan las funciones que un sistema puede ejecutar y qué actores (figura 6 parte izquierda) intervienen en él. Dentro de la definición de los actores destacan dos niveles de ejecución. En un nivel superior, se encuentran los procesos de gestión, donde interviene el director de proyectos (gestor del sistema) y el gestor de la sostenibilidad. En un nivel inferior y con relación directa y subordinada con los anteriores, se sitúan los actores del CV, especializados (expertos) según los requerimientos de la etapa característica. Por último, se

encuentran los actores receptores, beneficiarios o con interferencia del sistema (usuario, sociedad y tierra).

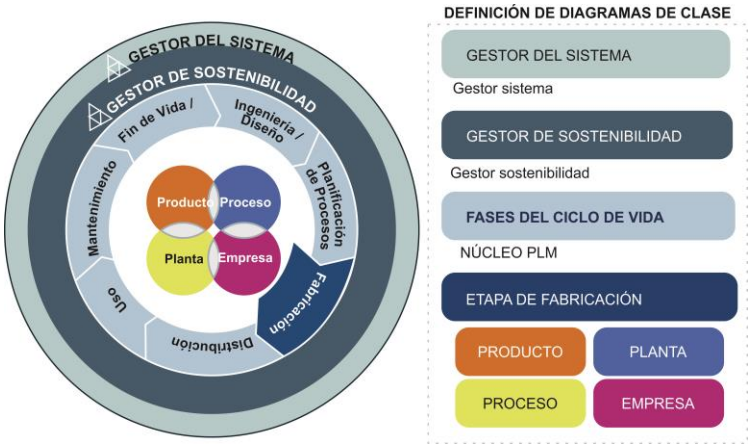
Figura 5: Definición de Actores (izq) para los casos de uso (der) del sistema PLM sostenible



La creación y definición de la nueva figura del gestor de sostenibilidad es de interés y motivada por la necesidad de contar con un experto en el ámbito de soluciones sostenibles; al igual que el director de proyectos actúa de forma eficiente para que los proyectos se inicien, se ejecuten y finalicen con éxito, el gestor de la sostenibilidad estará especializado en el ámbito de desarrollo sostenible y gestionará en esta área de conocimiento compleja, la integración de las soluciones del proyecto en el marco de trabajo de la Triple E.

Tomando como base la arquitectura de PLM propuesta, los casos de uso y los actores propuestos, se modelarán en los siguientes apartados los diagramas de clases definidos en la figura 6.

Figura 6: Arquitectura PLM sostenible

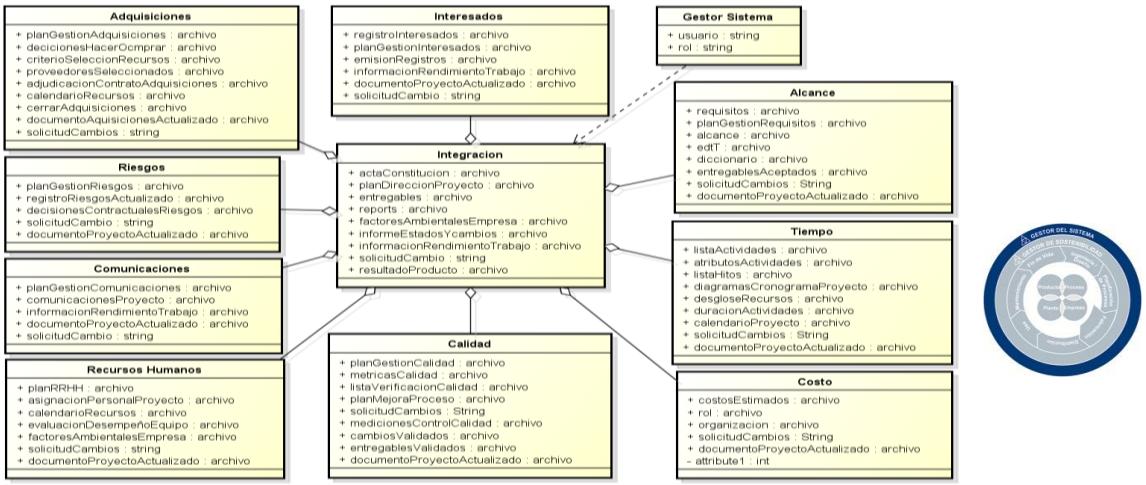


- **Modelado de "GESTOR DEL SISTEMA"**

El modelo de información del gestor del sistema contiene las clases subordinadas relativas a cada área de conocimiento de la gestión de proyectos. En este caso, se ha elegido el estándar recogido en la guía del PMBOK que integra un conjunto procesos para gestionar el CV del proyecto. De forma directa, el gestor de proyecto controla el proceso a partir de la clase

subordinada “integración” y esta a su vez se relaciona con el resto de áreas de conocimiento: alcance, tiempo, costo, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, adquisiciones e interesados.

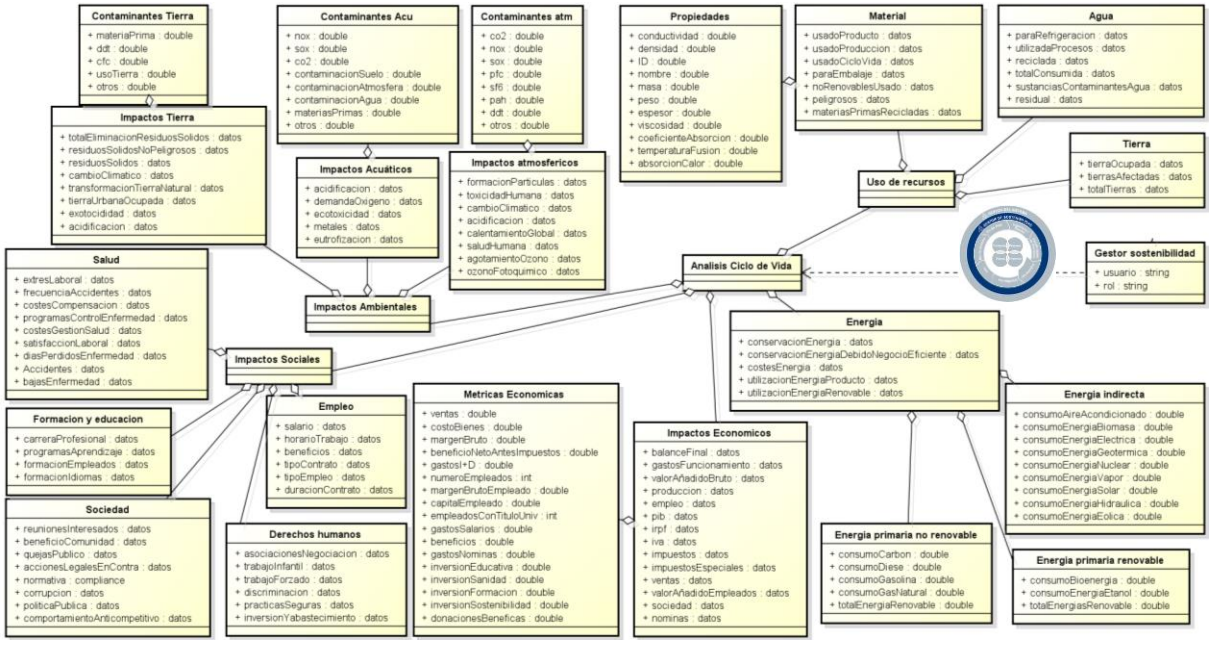
Figura 7: Diagrama de clases para gestor del sistema



- **Modelado de “GESTOR DE LA SOSTENIBILIDAD”**

El modelado del gestor de la sostenibilidad, al igual que el gestor de proyecto, interactúa de forma directa con un conjunto de clases subordinadas. Para ilustrar una de las actividades de gestión sostenible, se presenta en la figura 8 la clase subordinada ACV (análisis de ciclo de vida, que permitirá almacenar y controlar toda la información relativa a los impactos ambientales del proyecto y del producto). La clase ACV tendrá vinculadas un conjunto de subclases referidas al inventario de entradas y salidas del CV del producto o proyecto, que permitirá conocer a partir de los análisis correspondientes, el perfil ambiental para posibles actuaciones referidas a la mejora sostenible y la creación de valor.

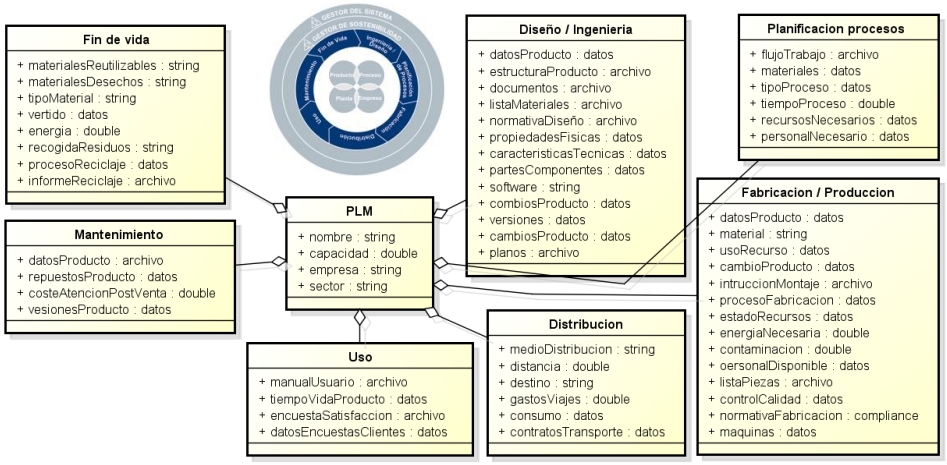
Figura 8: Diagrama de clases para gestor del sostenibilidad



- **Modelado de Núcleo "PLM"**

Los actores definidos en los casos de usos, pertenecen a las clases subordinadas relativas a cada etapa del CV del producto, es decir el núcleo de la arquitectura PLM. En la figura 9 se modela de forma general el núcleo PLM.

Figura 9: Diagrama de clases para del CV del producto, clase PLM

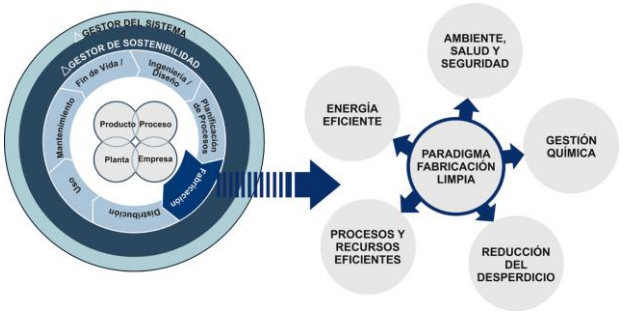


Cada una de las fases del CV se descompone a su vez en subclases más específicas que recogerán los datos e información relevante en cada una. A modo de ejemplo, se ilustra a continuación el modelado de la etapa de fabricación.

- **Modelado de las etapas del ciclo de vida del producto. Especificación para la etapa de fabricación según el paradigma de Clean Production**

Como el objetivo de la arquitectura PLM propuesta es incluir la sostenibilidad integrada del sistema para definir cada una de las fases, será necesario escoger la base de conocimiento sostenible acorde a cada una. En el caso de la etapa de fabricación, se opta por uno de los paradigmas más relevantes que asientan las bases de actuación de la fabricación sostenible: Cleaner production. Para la definición de esta clase se toman los principios del paradigma, ilustrados en la figura 10. Estos principios serán seleccionados para la estructuración de las diferentes subclases de las que esté compuesta la etapa de fabricación, en este caso: producto, proceso, planta y empresa.

Figura 10: Principios de Clean Production para el despliegue de la etapa de fabricación

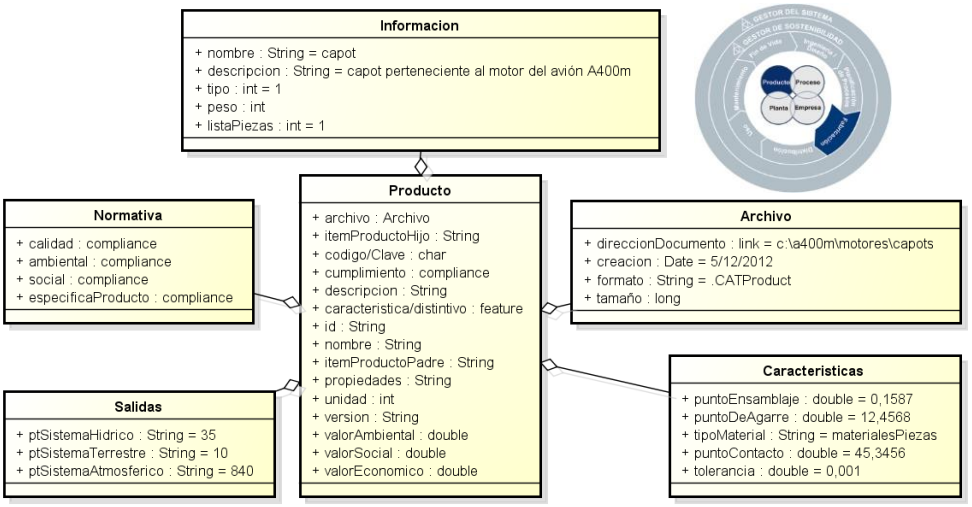


A partir del paradigma "Cleaner Production" se identifica el conjunto de datos a tener en cuenta en el modelado de la etapa de fabricación. La figura 11 recoge los criterios que permitirán el control sostenible de la etapa desde el marco de la Triple Bottom Line.

Figura 12: Criterios e indicadores de sostenibilidad para la etapa de Fabricación (Limpia)

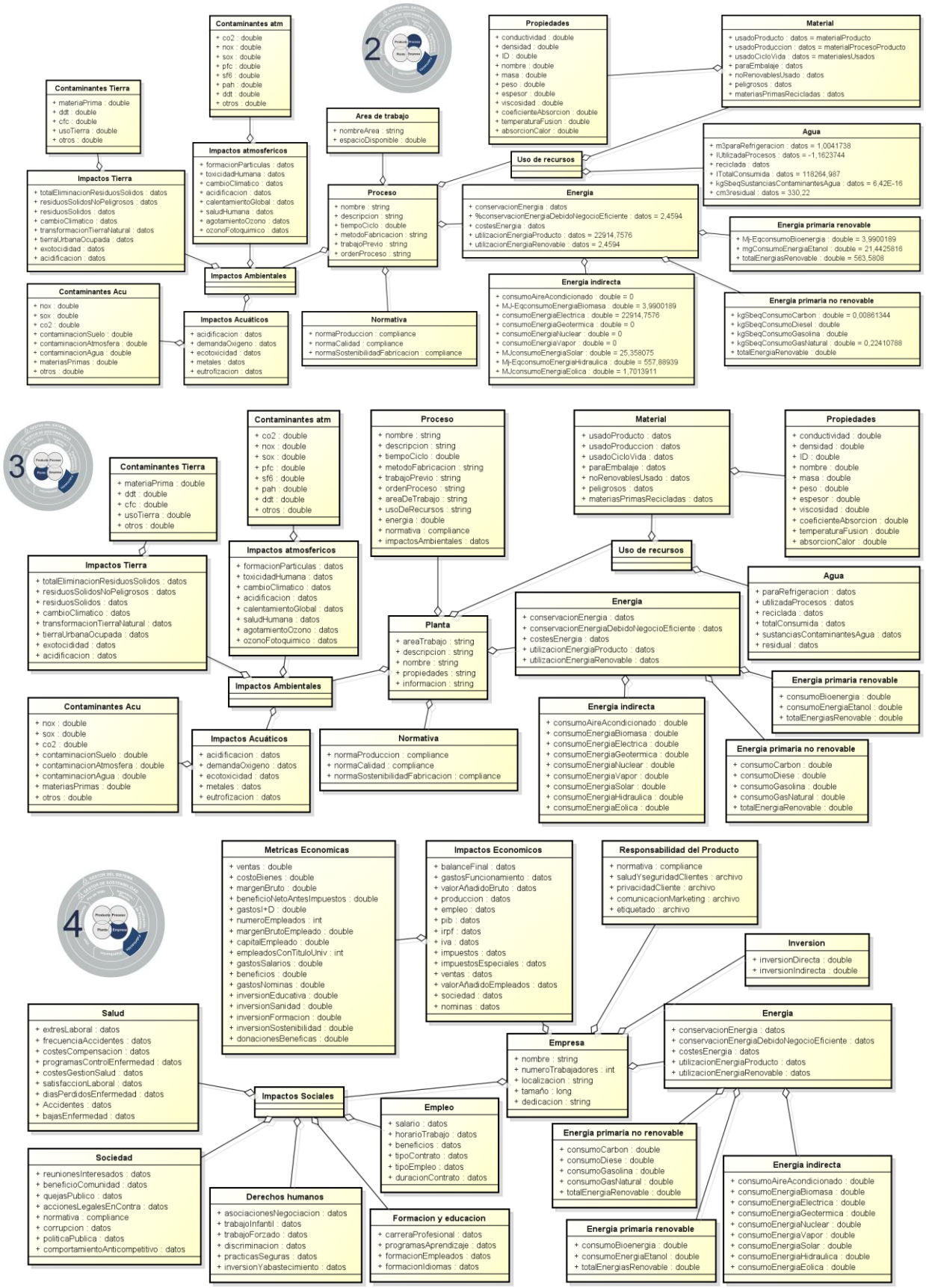
Para modelar la etapa de fabricación e ilustrar cómo se incorporan las características sostenibles del paradigma Clean Production en la arquitectura PLM y su comportamiento dentro del sistema PLM sostenible propuesto, se realizan los diagramas de clases de (1) producto, (2) planta, (3) proceso y (4) empresa mostrados en las figuras 12 y 13. Cabe destacar que el gestor del sistema y gestor de sostenibilidad controlarán cada una de las tareas que desde sus roles tengan asignadas en esta etapa (vinculadas en los diagramas).

Figura 13: Diagrama de clases del proceso de fabricación: (1) producto



Analizando la figura 13, dentro del diagrama de clases de producto existirán las clases subordinadas *archivo, características, información general, normativa y salidas*, todas relacionan la información necesaria del producto, sus características (como el punto de ensamblaje, el punto de contacto, tolerancia, etc.) los datos del archivo, normativa, calidad y con especial interés la subclase “Salidas” en la cual tendrá principal actuación el gestor de la sostenibilidad para el control de los impactos económicos, ambientales y sociales del producto. Del mismo modo se podrían analizar los diagramas de proceso, planta y empresa.

Figura 14: Diagrama de clases del proceso de fabricación: (2) proceso, (3) planta, (4) empresa



7. Conclusiones

En la actualidad, las industrias tienen la necesidad de incorporar en los productos y proyectos criterios de sostenibilidad. Como consecuencia, PLM representa un enfoque muy importante para lograr flujos más sostenibles de trabajo en todo el CV de los productos (extracción de material, fabricación, uso y fin de vida). Siendo PLM una infraestructura TIC capaz de soportar los datos del producto, la información y el intercambio de conocimientos, puede ser la base del modelo de negocio necesario para cumplir con los requisitos de sostenibilidad dentro del marco de trabajo de la Triple Bottom Line. PLM sostenible permite a las empresas tener, no solo toda la información de todo el CV del producto almacenada en una misma base de datos, sino además evaluar y gestionar los productos y fases del CV del mismo mediante criterios de sostenibilidad integral, permitiendo así por ejemplo, utilizar metodologías y herramientas para el rediseño y minimización de impactos, como el análisis del CV del producto o facilitar el proceso de cumplimiento de las normativas ambientales, sociales u ocupacionales, contando con todos los datos relativos a cada fase del CV.

8. Bibliografía y recursos

Calvo, X. (2010). *Gestión del CV del producto (PLM). Una herramienta estratégica para el desarrollo y lanzamiento de productos competitivos*.

CIMdata (2012). *2012 Market analysis report series.* Obtenido el 22 de octubre de 2014 de CIMdata: http://www.cimdata.com/en/research/plm-market-analysis-report-series

Duque, N., Garetti, M., & Terzi, S. (2009). Product lifecycle management approach for sustainability. *Procedings of the 19th CIRP Design Conference*. 147-154. Obtenido de https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/3762

Elkington, J. (1997). *Cannibals with Forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Caspone.

Niemann, J., Tichkiewitch, S., & Westkämper, E. (2009). *Design of sustainable product life cycles*. Springer.

Peralta, M.E., Aguayo, F., & Lama, J.R. (2011). Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna: una arquitectura de referencia abierta para el diseño C2C. *DYNA Ingeniería e Industria*. 86(2), 199-211. doi 10.6036/3873

Pérez, D., & Ferández, C. (2011). *Herramientas de apoyo a la gestión del CV del producto, guía divulgativa*. Obtenido el 12 de noviembre de 2014, de Fundación PRODINTEC, fábrica de futuro

Rezayat, M. (2010, Abril). Bill of sustainability (BOS). Enabling lifecycle-thinking at decision time. ProStep iViP Symposium.

Stark, J. (2011). *Product lifecycle management 21st century paradigm for product realisation* (2º ed.). Geneva. Springer.

Sustainable Enterprise Backbone with Green PLM (n.d.). Obtenido el 10 de noviembre de 2014 desde http://perspectives.3ds.com/design/sustainable-enterprise-backbone-with-green-plm/

Theret, J.P., & Zwolinski, P. (2011). Integrating CAD, PLM and LCA: a new architecture & integration proposal

Zhao, W. B., Park, Y. P., Lee, H. Y., Jun, C. M., & Noh, S. D. (2012). Design and implementation of a PLM system for sustainable manufacturing. *Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises*. 388, 202-212. doi 10.1007/978-3-642-35758-9_18

01-056

ANALYSIS OF PRINCIPLES AND REQUIREMENTS FOR CERTIFICATION PROCESS PEOPLE

Sebastián Jiménez, Román; González Gaya, Cristina
UNED

In the process of certification of persons in the fields of engineering, such as those relating to the design field, are beginning to consolidate certain basic principles and requirements of different types (general, concerning the structure, resources, registries and information, to the process of certification and management system) as referred to in ISO / IEC 17024: 2012. The present paper reviews the principles and requirements contained in this rule and carried out a comparative analysis between them and the major existing systems for certification of persons. Based on this methodology use in the design and implementation of efficient models of certification of persons is stated.

Keywords: *certification; project management; standardization*

ANÁLISIS DE LOS PRINCIPIOS Y REQUISITOS RELATIVOS A PROCESOS DE CERTIFICACIÓN DE PERSONAS

En los procesos de certificación de personas en los ámbitos de la ingeniería, tales como las correspondientes al campo proyectual, se están empezando a consolidar ciertos principios básicos y requisitos de diversos tipos (generales, relativos a la estructura, a los recursos, a los registros y la información, al propio proceso de certificación, y al sistema de gestión) tales como los contemplados en la Norma ISO/ IEC 17024:2012. En el presente trabajo se pasa revista a los principios y requisitos contenidos en dicha norma y se lleva a cabo un análisis comparativo entre los mismos y los de los principales sistemas existentes para la certificación de personas. A partir de ello se enuncia una metodología de empleo en el diseño e implementación de modelos eficientes de certificación de personas.

Palabras clave: *certificación; dirección de proyectos; normalización*

Correspondencia: Román Sebastián Jiménez rsebastian@invi.uned.es

1. Introducción

En este artículo se explicará de una forma concisa, en qué consiste la certificación de personas y se van a analizar los diferentes principios y requisitos relativos al proceso de certificación de personas. Además en este artículo, se verá las diferencias entre la norma UNE-EN ISO/IEC 17024:2012, que ha tenido dos precedentes directos: la UNE 66513:1991y la edición de 2003 de la propia norma 17024. Con ello se realiza un estudio de la evolución de esta normativa y de los requisitos que establecen estas normas.

En la actualidad, la certificación de personas está en auge debido a la necesidad del mercado de trabajo global, dentro de un mundo globalizado. Esto se produce por la rapidez en las innovaciones tecnológicas y también por la creciente especialización. (Aragonés, Poveda, 2014)

En primer lugar, para ir centrando el tema de la certificación se tratará la definición conceptual desde un punto general para ir enfocándose con posterioridad al concepto de certificación de personas en el ámbito de la Ingeniería de Fabricación y por último realizar un análisis de los principios y de los requisitos relativos al proceso de certificación de personas. (De los Ríos, Díaz-Puente, Martínez, 2010).

2. Concepto de Certificación de Personas

Como punto de partida desde el punto de vista conceptual, se va a tomar la definición de la Real Academia de la Lengua Española, tanto de personas como de certificación:

- Persona: “1. f. Individuo de la especie humana.”
- Certificación: “1. f. Acción y efecto de certificar. 2. f. Documento en que se asegura la verdad de un hecho.”

A partir de la definición que da la Real Academia de la Lengua a estos dos conceptos se podrá ir dando las primeras pinceladas de que es la certificación de personas, es decir, la certificación de personas será un documento en el que se asegura la veracidad de un hecho relativo a una determinada personas.

En cuanto al concepto propiamente dicho, se puede decir que la certificación de personas es el conjunto de actividades, mediante las cuales una tercera parte independiente, garantiza que los profesionales de los diferentes ámbitos, cumplen con los requisitos específicos establecidos en un sistema de certificación.

Los principales objetivos de la calificación de personas, son:

- Proporcionar a las empresas un elemento de confianza a través de un sistema que permita garantizar la capacitación.
- Armonizar los perfiles de los profesionales.
- Asegurar los conocimientos, aptitudes, competencias y experiencia de los profesionales.

En nuestro país, hay multitud de métodos de certificación de personas. De dichos métodos, ENAC acredita alguno, en relación con la norma ISO 17024.

La norma ISO 17024, regula los requisitos generales que garantizan que los organismos de certificación de personas realicen una labor racional, equiparable y fidedigna.

Para poder realizar la certificación de personas tiene que haber un esquema de certificación, este esquema cumple la función de implementar los requisitos de la norma 17024, incluyendo los requisitos necesarios para el mercado o los gobiernos.

Este proceso de certificación crea una serie de beneficios tanto a las personas como a las empresas.

Tabla 1. Beneficios del Proceso de Certificación

Personas	Empresas
Revalorización en el mercado	Confianza capacitación personas
Garantía de competencias	Ahorro de costes
Reconocimiento profesional a nivel europeo	Productividad inmediata
Actualización constante	Incentivo para los empleados
Reciclaje de conocimientos	

3. Evolución de la certificación de personas

En primer lugar, hay que destacar la creación en el ámbito comunitario de la entidad European Organitation for Quality (EOQ), dicha entidad es un organismo sin ánimo de lucro cuyo objetivo es promover la gestión de la calidad. La European Organitation for Quality fue fundada en 1956.

En España, desde la creación de la EOQ se van a ir desarrollando una serie de entidades sin ánimo de lucro, cuyo objeto es la certificación de personas en diferentes ámbitos. A continuación se hará un análisis de las diferentes entidades que tienen capacidad de certificar personas en España desde un punto de vista cronológico:

La Asociación Española para la Calidad fundada en 1961, es una entidad privada sin ánimo de lucro que fomenta el desarrollo de la cultura de la calidad y el desarrollo sostenible.

Posteriormente en el año 1970 se creó la Asociación Española del Gas (SEDIGAS) cuyo objeto es la certificación de personas en el ámbito de la soldadura.

En el año 1988, se constituyó AEND, la Asociación Española de Ensayos No Destructivos. AEND es una asociación de carácter civil y sin ánimo de lucro. Con el tiempo, en 1997 ENAC acreditó al CERTIAEND (Órgano de Certificación de la AEND) para llevar a cabo la certificación del personal en Ensayos No Destructivos conforme a la norma UNE EN-473:1993.

A continuación surgió la Asociación Española de Dirección de Proyectos (AEIPRO) como asociación sin ánimo de lucro, cuyo objeto es el desarrollo de la Dirección de Proyectos. Fue creada en 1992 y desde el año 1999 es la asociación española representante de IPMA. Posteriormente su denominación fue cambiada a la actual de Asociación Española de Dirección e Ingeniería de Proyectos, manteniendo sus siglas. Por su parte, el OCDP, es el Organismo Certificador de la Dirección de Proyectos, cuya función es gestionar el sistema de certificación desarrollado por IPMA.

Un año más tarde, en 1993 se fundó CESOL, Asociación Española de Soldadura y Tecnologías de Unión. Esta asociación es el resultado de la fusión de ADESOL y CES. El objeto de CESOL es la certificación de personas en el ámbito de la soldadura.

En el año 1997, se creó el Centro de Registro y Certificación de Personas (CERPER), que es un organismo de certificación de profesionales de la Asociación Española para la Calidad, cuyo órgano de gobierno es el Comité de Certificación. El CERPER se basa para sus certificaciones en los esquemas de certificación European Organitation for Quality, como también se basa en esquemas de certificación propios y por último se basa en los esquemas de certificación de otras entidades. El CERPER es el organismo que gestiona mediante el Registro Europeo de Profesionales, a todas aquellas personas certificadas por la EOQ en diferentes ámbitos. A continuación se expondrán los diferentes ámbitos de certificación que abarca CERPER:

- 1997 Calidad
- 1999 Medio Ambiente
- 2004 Ámbito PRL
- 2005 Ámbito Sanidad, Servicios, Administración Pública y Gestión Integrada
- 2007 Ámbito Innovación
- 2008 Ámbito Seguridad Alimentaria

En 2007, surge CONAIF-SEDIGAS que es una colaboración entre CONAIF y SEDIGAS, cuyo objeto es la certificación de personas en el ámbito del mantenimiento y reparación de aparatos de gas.

4. Análisis de los principales modelos de certificación de personas

Aquí se va a considerar un caso particular pero muy significativo, el de certificación de personas en técnicas de soldadura (Cardoza, De los Ríos, Guerrero 2011). En concreto se fijará en los siguientes organismos de certificación:

- CESOL (Asociación Española de Soldaduras y Tecnologías de Unión).
- EWF (Federación Europea de Soldadura).
- IIW (Instituto Internacional de Soldadura).
- GSI/SLV (Organización alemana formada por los SLV de Berlin-Brandenburg, Duisburg, Fellbach, Halle, Hannover y Munich).

5. Principios para los organismos de certificación de personas

La norma internacional ISO/IEC 17024/2012, no abarca todas las posibles situaciones y por consiguiente, no establece unos requisitos específicos para todas ellas. Dichos principios son meras orientaciones para ayudar en el proceso de decisión, en situaciones imprevistas. Hay que destacar y recalcar como bien hace la norma ISO/IEC 17024/2012, que los principios no son requisitos. Por tanto, el objetivo del proceso de certificación de personas es dar reconcomiendo a la competencia de una persona para realizar una actividad determinada, y debido a esto las entidades encargadas de dar la certificación, solo deben certificar a aquellas personas que muestren competencia en un ámbito determinado.

Tabla 2. Diferentes modelos de certificación

	Año	Qué certifican	Normas
CESOL	1993	- Certificación de soldadores y Procedimientos de Soldeo - Certificación de Inspectores de Construcciones Soldadas - Certificación Personal - Certificación de Empresas	- UNE EN ISO 3834 - DIN 18800 - DIN 6700
EWF	1995	- Certified International/European Welding Engineer. - Certified International/European Welding Technologist. - Certified International/European Specialist. - Certified International/European Welding Practitioner	- UNE EN ISO 3834
IIW	1948	- IIW Manufactures Certification System - IIW Personnel Certification System	- UNE EN ISO 3834 - ISO 14731
GSI/SLV	-	- Management Systems. - Manufacturer Qualification	- DIN EN ISO 9001 - DIN EN ISO 3834 - SCC - DIN V 4113 3 - DIN EN ISO 17660 - DIN 6700 2 - DB AG Guideline 826 - DIN 2303

Estos principios son:

- Imparcialidad: el proceso de certificación tendría que ser un proceso que se base en “evidencias objetivas obtenidas por el organismo de certificación a través de una evaluación objetiva, válida y fiable” (Tabla 3).
- Competencia: la competencia de los miembros que forman parte del organismo y que por tanto certifican, es imprescindible para dotar al organismo de certificación de confianza.

Tabla 3: Amenazas a la imparcialidad en el proceso de certificación de personas

Intereses personales	Amenazas que surgen cuando una persona o un organismo actúan en su propio interés.
Subjetividad	Amenazas que surgen debido a los prejuicios personales que anulan las evidencias objetivas.
Familiaridad	Amenazas que surgen de la familiaridad o confianza con otra persona.
Intimidación	Amenazas que impiden al organismo de certificación o a su personal actuar objetivamente por temor a un candidato o a otra parte interesada.
Cuestiones financieras	La fuente de ingresos de un organismo de certificación puede constituir una amenaza a su imparcialidad.

- Confidencialidad y transparencia: este principio es muy importante debido a que hay que gestionar de una forma equilibrada, la confidencialidad y la transparencia. Debido a que una mala gestión de este equilibrio puede menoscabar el valor y la confianza de la certificación.

- Respuesta a quejas y apelaciones: la gestión y realización eficaz de las quejas y apelaciones repercute de forma evidente en la protección del organismo de certificación y de las partes interesadas.

- Responsabilidad: el organismo de certificación tiene como responsabilidad principal conseguir una evidencia objetiva que sirva para "*fundamentar su decisión sobre la certificación".*

6. Requisitos generales del proceso de certificación de personas

Los requisitos generales en los procesos de certificación de personas básicamente son unos elementos que garantizan, que el organismo de certificación es legítimo y es válida su certificación puesto que cumple con dichos requisitos tanto formales como materiales. A continuación se va a analizar con un poco más de atención los requisitos generales, uno por uno, para así conocerlos y tenerlos presente a la hora de analizar los requisitos concretos del proceso de certificación de personas.

- Temas legales: el organismo tiene que estar constituido legalmente por sí mismo, o siendo parte definida de una entidad legal, con el fin de que pueda ser responsable legalmente de todas las actividades de certificación.

- Responsabilidad en materia de decisión de certificación: el organismo de certificación debe ser responsables de las decisiones que toma y por tanto debe conservar su poder de decisión. El poder de decisión del organismo de certificación nunca puede ser delegado, incluyendo otorgar, mantener, renovar, ampliar y reducir el alcance, suspender o retirar la certificación.

- Gestión de la imparcialidad: el organismo de certificación debe documentar su estructura, políticas y procedimientos con el fin de gestionar la imparcialidad y de esta forma asegurar de forma nítida la imparcialidad de sus actividades de certificación. Dicho organismo de certificación debe tener una declaración accesible al público, sin tener que solicitarlo previamente, mediante la cual reconoce la gran importancia de la imparcialidad en los procesos de certificación,

gestiona los conflictos de intereses y garantiza la objetividad en todas sus actividades.

- Responsabilidad legal y financiera: el organismo de certificación debe poseer los recursos financieros necesarios para la operación de certificación, así como poseer disposiciones adecuadas para cubrir las responsabilidades legales asociadas.

7. Evolución de los requisitos del proceso de certificación de personas

En este apartado se va a analizar loa evolución en los requisitos del proceso de certificación, basándose en la norma UNE-EN ISO/IEC 17024:2012 en comparación con la edición de 2003 de la propia norma 17024.

Para profundizar en el análisis y aclarar los campos del proceso de certificación. En primer lugar se va a explicar de forma somera, los distintos procesos incluidos en el proceso de certificación.

Proceso de solicitud: el organismo de certificación debe establecer una descripción general del proceso de certificación, de acuerdo con el esquema de certificación. Se debe incluir, al menos, los requisitos de la certificación y su alcance, descripción del proceso de evaluación, los derechos de los solicitantes, los deberes de las personas certificadas y las tarifas

Entre dichos requisitos hay que destacar:

- Proceso de solicitud: en esta fase el organismo de certificación tiene la obligación de ofrecer una descripción general del proceso en la misma línea que el esquema de certificación.
- Proceso de evaluación: la evaluación se debe planificar y estar estructurada de forma que se asegure que los requisitos del esquema de certificación están verificados los documentos que acreditan la competencia del candidato, de forma objetiva y sistemática. “El organismo de certificación debe implementar los métodos y mecanismos específicos de evaluación” del esquema de certificación.
- Proceso del examen: los exámenes deben ser diseñados con el fin de evaluar la competencia a través de medios fiables y objetivos. Los requisitos deben tener como objetivo, que los exámenes puedan ser comparables en dificultad y contenido.
- Decisión de certificación: la decisión del organismo de certificación debe estar limitada específicamente a los requisitos del esquema de certificación.
- Suspender, retirar o reducir el alcance de la certificación: los organismos de certificación tienen la obligación de tener estipulados uno o varios procedimientos documentados sobre la suspensión o retirada de la certificación.
- Proceso de renovación de la certificación: los organismos de certificación tienen la obligación de tener estipulados uno o varios procedimientos documentados para la implementación y renovación de la certificación.
- Uso de certificados, logotipos y marcas: se da la obligación de documentar las condiciones de uso y los derechos de uso y representación, de una marca o logotipo.
- Apelaciones contra decisiones de certificación: el organismo de certificación debe tener un procedimiento documentado para tratar las apelaciones. Dicho

procedimiento tiene la obligación de tratar todas las apelaciones de manera constructiva, imparcial y oportuna.

- Quejas contra decisiones de certificación: el organismo de certificación debe tener un procedimiento documentado para tratar las quejas. Dicho procedimiento tiene la obligación de tratar todas las quejas de manera constructiva, imparcial y oportuna.

Tabla 4: Requisitos del proceso de certificación de personas

	Version 2003	Version 2012
Solicitud	X	X
Evaluación	X	X
Examen	-	X
Decisión	X	X
Vigilancia	X	-
Suspender, retirar, reducir	-	X
Renovación	X	X
Uso certificados y logos/marcas	X	X
Apelaciones	-	X
Quejas	.	X

Para analizar la evolución en los requisitos del proceso de certificación nos fijaremos en la norma UNE-EN ISO/IEC 17024:2012 en comparación con la edición de 2003 de la propia norma 17024.

Centrando la atención en la norma UNE-EN ISO/IEC 17024:2003 (anulada), se aprecia que en dicha norma no se hace mención expresa a los siguientes procesos:

- Procesos de examen
- Suspender, retirar o reducir el alcance el alcance de la certificación
- Apelaciones contra decisiones de certificación
- Quejas contra decisiones de certificación

En cuanto a la norma vigente, UNE-EN ISO/IEC 17024:2012, el único proceso que no contempla es el de vigilancia. En la Tabla 4 se recoge la síntesis de lo anteriormente dicho.

8. Conclusión

Los procedimientos y modelos de certificación de personas en el ámbito de la Ingeniería de Fabricación tienen elementos y características comunes. Por otro lado presentan importantes diferencias en cuanto a sus objetivos, normativa y realización. Por ello resulta de interés analizar esos modelos para favorecer su homogeneización y la evaluación de sus resultados. También es de interés la comparación de las competencias adquiridas por estos procedimientos y las de las titulaciones oficiales.

La norma UNE-EN ISO/IEC 17024:2012, es mucho más completa y regula el proceso de certificación de una forma mucho más integral que su anterior versión del 2003, donde había varios procesos sin regular. Así que, la norma de 2014 es una gran evolución respecto a la de 2003, ya que toma la norma de 2003 como base pero la implementa exponencialmente.

9. Referencias

AEC: (consultado el 29 de Marzo 2015) http://www.aec.es/web/guest/home

AEM: (consultado 15 de Marzo 2015) http://www.aem.es/

Aragonés, P., Poveda, R. (2014) Propuesta basada en AHP para evaluar la complejidad de dirección de proyectos para el nivel B de certificación IPMA., pp. 0270-0279. XVIII Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos. Alcañiz 2014

Cardoza, A., De los Ríos, I., Guerrero, D. (2011) Comparación de cuatro sistemas de certificación del ámbito dirección de proyectos. pp. 0411-0428. XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Huesca 2011.

CESOL: (consultado 10 de Marzo 2015) http://www.cesol.es/nuevaWeb/

De los Ríos, I., Díaz-Puente, J. M., Martínez, J. (2010) Impacto de la certificación IPMA: efectos de la empleabilidad desde los agentes implicados. pp. 0274-0291. XIV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Madrid 2010.

EFNMS: http://www.efnms.org/

EOQ: (consultado 10 de Marzo 2015) http://www.eoq.org/home.html

EWF: (consultado 10 de Marzo 2015) http://www.ewf.be/

GSI/SLV: (consultado 11 de Marzo 2015) http://www.gsi-slv.de/

IIW: (consultado 23 de Marzo 2015) http://www.iiwelding.org/

RAE: (consultado 10 de Febrero 2015) http://www.rae.es/

UNE-EN ISO/IEC 17024:2012 Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los organismos que realizan certificación de personas. AENOR, Madrid, 2012.

UNE 66513:1991 (EN 45013:1989) Criterios generales relativos a los organismos de certificación que realizan la certificación de personal (anulada) AENOR, Madrid, 1991.

TOPIC 2. CIVIL ENGINEERING AND URBAN PLANNING. BUILDING AND ARCHITECTURE

ÁREA TEMÁTICA 2. INGENIERÍA CIVIL, URBANISMO Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. CONSTRUCCIÓN Y ARQUITECTURA

02-002

ANALYSIS OF PUBLIC PROCUREMENT OF SERVICES OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE IN THE COMMUNITY OF MADRID

Fuentes Bargues, José Luis [1]; González Cruz, Mª Carmen [1]; González Gaya, Cristina [2]; Díaz de Mera Sánchez, Mª del Prado [3]

[1] Universidad Politécnica Valencia, [2] UNED, [3] URJC

Public Procurement was, is and will be one of the fundamental pillars of the construction sector, both nationally and internationally. Current Spanish legislation, the Restated Text of the Law on Public Sector Contracts (RTLPSC) defines as the Service Contract are those whose object making consistent performance in an activity or development aimed at obtaining a different result of a work or supply. Among these activities are the Services of Engineering and Architecture what were traditionally known as consultant and technical assistance. There are many studies and research on public procurement and on varied aspects: award criteria, abnormally low bid criteria, low prediction models, etc., but related on works contracts and supplies. The objective of this study is to analyze the procurement procedures of engineering and architectural services in the community of Madrid, reflecting the different characteristics with respect to the type of contract, type of procedure, type of processing, the scoring criteria, the abnormally low bid criteria, etc..

Keywords: *Public Procurement; Tendering; Award Criteria; Abnormally low bid criteria; Architecture and Engineering Services; Madrid*

ANÁLISIS DE LA CONTRATACIÓN PÚBLICA DE SERVICIOS DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA EN LA COMUNIDAD DE MADRID

La contratación pública ha sido, es y será uno de los pilares fundamentales del sector construcción, a nivel nacional e internacional. La normativa española vigente, el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público (TRLCSP) define Contrato de Servicios a “aquellos cuyo objeto son prestaciones de hacer consistentes en el desarrollo de una actividad o dirigidas a la obtención de un resultado distinto de una obra o un suministro”. Entre estas actividades se encuentran los Servicios de Ingeniería y Arquitectura, tradicionalmente conocidos como contratos de consultoría y asistencia técnica. Existen estudios e investigaciones sobre contratación pública, y sobre aspectos variados: fórmulas de contratación, criterios de desproporcionalidad, modelos de predicción de bajas, etc., pero no relacionados con contratos de obras y de suministros. El objetivo de este estudio es realizar un análisis de los procedimientos de contratación de servicios de ingeniería y arquitectura en la Comunidad de Madrid, con objeto de identificar aquellas características relativas al tipo de contrato, al tipo de procedimiento, al tipo de tramitación, a los criterios de puntuación, a las fórmulas de temeridad, entre otros, y a partir de ellos, obtener una visión del comportamiento de la contratación pública de servicios de ingeniería y arquitectura.

Palabras clave: *Contratación Pública; Licitación; Criterios de Puntuación; Criterios anormalmente bajos; Servicios de Arquitectura e Ingeniería; Madrid*

Correspondencia: Mª Prado Díaz de Mera prado.diazdemera@urjc.es

Agradecimientos: “This work was supported by the School of Industrial Engineering (UNED) under Grants 2014-IFC01 and 2014-IEN16”.

1.- Introducción.

La contratación pública ha sido, es y será uno de los pilares fundamentales del sector construcción, tanto a nivel nacional como a nivel internacional, suponiendo entre el 10 y el 15% del Producto Interior Bruto (PIB) en los países desarrollados (GTN 2006; OECD 2007; Fuentes et al. 2015).

En el año 2006 la licitación pública española alcanzó su máximo histórico con 44.205.305.000 euros, descendiendo a causa de la crisis hasta los 5.931.005.000 euros en el año 2012 y aumentando ligeramente hasta los 6.935.496.000 euros en el año 2013 (Ministerio de Fomento 2015). A pesar de todo su importancia en el sector construcción español es indiscutible (Pellicer et al. 2003, Fuentes y González 2013a).

La contratación pública española ha sido objeto de muchas investigaciones, tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista legal y centradas principalmente en contratos relativos a obras de construcción, ya que la importancia del conocimiento de sus mecanismos y disposiciones puede generar posiciones más competitivas dentro del mercado.

Desde el punto de vista legal, y refrendadas por sentencias de tribunales tanto españoles como europeos así como con numerosos informes de la Junta Consultiva de Contratación Administrativa (JCCA) se ha determinado que los criterios de adjudicación deben estar directamente vinculados al objeto del contrato y no deben confundirse con los criterios de aptitud de los licitadores (De Hoyos 2005; Gimeno 2008; Ballesteros-Moffa 2009; Fueyo 2009).

Desde el punto de vista técnico se han desarrollado investigaciones con objeto de determinar los criterios de contratación más adecuados y de desarrollar modelos de selección de contratistas, basados en redes neuronales (Bendaña et al 2010) o en técnicas AHP-ANP (Pastor et al 2010). Para el criterio precio también se han desarrollado modelos de predicción de bajas a partir de datos históricos de licitaciones (Ballesteros et al. 2010; Ballesteros et al. 2012a; Ballesteros et al. 2012b).

Otros aspectos investigados respecto al criterio precio han sido las fórmulas de puntuación, existiendo trabajos que las clasifican y analizan su comportamiento (Martín 2003; Ballesteros et al 2012b; Fuentes y González 2013a) y las fórmulas de desproporcionalidad, que determinan la anormalidad de las ofertas (Martín 2003; Padrós 2010; Fuentes y González 2013b).

La normativa española actual, el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público (TRLCSP) (España 2011), define como Contrato de Servicios a *"aquellos cuyo objeto son prestaciones de hacer consistentes en el desarrollo de una actividad o dirigidas a la obtención de un resultado distinto de una obra o un suministro".* Entre estas actividades se encuentran los Servicios de Ingeniería y Arquitectura, lo que tradicionalmente se conocía como contratos de consultoría y asistencia técnica.

Los servicios de ingeniería y arquitectura han sido una de las actividades más dañadas por la crisis económica y su ritmo de recuperación está lejos del de otras actividades, incluso dentro del mismo sector construcción. Este escenario hace necesario definir y conocer muy bien las posibles áreas de negocio (tanto en el ámbito privado como en el ámbito público) de las ingenierías y consultorías, siendo una de estas áreas la contratación pública de proyectos y direcciones de obra.

En el año 2014 se inició un estudio de los procedimientos de contratación de servicios de ingeniería y arquitectura, con objeto de identificar aquellas características relativas al tipo de contrato, al tipo de procedimiento, al tipo de tramitación, a los criterios de puntuación, a las fórmulas de temeridad, etc. En la comunicación presentada en el XVIII Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos celebrado en Alcañiz se analizó la contratación se servicios de ingeniería y arquitectura en la

Comunidad Valenciana (Fuentes et al. 2014), realizándose en esta comunicación un análisis a nivel de la Comunidad de Madrid y comparándose los resultados con los obtenidos para la Comunidad Valenciana.

2.- Metodología.

La metodología de estudio se basa en una recopilación y análisis de pliegos de contratación de servicios de ingeniería y arquitectura. En primer lugar se utilizó el portal de búsqueda de licitaciones públicas del Gobierno de la Comunidad de Madrid (Gobierno Comunidad Madrid 2015), pero debido a que en esta plataforma una vez finalizados los plazos de licitación no aparecen públicos los pliegos de cláusulas administrativas y particulares, se tuvo que recurrir a otros perfiles del contratante: Plataforma de Contratación del Estado (España 2015), Perfiles del contratante de los Ayuntamientos de más de 10.000 habitantes de la Comunidad de Madrid y el portal web especializado en búsqueda de licitaciones "Maninvest" (Maninvest 2015).

FICHA LICITACIÓN Nº	
DATOS DE LA ENTIDAD ADJUDICADORA	
NOMBRE	
DEPENDENCIA	
DIRECCION PERFIL CONTRATANTE	
AMBITO GEOGRAFICO	
DATOS DEL CONTRATO	
TIPO	
DESCRIPCIÓN	
DIVISION POR LOTES	
NUMERO DE LOTES/UNIDADES	
Nº EXPEDIENTE	
FECHA DE PUBLICACIÓN	
FECHA DE LICITACIÓN	
TRAMITACIÓN Y PROCEDIMIENTO	
PROCEDIMIENTO	
TRAMITACION	
FORMA DE ADJUDICACIÓN	
PRESUPUESTO BASE DE LICITACION	
IVA	
PRESUPUESTO TOTAL	
ANUALIDADES	
NUMERO E IMPORTE DE ANUALIDADES	
REVISION DE PRECIOS	
FORMULA DE REVISION DE PRECIOS	
CLASIFICACION DEL CONTRATISTA	
DESCRIPCION CLASIFICACION	
PORCENTAJE DE SUBCONTRATACIÓN	
ALTERNATIVAS O VARIANTES	
PLAZO DE EJECUCION	
DESCRIPCION DE LOS CRITERIOS DE ADJUDICACIÓN	
DESCRIPCION DE LOS CRITERIOS DE ADJUDICACIÓN ECONOMICA	
DESCRIPCION DE LOS CRITERIOS EVALUABLES MEDIANTE UN JUICIO DE VALOR	
DESCRIPCION DE LOS CRITERIOS DE TEMERIDAD	
CRITERIOS DE SOLVENCIA ECONOMICA	
CRITERIOS DE SOLVENCIA TECNICA	

Figura 1: Ficha para la recogida de datos de los expedientes de licitación. Fuente: Elaboración propia

La búsqueda se ha realizado entre los años 2008 y 2015, con los criterios de búsqueda: tipo de contrato "Servicios de Ingeniería/Arquitectura/Consultoría"[1] y en el ámbito geográfico de la Comunidad de Madrid. Debido al hecho que no se mantiene toda la información (pliegos de cláusulas administrativas y técnicas) en los perfiles del contratante ni en las páginas especializadas la elaboración de la muestra ha sido mucho más costosa que en el trabajo realizado en la Comunidad Valenciana.

Para cada uno de los procedimientos, y tras el análisis de la documentación, se elaboró una ficha (Figura 1) con los campos siguientes, en primer lugar un bloque correspondiente a los *Datos de la Entidad Adjudicadora* (nombre, dependencia, dirección web del perfil del

[1] Se han de especificar los tipos de servicios, ya que dentro de los contratos de servicios se encuentran tanto los contratos de consultoría y asistencia técnica, como los de limpieza, explotación de bar-cafetería, vigilancia, etc.

contratante y ámbito geográfico), un segundo bloque donde se reflejan los *Datos del Contrato* (tipo, descripción, lotes, nº de expediente, fecha de publicación y fecha de licitación) y un tercer bloque, denominado *Tramitación y Procedimiento* donde se reflejan datos sobre el tipo de procedimiento, el tipo de tramitación, la forma de adjudicación, el presupuesto de licitación, el número de anualidades, la fórmula (si existen) de revisión de precios y la exigencia de clasificación del contratista.

En este tercer bloque de información también se reflejan unos campos para la descripción de los criterios de adjudicación del expediente, para la descripción de las fórmulas de temeridad y para la descripción de los criterios de solvencia económica y solvencia técnica.

3.- Resultados.

En el período de estudio se han identificado en la Comunidad de Madrid un total de treinta órganos de contratación distintos (Tabla 1).

Tabla 1: Órganos de Contratación de la muestra de estudio, Comunidad de Madrid, años 2008-2015. Fuente: Elaboración propia

Id	Órgano de Contratación
	Administraciones, Instituciones, Agencias o Empresas Públicas. Ámbito Nacional
1	*Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF)*
2	*Agencia E.F.E.*
3	*Aguas de las Cuencas Mediterráneas (ACUAMED)*
4	*Fábrica Nacional de Moneda y Timbre – Real Casa de la Moneda*
5	*Centro de Ciencias Ambientales de la Agencia Estatal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*
6	*Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España (ISEFE)*
7	*Instituto de Vivienda, Infraestructura y Equipamiento de la Defensa (INVIED)*
8	*Paradores de Turismo de España*
9	*Senado*
10	*Sepes: Entidad Pública Empresarial de Suelo*
11	*Sociedad Estatal Correos y Telégrafos*
12	*Sociedad Estatal de Aguas de las Cuencas del Sur (ACUASUR)*
	Gobierno Comunidad Madrid. Ámbito autonómico
13	*Canal de Isabel II Gestión S.A.*
14	*Consejería de Sanidad*
	Ámbito local
15	*Ayuntamiento de Alcalá de Henares*
16	*Ayuntamiento de Boadilla del Monte*
17	*Ayuntamiento de Bustarviejo*
18	*Ayuntamiento de Fuenlabrada*
19	*Ayuntamiento de Getafe*
20	*Ayuntamiento de Leganés*
21	*Ayuntamiento de Madrid. (Área de Gobierno, Seguridad y Emergencias)*
22	*Ayuntamiento de Madrid. (Área de Artes, Turismo y Promoción Exterior)*
23	*Ayuntamiento de Majadahonda*
24	*Ayuntamiento de Pinto*
25	*Ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón*
26	*Ayuntamiento de San Agustín del Guadalix*
27	*Ayuntamiento de San Sebastián de los Reyes*
28	*Ayuntamiento de Villaviciosa de Odón*
29	*Madrid Calle 30*
30	*Mancomunidad de Servicios de Arquitectura y Urbanismo Sierra Norte*

A continuación se presentan los resultados de la investigación en referencia a los siguientes ítems:

- Justificación de la Solvencia Económica y Financiera.

- Justificación de la Solvencia Técnica y Profesional.
- Criterios de Adjudicación.
- El criterio precio y sus fórmulas de puntuación.
- Los criterios para estimar la desproporcionalidad o anormalidad de las ofertas económicas.

3.1.- Justificación de la Solvencia Económica y Financiera.

La justificación de la solvencia económica y financiera para los contratos de servicios viene regulada en el artículo 75 del TRLCSP y en el caso de los contratos de asistencia técnica donde normalmente no existen clasificaciones de empresas contratistas cobra especial importancia. En la muestra de estudio se han encontrado los siguientes supuestos y su distribución se refleja en la Figura 2:

a. Declaraciones apropiadas de entidades financieras.
b. Justificante de la existencia de un seguro de indemnización por riesgos profesionales (de diferente cuantía según el proyecto).
c. Las cuentas anuales presentadas en el Registro Mercantil o en el Registro oficial que corresponda.
d. Declaración sobre el volumen global de negocios y, en su caso, sobre el volumen de negocios en el ámbito de actividades correspondiente al objeto del contrato, referido como máximo a los tres últimos ejercicios disponibles.

En la muestra de estudio se han utilizado para justificar la solvencia económica y financiera en 24 ocasiones la declaración sobre el volumen global de negocios (d), en 16 ocasiones las declaraciones de entidades financieras (a) y la existencia de un seguro de indemnización por riesgos profesionales (b) y en 14 ocasiones las cuentas anuales presentadas en el registro mercantil correspondiente (c).

3.2.- Justificación de la Solvencia Técnica y Profesional.

La justificación de la solvencia técnica y profesional para los contratos de servicios viene regulada en el artículo 78 del TRLCSP. En la muestra de estudio se han encontrado los siguientes supuestos y su distribución se refleja en la Figura 3:

a) Una relación de los principales servicios o trabajos realizados en los últimos tres años que incluya importe, fechas y el destinatario, público o privado, de los mismos.

a1) Se trata de una ampliación del apartado genérico, donde se exige la justificación de haber realizado proyectos similares al objeto del contrato con unas cuantías económicas mínimas, relativas a la asistencia o al presupuesto de ejecución material (PEM) de la obra diseñada o dirigida.

b) Indicación del personal técnico o de las unidades técnicas, integradas o no en la empresa, participantes en el contrato, especialmente aquéllos encargados del control de calidad.

c) Descripción de las instalaciones técnicas, de las medidas empleadas por el empresario para garantizar la calidad y de los medios de estudio e investigación de la empresa.

d) Las titulaciones académicas y profesionales del empresario y del personal directivo de la empresa y, en particular, del personal responsable de la ejecución del contrato.

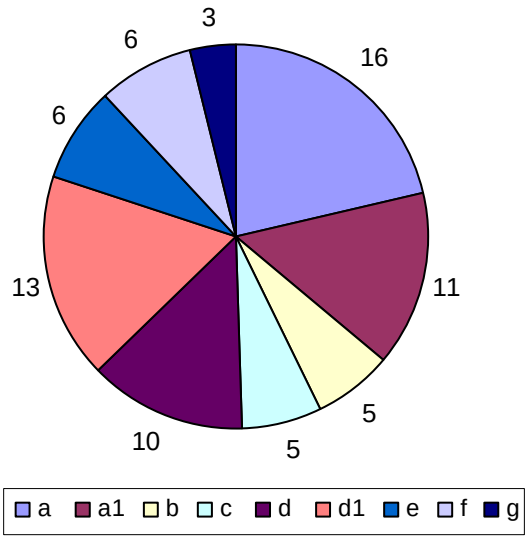
d1) Se trata de una ampliación del apartado genérico, donde se indica equipo mínimo (número de técnicos) y titulaciones requeridas para el desarrollo de la asistencia técnica.

e) Declaración sobre la plantilla media anual de la empresa y la importancia de su personal directivo durante los tres últimos años, acompañada de la documentación justificativa correspondiente.

f) Declaración indicando la maquinaria, material y equipo técnico del que se dispondrá para la ejecución de los trabajos o prestaciones, a la que se adjuntará la documentación acreditativa pertinente.

g) Certificaciones de aseguramiento de la calidad tipo ISO 9.000, ISO 14.000 o OHSAS.

Figura 2: Tipo de supuestos utilizados para la justificación de la solvencia técnica y profesional (nº veces que aparecen en la muestra). Fuente: Elaboración propia



3.3.- Criterios de Adjudicación.

Los criterios de adjudicación se dividen entre criterios evaluables mediante fórmulas y criterios evaluables mediante un juicio de valor. Los primeros disponen de unas fórmulas que determinan la puntuación de cada una de las plicas, siendo el principal criterio el precio, aunque existen otros criterios como el plazo de ejecución, las mejoras económicas, la mano de obra, etc.

La puntuación de los criterios evaluables mediante un juicio de valor dependen de la valoración de los técnicos del órgano de contratación en función de los aspectos señalados en los pliegos de contratación y su peso siempre es menor que el peso de los criterios evaluables mediante fórmulas. En la muestra de estudio se obtiene que los criterios evaluables mediante fórmulas tienen un peso del 72,8% (66,5% criterio precio y 6.3% otros criterios) y los criterios evaluables mediante fórmulas un 27,2%.

En la Tabla 2 se presentan los principales criterios de valoración mediante un juicio de valor indicando el número de veces que aparecen en la muestra y el peso medio respecto al global de la licitación.

Tabla 2: Criterios de valoración mediante un juicio de valor. Fuente: Elaboración propia

Descripción del criterio	Nº veces que aparece	Peso medio en el global de la licitación
Metodología o Plan de Organización de los Trabajos	*15*	*13,9%*
Propuesta técnica (o aptitud o calidad de la propuesta)	*10*	*17,3%*
Estudio o conocimiento del proyecto	*7*	*18,6%*
Equipo Facultativo (características, experiencia y número)[2]	*6*	*21,3%*
Autocontrol o aseguramiento de la calidad durante la ejecución de los trabajos	*5*	*4%*
Mejoras	*4*	*11,9%*
Actuaciones Medioambientales	*3*	*3,5%*
Dirección y Seguimiento de las Obras	*2*	*12,5%*
Memoria de Seguridad y Salud	*1*	*5%*
Tecnologías a aplicar I+D+i	*1*	*3%*
Análisis de optimización de costes	*1*	*20%*
Ordenación de conservación de la edificación. Inspección Técnica de Edificios	*1*	*20%*

3.4.- El criterio precio y sus fórmulas de puntuación.

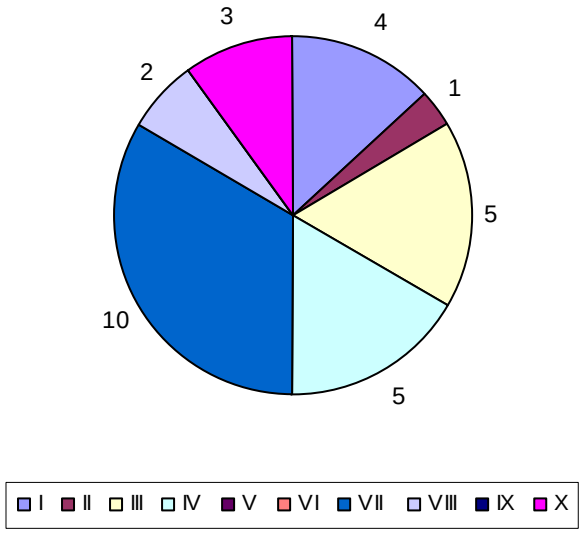
Los criterios o fórmulas de puntuación económica se determinan en los pliegos de contratación y permiten la evaluación de las ofertas económicas de los licitadores. Siguiendo la clasificación realizada por Fuentes y González (2013a) y que se señala a continuación, la muestra de estudio presenta los resultados que se observan en la Figura 4.

- Grupo I. En este grupo se distinguen dos criterios, en ambos la máxima puntuación se le otorga a la oferta más económica, mientras que se valora en el primero de ellos (Ia) con cero puntos a la oferta al tipo de licitación y en el segundo de los criterios (Ib) se puntúa con cero puntos a la oferta más alta, interpolando linealmente entre ambos valores para el resto de ofertas intermedias.
- Grupo II. La máxima puntuación se le otorga a la oferta más económica, realizando la puntuación de las siguientes ofertas de manera lineal en varios escalones. Estos escalones están predefinidos por cantidades fijas o se utiliza la media de las ofertas presentadas.
- Grupo III. La máxima puntuación se le otorga a la oferta más económica, sin indicar explícitamente en los pliegos de contratación la puntuación del resto de ofertas.
- Grupo IV. En este apartado se reflejan distintos criterios de puntuación que no se asemejan al resto de criterios señalados.
- Grupo V. La máxima puntuación se le otorga a las ofertas próximas a la media de las ofertas presentadas y conforme las ofertas (o sus bajas) se separan de ella (tanto por arriba como por abajo) son penalizadas, obteniendo una puntuación menor.
- Grupo VI. Todas las empresas obtienen una puntuación mínima por la oferta económica y el resto de puntuación hasta la máxima que se otorga a la oferta más ventajosa, se interpola linealmente o tienen una puntuación proporcional en varios escalones.

[2] Se incluyen en este ítem aspectos tales como conocimientos específicos en algún campo o experiencia específica en algún campo.

- Grupo VII. La máxima puntuación se le otorga a la oferta más económica, obteniendo el resto de empresas una puntuación proporcional según la oferta realizada. Se incluyen dos subgrupos, la fórmula que trabaja con las ofertas y la fórmula que trabaja con las bajas en tanto por cien de las ofertas.
- Grupo VIII. Se le otorgan una serie de puntos por cada tanto por cien de baja realizada respecto del precio de licitación, estando normalmente limitada la puntuación máxima.
- Grupo IX. La máxima puntuación la obtiene la oferta más ventajosa, calculándose la puntuación del resto de ofertas económicas mediante una fórmula que utiliza un coeficiente K en función de la oferta y del precio de licitación.
- Grupo X. La puntuación máxima la obtiene la empresa con la oferta más económica, obteniéndose la puntuación del resto de empresas de manera proporcional pero teniendo en cuenta la diferencia respecto de la oferta mínima o de la oferta media de las empresas licitadoras.

Figura 3: Fórmulas para evaluar el criterio precio (nº de veces que aparecen en la muestra). Fuente: Elaboración propia



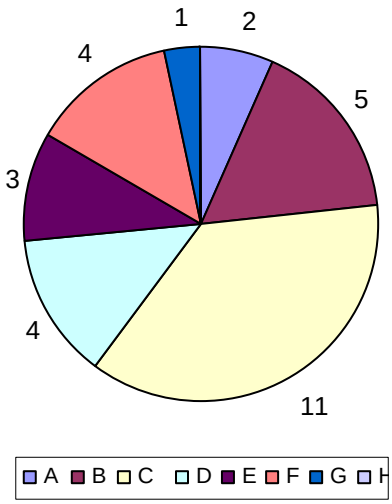
3.5.- Los criterios para estimar la desproporcionalidad o anormalidad de las ofertas económicas.

Se entiende que una baja ha realizado una oferta anormal o desproporcionada, lo que se conoce tradicionalmente como baja temeraria, a aquellas ofertas más bajas que el resto de competidores según la aplicación de unos supuestos o criterios. Siguiendo la clasificación realizada por Fuentes y González (2013b) y que se señala a continuación, la muestra de estudio presenta los resultados que se representan en la Figura 5.

- Grupo A. Criterio de desproporcionalidad basado en una Baja de Referencia más un diferencial, eliminando previamente del cálculo de la baja de referencia aquellas ofertas que presenten una desviación respecto de la baja media mayor a la desviación típica de todas las ofertas o bajas.
- Grupo B. Aquellos que aplican los supuestos del artículo 85 del Reglamento de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas (RLCAP) (España, 2001 [9]).

- Grupo C. Sin criterios de desproporcionalidad definidos en los pliegos, encontrándose en este apartado la mayoría de las subastas estudiadas en la muestra de estudio.
- Grupo D. Criterios de desproporcionalidad que se basan en los supuestos del artículo 85 del RLCAP, pero variando los porcentajes o diferenciales normativos.
- Grupo E. Aquellos en los que la desproporcionalidad se determina cuando la baja de las ofertas es superior a la baja media de las ofertas presentadas más un diferencial.
- Grupo F. Aquellos criterios donde la desproporcionalidad se produce cuando las ofertas son inferiores a la media de las ofertas presentadas menos un diferencial.
- Grupo G. La desproporcionalidad se determina mediante un porcentaje respecto del precio de licitación.
- Grupo H. En este grupo se contemplan criterios de desproporcionalidad que no pueden asociarse a ninguno de los grupos anteriores.

Figura 4: Criterios para evaluar la desproporcionalidad de las ofertas. (nº veces que aparecen en la muestra). Fuente: Elaboración propia



4.- Discusión.

La contratación pública de servicios de ingeniería y arquitectura en la Comunidad de Madrid (en adelante CM), al igual que ha sucedido en la Comunidad Valenciana (en adelante CV) se ha reducido como consecuencia del menor número de obras promovidas por la administración pública, a raíz de la crisis económica y de las políticas de reducción del déficit.

En la Tabla 3 se comparan los principales resultados de las características de las licitaciones de servicios de ingeniería en la CM y en la CV. En la CM la declaración del volumen global de negocios tiene mayor uso como medio para justificar la solvencia económica y financiera que en la CV, mientras que en ambas comunidades la justificación de la solvencia técnica y profesional se realiza en mayor medida mediante una relación de los principales trabajos o servicios realizados en los últimos tres años, sin necesidad de tener una cuantía mínima. Respecto a los criterios evaluables mediante fórmulas, y por extensión el criterio precio, son los que tienen mayor peso en el global de las licitaciones de servicios de ingeniería y arquitectura, siendo ligeramente mayor su peso en la CM.

Tabla 3: Comparación Resultados CM-CV

Característica	Comunidad de Madrid (CM)	Comunidad Valenciana (CV)
Solvencia Económica y Financiera	*Declaración de volumen global de negocios* *Declaración de entidades financieras* *Seguro de Riesgos Profesionales*	*Declaración de entidades financieras* *Declaración de volumen global de negocios* *Seguro de Riesgos Profesionales*
Solvencia Técnica y profesional	*Relación de principales servicios o trabajos realizados (sin importe mínimo)* *Equipo mínimo adscrito al proyecto (con requisitos mínimos)* *Relación de principales servicios o trabajos (con importe mínimo)*	*Relación de principales servicios o trabajos realizados (sin importe mínimo)* *Titulaciones del equipo técnico y del empresario* *Equipo mínimo adscrito al proyecto (con requisitos mínimos)*
Peso de los criterios evaluables mediante fórmulas	*72,8%*	*60,2%*
Peso del Criterio Precio	*66,5%*	*53,8%*
Criterios Evaluables mediante un juicio de valor	*Metodología y/o Plan de Organización de los Trabajos* *Propuesta Técnica (o aptitud o calidad de la propuesta)* *Estudio o conocimiento del proyecto*	*Metodología y/o Plan de Organización de los Trabajos* *Equipo Facultativo (características y número)* *Estudio o conocimiento del proyecto*
Fórmulas de puntuación criterio económico	*Grupo VII* *Grupo III* *Grupo IV*	*Grupo VII* *Grupo III* *Grupo IV*
Criterios de evaluación de la desproporcionalidad de las ofertas	*Grupo C* *Grupo B* *Grupo D y F*	*Grupo E* *Grupo C* *Grupo F*

Entre los criterios evaluables mediante un juicio de valor se observa que en ambas Comunidades el criterio “Metodología o Plan de Organización de los Trabajos” es el más utilizado, si bien en la CM aparece como segundo criterio “Propuesta Técnica (o aptitud o calidad de la propuesta” y en la CV el Equipo Facultativo (características y número), que en la CM no aparece hasta la cuarta posición.

Respecto a las fórmulas de puntuación del criterio precio, las más utilizadas para ambas comunidades son las correspondientes al grupo VII (al igual que sucede en el estudio de pliegos de contratación de obras de construcción realizado por Fuentes y González 2013a), es decir, aquellas que otorgan la máxima puntuación a la oferta más económica y al resto de licitadores una puntuación proporcional en función de su oferta.

En referencia a los criterios para evaluar la desproporcionalidad de las ofertas económicas los supuestos más utilizados son los correspondientes al grupo E en la CV (al igual que sucedía en el estudio de pliegos de contratación de obras de construcción, realizado por Fuentes y González 2013b) mientras que en la CM en muchos de los contratos no aparecen criterios para evaluar la desproporcionalidad de las ofertas. Cabe destacar el uso, tanto en la CM como en la CV, de los criterios de desproporcionalidad del Reglamento de la Ley de Contratos de la Administraciones Públicas (RLCAP), a pesar de estar derogado el reglamento.

5.- Conclusiones.

La licitación pública de los servicios de ingeniería y arquitectura en dos de las principales comunidades autónomas de España presenta una muy baja actividad, prueba de ello ha sido la dificultad de elaborar las muestras de estos estudios.

A la vista de los resultados obtenidos sobre los criterios de contratación, una buena estrategia empresarial de las ingenierías y despachos de arquitectura que quieran tener éxito en la contratación pública sería en primer lugar realizar un estudio muy exhaustivo del proyecto y de los competidores para la elaboración de una oferta económica competitiva y en segundo lugar, realizar una adecuada proposición técnica, en especial en el apartado de "Metodología y/o Plan de Organización de los Trabajos".

Las fórmulas de puntuación del criterio económico y los criterios de desproporcionalidad de las ofertas económicas más utilizadas en ambas comunidades no desvirtúan el peso del criterio precio en la licitación.

6.- Referencias.

Ballesteros-Moffa, L. A. (2009). La selección del contratista en el Sector Público: Criterios reglados y discrecionales en la valoración de las ofertas. *Revista de Administración Pública*, 180, 21-57.

Ballesteros-Pérez, P., González-Cruz, M.C., Pastor-Ferrando, J.P. (2010). Analysis of construction projects by means of value curves. *International Journal of Project Management*, 28, 719-731.

Ballesteros-Pérez, P., González-Cruz, M.C., Cañavate-Grimal, A. (2012a). Mathematical relationships between scoring parameters in capped tendering. *International Journal of Project Management,* 30(7), 850-862.

Ballesteros-Pérez, P., González-Cruz, M.C., Pastor-Ferrando, J.P. et al. (2012b). The iso-Score Curve Graph. A new tool for competitive bidding. *Automation in Construction*, 22, 481-490.

Ballesteros-Pérez, P., González-Cruz, M.C., Cañavate-Grimal, A., Pellicer, E. (2013). Detecting abnormal and collusive bids in capped tendering. *Automation in Construction*, 31, 215-229.

Bendaña-Jácome, R., Del Caño-Gochi, A., De la Cruz-López, P. et al. (2010). Selección multicriterio de contratistas de obras. Enfoque basado en redes neuronales. *Dyna Ingeniería e Industria*, 85(1). 71-84.

De Hoyos Maroto, B. (2005). Criterios de selección y criterios de adjudicación en la contratación administrativa: problemas de delimitación. *Cuenta con el IGAE*, 11, 30-36.

España. Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de Noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos del Sector Público. *Boletín Oficial del Estado*, 16 de Noviembre de 2011, núm. 276, p.117729-117914.

España. Plataforma de Contratación del Estado [En línea]. [Consulta: Marzo 2015]. Disponible en: <https://contrataciondelestado.es>.

Fuentes-Bargues, J.L. & González-Gaya, C. (2013a). Analysis of the Scoring Formula of Economic Criteria in Public Procurement. *International Journal of Economic Behavior and Organization*, 1(1), 1-12.

Fuentes-Bargues, J.L. & González-Gaya, C. (2013b). Determination of Disproportionate Tenders in Public Procurement. *Journal of Investment and Management*, 2(1), 1-9.

Fuentes-Bargues, J.L., González-Gaya, C., Díaz de Mera-Sánchez, M.P., González-Cruz, M.C. (2014). Análisis de la contratación pública de servicios de ingeniería y arquitectura en la Comunidad Valenciana. *Actas del XVIII Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos*, AEIPRO, Alcañiz, 592-604.

Fuentes-Bargues, J. L., González-Gaya, C., González-Cruz, Mª C. (2015). La contratación pública de obras: situación actual y puntos de mejora. *Informes de la Construcción*, 67(537): e058, doi: http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.130.

Fueyo Bros, M. (2009). Criterios objetivos de valoración versus objetivos de los criterios de adjudicación. *El Consultor de los Ayuntamientos y de los Juzgados,* 15-16, 2196-2280.

Gimeno Feliu, J.M. (2008). La Adjudicación de los contratos: La oferta económicamente más ventajosa. *Monografías de la Revista Aragonesa de Administración Pública*, 10, 155-184.

Global Trade Negotations (GTN) [En línea]. [Consulta: Febrero 2015]. Disponible en: <http://www.progressivestates.org>.

Gobierno de la Comunidad de Madrid [En línea]: Perfil de contratante. [Consulta: Marzo 2015]. Disponible en: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?cid =1203334374251&pagename=PortalContratacion%2FPage%2FPCON_contenidoFinal>.

Maninvest [En línea]: Buscador de contratos. [Consulta: Marzo 2015]. Disponible en: <http://www.maninvest.com>.

Martín Seco, J.F. (2003). El Precio como criterio de adjudicación en los concursos. *Cuenta con el IGAE,* 13, 11-26.

Ministerio de Fomento [En línea]: Servicios al Ciudadano / Información Estadística / Construcción. [Consulta: Abril 2015]. Disponible en: <http://www.fomento.gob.es /MFOM/LANG_CASTELLANO/ATENCION_CIUDADANO/INFORMACION_ESTADISTICA/>.

OECD Observer (Organization for Economic Co-operation and Development). Bribery in Procurement, Methods, Actors and Counter-Measures. OECD Publishing.

Padrós Reig, C. (2010). La regulación de la baja temeraria en los procedimientos de contratación. Fundamentación actual e historia normativa. *Revista de Administración Pública*, 181, 267-300.

Pastor-Ferrando, J.P., Aragonés-Beltrán, P., Hospitaler-Pérez, A. et al. (2010). An ANP and AHP based approach for weighting criteria in public works bidding. *Journal of the Operational Research Society*, 61, 905-916.

Pellicer Armiñana, E., Catalá Alis, J., Sanz Benlloch, A. (2003). Alternativas de colaboración entre las administraciones públicas y las empresas privadas en el proceso proyecto-construcción. *Actas del VII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, AEIPRO, Pamplona, 11-20.

02-003

SIMULATION SYSTEM FOR MANAGING UNCERTAINTY IN THE SUSTAINABLE DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES

Gómez López, Diego [1]; Purriños Prieto, Roberto [2]; del Caño Gochi, Alfredo [3]; de la Cruz López, M. Pilar [4]

[1] Intacta Gestión Ambiental, [2] Seaproof Solutions, [3] Universidad de La Coruña, [4] Universidade da Coruña

This paper presents a simulation system for managing uncertainty in the sustainable design of concrete structures. This system was conceived and developed for professional use and grounded on a probabilistic method that combines requirement trees, value functions, the Analytic Hierarchy Process, and the Monte Carlo simulation technique. It embraces the approach to assessing sustainability taken by the Spanish Structural Concrete Code (EHE, in Spanish), but can be applied in other code frameworks. Obviously, there is uncertainty about the final sustainability index when this parameter is estimated before the structure has been finished. Managing the sustainability objective will be hindered. It is therefore helpful to assess how likely it is to achieve the sustainability objective throughout the project life cycle. The system presented here takes into account the uncertainty of the different sustainability parameters. It makes it possible to estimate the probability distribution for the potential final index. This in turn will facilitate managing uncertainty in the sustainable design of concrete structures, increasing the likelihood of achieving the sustainability objective.

Keywords: *concrete structures; sustainability assessment; uncertainty; simulation; MIVES*

SISTEMA DE SIMULACIÓN PARA LA GESTIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN EL DISEÑO SOSTENIBLE DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

Esta comunicación presenta un sistema de simulación para gestionar la incertidumbre en el diseño sostenible de estructuras de hormigón. El sistema ha sido concebido y desarrollado para uso profesional y se basa en un método probabilista que combina árboles de requerimientos, funciones de valor, el proceso analítico jerárquico y la simulación tipo Monte Carlo. Se ajusta al enfoque de evaluación de la sostenibilidad de instrucción española de hormigón estructural EHE-08, pero el método puede ser aplicado en otros marcos normativos. Resulta evidente que existe incertidumbre acerca del índice de sostenibilidad final, cuando dicho parámetro se estima antes de la culminación de la estructura. Esto dificulta la gestión del objetivo de sostenibilidad. Por lo tanto resulta de utilidad estimar cuán probable es alcanzar dicho objetivo, a todo lo largo del ciclo de vida del proyecto. El sistema que se presenta tiene en cuenta la posible incertidumbre de los diferentes parámetros de sostenibilidad, y permite estimar la función de distribución del potencial índice final de sostenibilidad. Esto facilitará la gestión de la incertidumbre en el diseño sostenible de estructuras de hormigón, aumentando la probabilidad de alcanzar el objetivo de sostenibilidad.

Palabras clave: *estructuras de hormigón; evaluación de la sostenibilidad; incertidumbre; simulación; MIVES*

Correspondencia: Alfredo del Caño Gochi alfredo@udc.es

Agradecimientos: This work has been carried out within the framework of two projects funded, respectively, by the Xunta de Galicia (Galician autonomous government; project code 08TMT011166PR), and the Spanish Ministry of Science and Innovation (MINECO; project code BIA2010-20789-C04-02).

1. Introduction

The system presented here is inspired by a method based, in turn, on the MIVES technique (Integrated Value Model for Sustainability Assessment, in Spanish; Gómez et al. 2012; de la Cruz et al., 2014). MIVES is deterministic and underpinned by requirement trees (Fig. 1), value analysis (Alarcón et al. 2011), and the Analytic Hierarchy Process (Saaty 2006). It transforms different types of variables into one single unit, taking into account the relative importance of aspects related to sustainability.

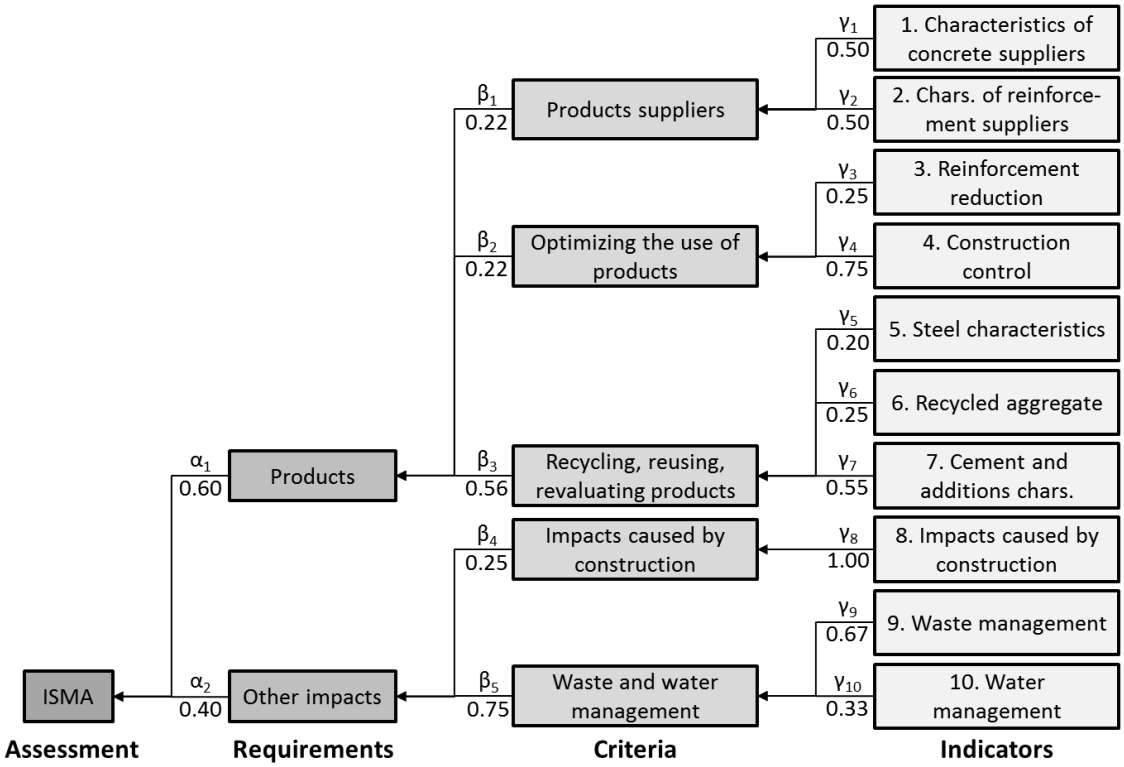


Figure 1. Requirement tree of the model.

One of its applications has been the sustainability assessment model for the Spanish Code on Structural Concrete (referred to from now on as EHE, in Spanish; Ministerio de la Presidencia 2008; Aguado et al. 2012), an internationally pioneering initiative. Two of the authors participated in the project in which it was created. EHE deals with assessing what has been called the Structure's Contribution to Sustainability Index (ICES, in Spanish). The underlying method of the system presented here is based on a modified, improved version of the EHE assessment model (hereinafter, EHEm). Finally, another one of its pillars is the Monte Carlo simulation technique (de la Cruz et al., 2014).

Once a structural sustainability objective has been established, the design will be carried out to achieve it. Obviously, there is uncertainty about the final ICES when this index is estimated before the structure has been finished. Sometimes, the value of specific variables depends on the characteristics of the companies contracted in the end. The same is true with the environmental certification of concrete suppliers.

Moreover, changes in the design or specs can generate significant oscillation in the ICES. These and other issues make it difficult to estimate this index. Managing the sustainability objective will also be less straightforward, as is the case with reaching the previously established goal. Hence, it is helpful to assess how likely it is to achieve the sustainability objective throughout the entire project life cycle. The system presented here takes into account the uncertainty of the different sustainability parameters, so that it is possible to estimate the probability distribution of the potential final ICES. This will make it easier to manage uncertainty in the sustainable design of concrete structures, increasing the likelihood of achieving the sustainability objective. The system can be freely downloaded in GRIDP (2013a).

2. The Method

2.1 Pre-Simulation Stage

This stage will be performed by users, and consists of identifying the model's probabilistic inputs and estimating the different deterministic and probabilistic ones (del Caño et al. 2012, de la Cruz et al., 2014). To understand this stage fully, the EHEm model must be summarized and, in turn, this means the MIVES technique must be explained.

2.1.1 The MIVES Technique

MIVES includes several stages. The first step entails identifying the problem to be solved, and the decisions to be made. Then, a hierarchical diagram of the decision model will be created. The breakdown structure of the assessment is established in the form of a requirement tree (Fig. 1). This graph may include qualitative and quantitative variables, with different units and scales. Specific mathematical functions serve to convert those variables into a set of parameters with the same units and scales.

The next stage is defining the relative weight of each aspect taken into account for the assessment. The various design alternatives will then be evaluated, using the previously created model. This will make it possible to reach the most suitable decisions and choose the most appropriate alternative.

MIVES is based on Multicriteria Decision Methods (MCDM). The indicator magnitudes and units are converted into a common, non-dimensional unit that can be called value. For a specific design alternative to be compared with others, the existence of a value function V: $P \rightarrow R$ can be considered, where $P = (P_1, P_2, \ldots, P_N)$ is the set of evaluation indicators included in the requirement tree. A non-dimensional value function V(P) will be constructed, integrating all the assessment indicators. The solution (Gómez et al. 2012; de la Cruz et al., 2014) is a non-dimensional function V, which is the weighted sum of N value functions V_i corresponding to the N indicators. For problems based on a requirement tree with three levels, the resulting V function takes the form of Equation (1).

$$V(P) = \sum_{i=1}^{i=N} \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i(P_i) \quad (1)$$

V(P) measures the degree of sustainability for the alternative that is being assessed; α_i and β_i are the weights of the requirements and criteria to which each indicator i belongs; γ_i are the weights of the different indicators; $V_i(P_i)$ are the value functions used to measure the degree of sustainability for the alternative under study, with respect to a given indicator i; and, finally, N is the total number of indicators that are taken into account for the assessment (N=10 in Fig. 1). Weights α_i, β_i and γ_i are factors that represent the preference, respectively, of certain indicators (γ_i), criteria (β_i), and requirements (α_i) against others. MIVES (Alarcón et al. 2011;

Gómez et al. 2012; de la Cruz et al., 2014) uses Equation (2) as the basis for defining individual value functions V_i.

$$V_i = \frac{1 - e^{m_i \cdot \left(\frac{P_i}{n_i}\right)^{A_i}}}{1 - e^{m_i \cdot \left(\frac{P_{i,\max}}{n_i}\right)^{A_i}}} \quad (2)$$

In this equation, P_i is the score of the alternative under assessment, with respect to indicator i under consideration, which is normally between 0 and 100. $P_{i,max}$ is the maximum score that can reach P_i, normally 100. A_i, n_i, and m_i are shape factors used to generate concave, convex, "S" shape, or straight line value functions. The geometry of the functions V_i (concave, convex, and so on) makes it possible to consider non-linearity in the assessments, and also to establish greater or lesser exigency when complying with the requisites for satisfying a given indicator (see Alarcón et al. 2011). Finally, the divisor of Equation 2 ensures that the value function will remain within the range of [0; 1], and that the highest contribution to sustainability is associated with a value equal to the unit.

Experts in the field must establish numerical values for weights α_i, β_i, and γ_i within the requirement tree (Fig. 1). In the case of complex models or innovative fields, the Analytic Hierarchy Process (AHP) may be used, in order to organize the process with efficiency, reduce its complexity and subjectivity, and diminish potential divergences among the experts. Nevertheless, AHP entails using semantic labels. Doing so could create subjective bias, even though the probability of this is very low. To make it less likely, a subsequent process of analyzing, comparing, and, if appropriate, modifying the resultant weights is recommended.

The reader can find additional information on, and a very detailed explanation of, the MIVES method in Gómez et al. (2012) and de la Cruz et al., 2014.

2.1.2 The EHEm Model

The sustainability assessment model used here is based on EHE, but includes specific modifications to solve several practical problems, such as small errors, misprints, or omissions, detected by the authors. In any case, both models produce similar results, since the authors wanted to respect the spirit of the EHE, and these modifications lie outside the scope for this paper.

The typical environmental indicators used in life-cycle analysis (LCA) to evaluate the sustainability of a structure relate to climate change, acidification potential, eutrophication potential, smog formation, ozone depletion, and toxicity, among other parameters. Nevertheless, the reality of the situation in Spain and many other countries is that there are few professionals with enough knowledge and experience to perform LCA. To avoid implementation problems, a practical approach was embraced. It was based on the usual concepts and parameters that architects and engineers normally use when designing and

constructing concrete structures, taking into account the life-cycle of the structure. Consequently, the method is easier for practitioners to understand, adopt, and apply.

The requirement tree of the environmental sub-model is included in Fig. 1. Its evaluation parameter is called the Environmental Sustainability Index (ISMA, in translation), and fits in with Equation (3), which is a specific case of Equation (1) for the problem dealt with here.

$$ISMA = \sum_{i=1}^{i=10} \alpha_i \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i \qquad (3)$$

With respect to the value functions of each indicator, all follow Equation (2). Different types of value function have been used in order to reflect the experts' consensus.

On the other hand, each of the indicators in Fig. 1 may have several quantitative and qualitative aspects that are to be evaluated. Thus, there is a fourth level of breakdown, included in Table 1 because of its length. A specific scoring system for each indicator also exists to quantify the degree of compliance for all aspects under assessment. As a result, only one P_i value is calculated for each indicator, and then it is introduced into the corresponding value function. This scoring system uses specific functions. Various tables bring together the scores for the possible solutions to be adopted for each indicator.

Table 1. Variables for the model and their values in the case study. CS = CS #1 = case study corresponding to curve #1 of Fig. 3. p = (p1, p2, p3) = probability of (alternative1, alternative2, alternative3) with discrete distributions. (N1, N2, N3) = (min, modal, max) values for trigen distributions.

Indicator	Variables of the model and their values for the case study
Characteristics of concrete suppliers	1. **Origin of concrete (prefabrication company, external ready-mixed company, on-site facility). *Case study (CS)***. *100% (volume) by an external ready-mixed company.* 2. **Environmental condition of the companies supplying concrete (certification, commitment, other cases). *CS.*** *External ready-mixed company: p = probability of (certification, commitment, other cases) = (Medium, Medium, Low).* 3. **Environmental condition of the contractor (certification, commitment, other cases). *CS.*** *p = (Medium, Medium, Low).* 4. **Distances from the concrete manufacturers plants to the site. *CS.*** *External ready-mixed company: (minimum, modal value, maximum) = (4, 15, 30) km.*
Characteristics of reinforcement suppliers	5. **Origin of the reinforcement (prefabricated elements, external facility, on site facility). *CS.*** *100% (weight) reinforcement supplied by an external facility.* 6. **Environmental condition of the rebar supplier (certification, commitment, other cases). *CS***. *External facility: p = (Medium, Medium, Nil).* 7. **Environmental condition of the contractor (certification, commitment, other cases). *CS.*** *p = (Medium, Medium, Low).* 8. **Distances from the rebar manufacturers plants to the site. *CS.*** *External facility: (50, 100, 150) km.*
Reinforcement reduction	9. **Percentage of pre-stressed reinforcement. *CS.*** *0%.* 10. **Percentage of reinforcement with quality mark. *CS.*** *0%.* 11. **Percentage of rebar joined with mechanical means (not welded). *CS.*** *(33%, 73%; 73%).*
Construction control	12. **Percentage of steel with diminished safety coefficient, in accordance with EHE. *CS.*** *0%* 13. **Percentage of concrete with diminished safety coefficient, in accordance with EHE. *CS.*** *0%.*
Steel characteristics	14. **Percentage of steel of each type. *CS.*** *100% B-500S.* 15. **Environmental certification of the steel production (EMAS, ISO, nothing). *CS.*** *Nothing.* 16. **Steel with quality mark (yes, no). *CS.*** *Yes.* 17. **Quality mark certifying that at least 80% of its production uses recycled scrap (yes, no). *CS.*** *No.*

	18. **Quality mark certifying steel production subject to the demands of the Kyoto Protocol (yes, no).** ***CS.*** *Yes.* 19. **Quality mark certifying that the steel manufacturer makes use of more than 50% of steel slag (yes, no).** ***CS.*** *No.* 20. **Raw materials and steel subjected to radiological emission testing (yes, no).** ***CS.*** *p (yes) = Medium.*
Recycled aggregate	21. **Percentage of concrete of each type.** ***CS.*** *4.5% of HM-20. 86% of HA-25. 9.5% of HA-40.* 22. **Percentage of recycled aggregate.** ***CS.*** *0% in all cases.*
Cement and addition characteristics	23. **Percentage of concrete produced with each type of cement.** ***CS.*** *100% of concrete produced with the same type of cement.* 24. **Environmental certification of cement production (EMAS, ISO, nothing).** ***CS.*** *p = (Medium, Medium, Low).* 25. **Cement with quality mark (yes, no).** ***CS.*** *p (yes) = High.* 26. **Production subject to the demands of the Kyoto Protocol (yes, no).** ***CS.*** *p (yes) = High.* 27. **Quality mark certifying production of cements using fuels and raw materials that produce fewer emissions of CO_2 (yes, no).** ***CS.*** *p (yes) = Medium.* 28. **Types of additions (additions to the cement; additions to concrete, in cases of concrete with quality mark, produced by a company with environmental certification; other cases).** ***CS.*** *Additions to the cement.* 29. **Percentage of additions to the cement (< 20%, ≥ 20%).** ***CS.*** *p = (Medium, Medium).* 30. **Percentage of additions of fly ash to concrete.** ***CS.*** *0% in all cases.* 31. **Percentage of additions of silica fume to concrete.** ***CS.*** *0% in all cases.*
Impacts caused by construction processes	32. **Site accesses paved (yes, no).** ***CS.*** *Yes.* 33. **Use of pneumatic cleaning systems (yes, no).** ***CS.*** *No.* 34. **Use of dust retention devices (yes, no).** ***CS.*** *No.* 35. **Use of sprinklers on-site to avoid generating dust (yes, no).** ***CS.*** *Yes.* 36. **Use of chemical stabilizers to reduce dust production (yes, no).** ***CS.*** *No.* 37. **Use of tarpaulins or canvasses during transportation, for covering material that can generate dust (yes, no).** ***CS.*** *p (yes) = Low.*
Waste management	38. **Management of excavation products (recycling, reusing or revaluating; dumping).** ***CS.*** *50% reusing; 50% dumping.* 39. **Management of construction and demolition waste (recycling, reusing or revaluating; dumping).** ***CS.*** *30% recycling; 70% dumping.* 40. **Percentage of concrete with quality mark.** ***CS.*** *0%.* 41. **Percentage of cylindrical specimens without sulfur capping, for testing concrete.** ***CS.*** *0%.* 42. **Percentage of cubic specimens for testing concrete.** ***CS.*** *0%.*
Water management	43. **Environmental condition of the contractor (certification, commitment, other cases).** ***CS.*** *p = (Medium, Medium, Low).* 44. **Use of efficient curing techniques with regard to water consumption (yes, no).** ***CS.*** *Yes.* 45. **Use of water saving devices (yes, no).** ***CS.*** *p (yes) = Medium.* 46. **Use of containers for collecting and using rain water (yes, no).** ***CS.*** *p (yes) = Medium.*
Social contribution	47. **Applying innovative design or construction methods deriving from R&D and innovation projects (yes, no).** ***CS.*** *No.* 48. **Training the on-site staff beyond legal requirements (yes, no).** ***CS.*** *No.* 49. **Adopting voluntary health and safety measures that go beyond legal requirements (yes, no).** ***CS.*** *p (yes) = Medium.* 50. **Establishing measures to inform the public of the features and timescales, as well as the economic and social implications of the project (yes, no).** ***CS.*** *p (yes) = High.* 51. **Having the project declared of public interest by the Administration (yes, no).** ***CS.*** *No.*
Extended lifetime contribution	52. **Minimum lifetime established by EHE for this kind of structure.** ***CS.*** *15 years.* 53. **Estimated lifetime of the structure.** ***CS.*** *50 years.*

The scope of this text makes it impossible to give a detailed description of all the environmental indicators. Although only the basic points are provided in Table 1, the reader can find the complete EHE model in Ministerio de la Presidencia (2008; in Spanish) and Ministerio de

Fomento (2011; in English), as well as the modified model used by the authors in GRIDP (2013b). As for Table 1, when applicable, the design or construction alternatives that bring a higher or lower score are shown in parentheses. As for transportation, a lower distance means a higher score. Finally, in aspects expressed by percentages, the score increases with these percentages.

After using the various specific formulae for assessing the different indicators and applying Equation (3) to obtain the ISMA, other sustainability aspects are taken into account to obtain an overall value for the ICES, using Equation (4).

$$ICES = a + b \cdot ISMA \quad (4)$$

with the following restrictions:

$$ICES \leq 1$$

$$ICES \leq 2 \cdot ISMA$$

In Equation (4), *a* is the coefficient associated with the social contribution, which evaluates the five issues reflected in Table 1 (variables 47 to 51). On the other hand, economic aspects are taken into account in a simplified manner, using coefficient *b*, which increases with structural durability. The reader should remember that other economic aspects, such as material savings, have already been considered in the environmental indicators. Coefficient *b* is calculated by using Equation (5), dividing the estimated lifetime (t_g) by the minimum compulsory lifetime required by EHE ($t_{g,min}$).

$$b = \frac{t_g}{t_{g,\min}} \leq 1.25 \quad (5)$$

A level scale has been established that is similar to the one used to compare appliance energy consumption. It gives each structure a sustainability level of A, B, C, D, or E, depending on the numerical ICES obtained.

2.2 Simulation Stage

After the relevant information has been entered, the computer system will now perform a Monte Carlo simulation using the EHEm model. In this way, it is possible to know the uncertainty and thus the risk of not meeting the sustainability objective. Decisions that increase the likelihood of success can be made. Monte Carlo has moderate convergence speeds, although the speed is hardly affected by the number of inputs for the problem. It is therefore a useful and rapid method for problems in which many variables intervene. Such is the case of the problem featured in this text, which includes about 50 input variables.

2.3 Post-Simulation Stage

Once the simulation has been done, the resulting sample of possible final ICES will be now analysed. The opportune statistic parameters (maximum, minimum, average, mode, typical deviation) will be calculated, as well as the corresponding graphs of the resulting distribution function. Then the user will interpret the statistical analysis and reach the necessary decisions about structural design.

Pre-simulation, simulation and post-simulation stages are performed on a periodical basis throughout the life cycle of the project and whenever there are major modifications. Thus new data are fed into the process. Over time, there are changes in the nature and degree of uncertainty. With these steps, one can have at hand complete and useful information to manage the sustainability objective throughout a project's entire life cycle.

There is a final stage that is crucial. In it, the authentic final data are recompiled to produce a historical data base. This will make it possible, in the future, to perfect the model and estimate its variables more effectively.

3. The System

3.1 Introduction

The system presented here includes a user-friendly design and carries out the calculations mentioned earlier. It has been developed in the Microsoft Visual Basic for Applications language (from here on VBA) and works within Microsoft Office Excel. In this way, data previously stored in spreadsheet files can be easily introduced.

3.2 Input Interface

The system is structured into three modules: data entry, simulation, and outcomes. The user interface has a zone for general menus, situated on the left (Fig. 2). On the right, different screens for each menu option can be seen. The ***Datos*** (Data) option is for introducing and editing the structural data (see Table 1). There are 12 data entry forms, one for each environmental indicator, one for social aspects, and another for those related to structural durability.

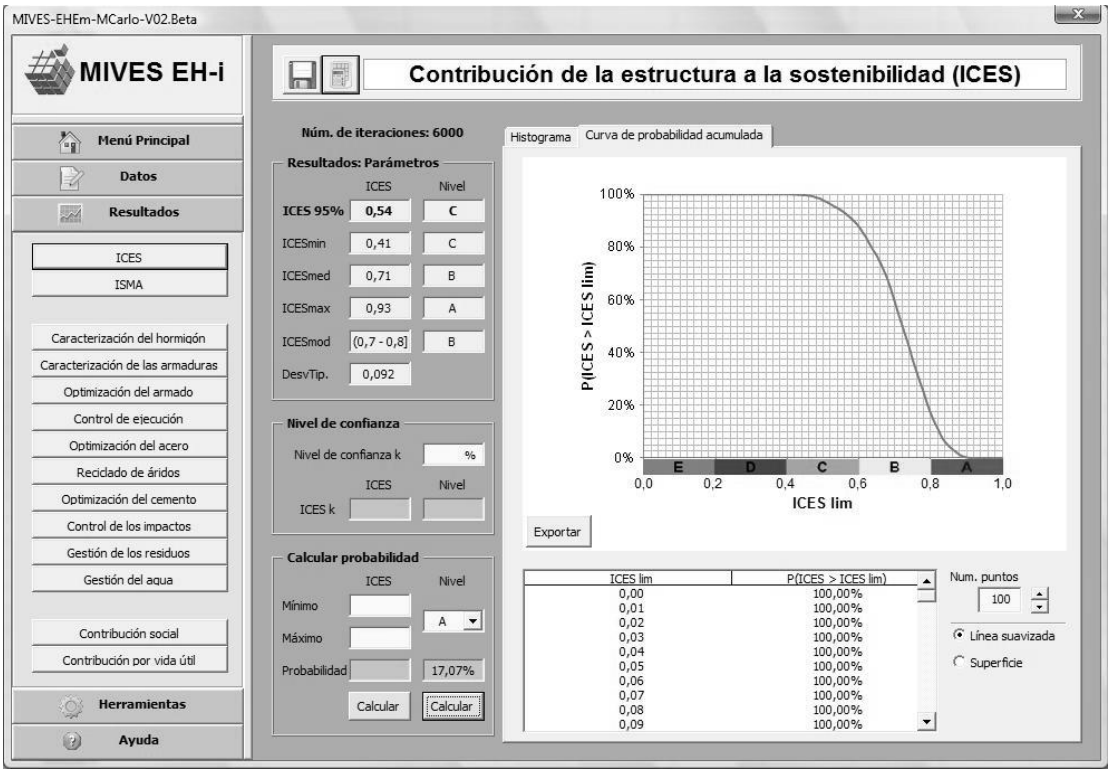


Figure 2. Interface showing the results of the statistical analysis for simulated ICES values.

To introduce the data for a variable, the first task is to indicate if it brings uncertainty with it. Three options can be taken: ***Determinista***, ***Probabilista***, and ***Desconocido*** (Deterministic, Probabilistic, and Unknown). Unknown lets users handle the system when they have little idea of the possible extreme (maximum and minimum) and most probable (modal) values. The system stores a series of data to be used in these cases, establishing prudent hypotheses that

are not necessarily the most pessimistic ones. The Unknown option is not available for the variables that are always going to be known by the designer, as they deal with crucial data or aspects that, defined by legislation, have to be included in every design.

On the other hand, for the Deterministic variables, it is necessary to introduce the corresponding numerical value or semantic label, according to the type of variable being dealt with. Labels are used for specific conditions that may or not be fulfilled.

As for Probabilistic variables, architects and engineers currently lack the necessary knowledge and experience to establish the use of specific distribution functions. There are no historical data bases for the parameters evaluated here. Consequently, the user cannot choose the type of distribution function to be used. For continuous numerical variables- such as transport distances- triangular distributions come into play. The user should only enter the modal and extreme (max., min.) values. These distributions (Williams 1992) are easy to handle, because they only entail estimating the extreme and most frequent values. They are also simple to understand.

Furthermore, these distributions can be configured as asymmetric ones. This is a necessary concern here because, in the field related to this study, the distances between mode and the two extremes of the distribution usually differ. On the other hand, assuming that the user may make small errors when estimating extreme values, trigen distributions are used (open or general triangular ones; Hillson and Simon 2007). This leaves a 5% probability, which exceeds those extreme values.

It should not be cause for concern that these distributions have a geometry that fails to adjust perfectly to the possible real distribution. As long as estimates for key parameters are reliable, it is better to perform simulations than to depend on deterministic models. These are less able to capture the underlying complexity of the reality. A final point is that, for obvious reasons, Bernoulli and general discrete functions are used for the discrete probabilistic variables with two or three possible alternatives. In this way, the probabilities for each one of those alternatives can be estimated.

For discrete variables with two possible options (Yes / No), one must establish how probable it is for the evaluated structure to comply with the corresponding requisite. There are also discrete variables that may have three posible situations: for example, the ones related to a supplier having ISO 14001 certification, EMAS certification, or no certification whatsoever. Here it is necessary to estimate the probability for each one of those situations.

As mentioned earlier, there are no historical data bases covering this field. Therefore, it is unsurprising that users have difficulties in estimating these probabilities in numerical terms. To solve this problem, the system uses semantic labels: Null, Low, Medium, and High Probability. These labels are then converted into appropriate numerical figures and an incoherent combination of labels is thus avoided.

3.3 Simulation

3.3.1 General Issues

With the data entered, ***Herramientas*** (Tools) helps with performing the simulation. To generate pseudo-random numbers adjusted to other probability distributions, the inversion technique (inverse transformation; Ríos et al. 1997) has been used.

3.3.2 Data Matrices

It was necessary to develop a VBA matrix system (VBA matrices; Walkenbach 2004), to handle the great quantity of values, variables, and results used in and generated with the simulation.

The computation time is dramatically reduced when compared with work that relies on data stored on a spreadsheet.

Firstly, the data entered are saved on spreadsheets. Then, these data are stored in VBA matrices called input matrices. They are then to be used in the calculation. Just as there are 12 entry forms and 12 spreadsheets to save these data, the system counts on 12 input matrices, one for each indicator in the EHEm model.

On the other hand, the values used for calculating the ICES in each iteration are stored in another set of matrices, called intermediate data matrices. For deterministic variables, the values saved in these matrices will always be the same. In contrast, the values for the probabilistic variables will be generated (simulated) in each iteration. Once again, there are twelve intermediate data matrices, one for each indicator.

Moreover, when pseudo-random values are being generated, the system needs to know for which input variables it is necessary to generate those values. It must also know where within the intermediate data matrices they should be stored. This information is stowed in a third set of matrices. These are called address matrices and contain the rows and columns (addresses) for the intermediate data matrix elements corresponding to the probabilistic variables. It is possible to use only one address matrix for each indicator. However, twenty-four address matrices come into play: 12 for probabilistic variables and another dozen of them for those that have been declared as unknown, given that the system treats them internally as probabilistic.

Lastly, so that one can analyze not only the possible ICES, but also the potential score that could achieve the 12 ICES indicators, the system stores the points obtained in each iteration for each indicator, as well as the ISMA value. This is performed through the use of 14 VBA matrices, called output matrices.

3.4 Statistical Analysis and Results Interface

Once the simulation has finished, ***Resultados*** (Results; Fig. 2) carries out a thorough statistical analysis of the simulation results. Users can see the outcomes of that analysis and select the variables whose distribution function they want to study. These variables may be an environmental indicator, the social criterion, the one related to durability, the ISMA, or the global one, the ICES.

The key parameters for the distribution function can also be found here (Fig. 2; ***Resultados: Parámetros***; Results: Parameters). The first of these is called characteristic value. Analogous to the characteristic strength of concrete, this value indicates the ICES that the structure will reach, with a 95% confidence level. Besides the characteristic value, the minimum, average, maximum and modal values, as well as the typical deviation, are calculated (Fig. 2).

The frequency histogram (***Histograma*** tab) and the curve of cumulated probability (***Curva de probabilidad acumulada*** tab) can also be analyzed (Fig. 2), the latter for estimating, at a glance, the probability of reaching the established sustainability objective.

The ***Nivel de confianza*** (Confidence level) box makes it possible to calculate, in accordance with the results of the simulation, the ICES and ICES level for a confidence level k previously established.

Finally, the ***Calcular probabilidad*** box (Calculate probability) lets one calculate the probability of the structure's ICES falling within a specific values interval. The interval can be set numerically, or through suitable ICES levels (A, B, C, D, E).

4. Case Study

Serving as a case study is the project for an industrial building to be located in north-western Spain. It is to have a surface area of approximately 800 m^2. The structural materials are wood for the roof structure (beams and purlins), steel for the roof bracing, and concrete for the rest of the structure (columns, façade bracing, and foundations). In total, the structure has 295 m^3 of concrete and 16 t of steel reinforcement. Other general features of the concrete structure are summarized in Table 1. This table also provides the detail necessary for performing the corresponding calculations.

Once the simulation is performed, the minimum, average, and maximum ICES values are 0.21, 0.52, and 0.74 respectively. Put in terms of ICES levels, this means D, C, and B. The distribution mode coincides with the interval (0.5; 0.6), making it a level C. Moreover, the typical deviation is 0.093, and with a 95% confidence level, the ICES for this structure exceeds 0.34 (level D). Curve #1 of Fig. 3 summarizes this situation. It is therefore obvious that, in order to have the slightest possibility of reaching a high sustainability level (A or B), a good number of modifications have to be made.

For instance, the potential ICES could be increased improving the values for variables 22 (from 0% to 20%: see Table 1), 38 (now 100% is to be reused), and 39 (now 60% for recycling and 40% for dumping). In this way, the cumulative probability curve moves to the right (Curve #2 of Fig. 3). The new (minimum, average, and maximum) ICES values are (0.41; 0.71; 0.93), which correspond to levels C, B, and A. The mode is now in the interval (0.7; 0.8), which would mean a level B. With a 95% confidence level, the ICES exceeds 0.54 (level C). There is thus some possibility of achieving a level A objective, but it is very low (17%). On the other hand, the typical deviation is about the same (0.092), since the modifications mentioned only affect deterministic inputs. Obviously, it is possible to increase the potential ICES, diminishing the uncertainty of some probabilistic inputs. For instance, one can assure that:

- The ready-mixed concrete company and the contractor participating in the project have an environmental certification (inputs 2, 3, 7, and 43 of Table 1).
- The cement production has an environmental certification, either EMAS or ISO (input 24 of Table 1). Now P(EMAS, ISO, nothing) = (Medium, Medium, Nil).
- The cement has a quality mark and its production is subjected to the demands of the Kyoto Protocol (input 25 and 26 of Table 1).
- Tarpaulins or canvasses are used during transportation, to cover material that can generate dust (input 37 of Table 1).

In the next step, the cumulative probability curve will move again to the right (Curve #3 of Fig. 3). Now the (minimum, average, and maximum) ICES values are (0.71; 0.85; 0.96) which, despite everything, correspond again to (B; A; A) levels. The mode changes at the interval (0.8; 0.9) and, with a 95% confidence level, the ICES exceeds 0.78 (level B). However, the probability of an A level is now 88%. In the end, uncertainty has been reduced and the typical deviation is 0.044.

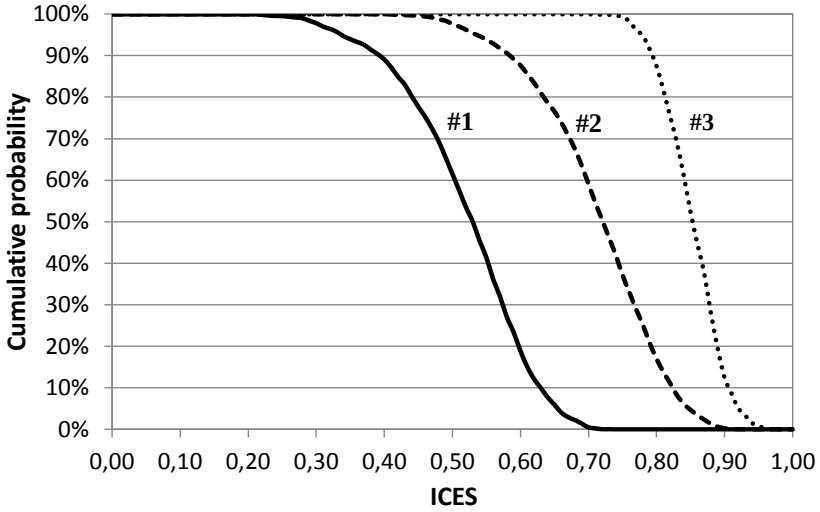


Figure 3. Curves of cumulative probability for the case study.

5. Conclusions

Just as they define project time, cost, and quality targets, it is increasingly more common for the promoter, proprietor, user, and even the constructor to set sustainability objectives. Nevertheless, uncertainty constitutes a problem for estimating sustainability, especially in the early project phases. The potential effectiveness of the sustainability management function is diminished and it is therefore much less likely that the corresponding objective is achieved. This makes it difficult to apply deterministic assessment systems.

The system presented here is a solution to this problem. It sheds light on the likelihood of reaching the sustainability objective throughout the entire project life cycle. It also comes into its own when the consequences of making different decisions are being compared. This will facilitate on-time decision making, in order to achieve the sustainability objective. The method is applicable to any type of structure, although it can be more effective in large and complex projects.

Conceptually, the method can be more or less easily understood by architects and engineers. Nevertheless, it entails using computational techniques. To apply this method it is necessary to design and build computer systems that an architect or structural engineer would not normally be able to develop. This paper has presented a free, user-friendly system for applying the method, which has been conceived and developed to make sustainability management easier for professionals from the construction sector.

References

Aguado, A., del Caño, A., de la Cruz, M. P., Gómez, D., & Josa, A. (2012). Sustainability assessment of concrete structures within the Spanish structural concrete code. *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 138 (2), 268-276.

Alarcón, B., Aguado, A., Manga, R., & Josa, A. (2011). A value function for assessing sustainability: application to industrial buildings. *Sustainability*, 2011 (3), 35-50.

de la Cruz, M. P., Castro, A., del Caño, A., Gómez, D., Lara, M., & Cartelle J. J. (2014). Comprehensive methods for dealing with uncertainty in assessing sustainability. Part I:

the MIVES-Monte Carlo method. In *M. S. García-Cascales, J. M. Sánchez-Lozano, A. D. Masegosa & C. Cruz-Corona (Eds.), Soft computing applications for renewable energy and energy efficiency,* (69-106). Hershey, PA: IGI-Global.

del Caño, A., Gómez, D., & de la Cruz, M.P. (December 2012). Uncertainty analysis in the sustainable design of concrete structures: a probabilistic method. *Construction and Building Materials*, 37, 865–873.

Gómez, D., del Caño, A., de la Cruz, M.P., & Josa, A. (2012). Metodología genérica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas constructivos - El método MIVES. I*n: Sostenibilidad y construcción. A. Aguado, Ed. ACHE* (Asociación Científico-Técnica del Hormigón), Madrid, Spain, 385-411.

GRIDP (2013a). Web with free software developed by the *Grupo de Ingeniería y Dirección de Proyectos* (GRIDP) of the University of La Coruña, Spain. <http://www.ii.udc.es/GRIDP/castellano/software.html> (Oct. 2013).

GRIDP (2013b). Web with documents and publications of the *Grupo de Ingeniería y Dirección de Proyectos* (GRIDP) of the University of La Coruña, Spain. <http://www.ii.udc.es/GRIDP/castellano/documentos.html> (Oct. 2013).

Hillson, D., & Simon, P. (2007). Practical project risk management: the Atom methodology, *Management Concepts*, Vienna, VA, USA.

Ministerio de Fomento (2013). "Annex 13. Structure's contribution to sustainability index". Translation to English of the reference Ministerio de la Presidencia (2008). <http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/50D89600-4877-40C0-B70C-D4FCEBC24993/97107/Annex_13.pdf> (May 1, 2013).

Ministerio de la Presidencia (2008). "Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-2008)". Boletín Oficial del Estado (BOE), 203 (August 22, 2008), 35176-8 and Suplemento del BOE 203, 1-304. Appendix 13 of the Spanish EHE Code, pages 239-247 of the Supplement.

Ríos, D., Ríos, S., & Martín, J. (1997). Simulación - Métodos y aplicaciones, *Ra-ma,* Madrid, Spain.

Saaty T. L. (2006). Fundamentals of decision making and priority theory with the Analytic Hierarchy Process (Vol. VI of AHP Series), *RWS Publications*, Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

Williams, T.M. (1992). "Practical Use of Distributions in Network Analysis". *Journal of the Operational Research Society*, 43, (3), 265-270.

02-004

PROPOSALS FOR IMPROVING THE SUSTAINABILITY ASSESSMENT MODEL OF THE SPANISH STRUCTURAL CONCRETE CODE.

Mel Fraga, José [1]; Gómez López, Diego [2]; del Caño Gochi, Alfredo [3]; de la Cruz López, M. Pilar [4]; Aguado de Cea, Antonio [5]; Josa García-Tornel, Alejandro [5]

[1] Ministerio de Defensa, [2] Intacta Gestión Ambiental, [3] Universidad de La Coruña, [4] Universidade da Coruña, [5] Universidad Politécnica de Cataluña

The Spanish Structural Concrete Code (EHE-08) has been a pioneer experience in the international arena, establishing a model for assessing sustainability. After years of applying and analyzing that model, the authors have detected some problems, as well as potential improvements to carry out. At present, the Spanish Ministry of Public Works is working to generate a new Structural Code adapted to the Eurocodes. The new Spanish Code will include supplementary documents for dealing with the topics not covered by the Eurocodes. This will be the case of sustainability assessment. This paper will present different proposals for avoiding the alluded problems and achieving a more rigorous assessment model.

Keywords: *sustainability assessment; structural concrete; codes*

PROPUESTAS PARA LA MEJORA DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL

La Instrucción española de hormigón estructural EHE-08 ha sido pionera internacionalmente, estableciendo un modelo de evaluación de la sostenibilidad. Tras años de aplicación y análisis de dicho modelo, los autores han detectado algunos problemas en él, así como diversos aspectos a mejorar. En estos momentos el Ministerio de Fomento está trabajando para generar un nuevo Código Estructural español, adaptado a los Eurocódigos. El nuevo Código español va a incorporar documentos complementarios para aquellos aspectos no cubiertos por los Eurocódigos, como es el caso de la evaluación de la sostenibilidad. Esta comunicación presentará diversas propuestas para que el nuevo modelo carezca de los problemas detectados y sea más riguroso en sus evaluaciones.

Palabras clave: *evaluación de la sostenibilidad; estructural; normativa*

Correspondencia: Alfredo del Caño Gochi alfredo@udc.es

Agradecimientos: El presente trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos BIA2010-20789-C04-02 y 08TMT011166PR, respectivamente financiados por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y la Xunta de Galicia.

1. Introducción. Objeto. Materiales y métodos.

La Instrucción vigente de hormigón estructural EHE-08 (en adelante, EHE; Ministerio de la Presidencia, 2008a) ha supuesto muchos cambios, entre los que se encuentra un planteamiento general de sostenibilidad para el conjunto de la propia Instrucción, no existente hasta la fecha y no usual en este tipo de normativas. El nuevo articulado incluye estrategias para evitar un consumo innecesario de materiales, como es el caso del fomento del uso de la probeta cúbica, así como para promover un uso racional de la energía favoreciendo, por ejemplo, la producción de cementos con combustibles alternativos a los convencionales.

La EHE se ha estructurado de manera que se pueda analizar buena parte del ciclo de vida de la estructura, estableciendo estrategias para disminuir los impactos sobre el medio ambiente (Rodríguez, 2008). Además, se ha potenciado el carácter de sumidero ambiental de las estructuras de hormigón, acercando la instrucción a la realidad del mercado, en la cual hace tiempo que se usan subproductos y residuos como el humo de sílice, las cenizas volantes, la chatarra, o el árido procedente de reciclaje, entre otros. Finalmente, la Comisión Permanente del Hormigón (CPH) no ha querido conformarse con un conjunto bienintencionado de reglas cualitativas, creando el Anejo 13 (en adelante, el Anejo), que da al técnico la posibilidad de cuantificar la contribución de las estructuras a la sostenibilidad, mediante el denominado Índice de Contribución de la Estructura a la Sostenibilidad (ICES), pionero en el ámbito internacional.

Si bien se nota una progresiva preocupación con respecto a la sostenibilidad entre los técnicos del sector, tanto dentro como fuera de España, hasta ahora la aplicación del Anejo ha sido reducida, lo cual puede responder a varios factores. Entre otros, y en primer lugar, el importante período de crisis habido, que ha reducido mucho el volumen de obra. Esto lleva a planteamientos de mero corto plazo, cuando la sostenibilidad es un enfoque a largo plazo. Por otro lado, el Anejo no es de obligado cumplimiento y el proyectista, salvo exigencia en contra por parte de su cliente, tiende a no aplicarlo para no hacer todavía más complicado el ya de por sí complejo proceso de proyectar estructuras. También puede haber influido la dificultad de introducir novedades en un sector tradicionalmente conservador; esto siempre requiere cierto tiempo y esfuerzo, y tanto más, en este caso, si se trata de aspectos alejados de lo tensional, de las deformaciones, y del propio dimensionamiento. Además, la falta del papel tractor de las Administraciones Públicas en sus propias inversiones no ha tenido un efecto de ejemplo para el sector privado. Finalmente, puede haber influido una falta de explicación y pedagogía del propio Anejo, especialmente por ser una normativa pionera, lo cual suele suponer para el técnico diversos problemas de interpretación y aplicación.

Han pasado los años, y en este momento se está redactando el nuevo Código Estructural (CE) español, que sustituirá a la EHE y a la EAE (Instrucción de acero estructural; Gómez el al., 2012c) ajustándose a los Eurocódigos. Ello representa una oportunidad para mejorar lo relativo a la sostenibilidad. Hay dos posibles alternativas: la mejora progresiva, o el cambio radical.

El objeto de esta comunicación es desarrollar estas dos alternativas, aportando recomendaciones o soluciones para la mejora del Anejo de sostenibilidad de la EHE, y su utilización en el nuevo Código Estructural y, por otro lado, nuevas ideas que pueden servir tanto para una mejora progresiva, como para un cambio radical. Se hace notar que, si bien algunas de estas propuestas son específicas para estructuras de hormigón, otras son aplicables a cualquier tipo de estructura, sea de hormigón, metálica, de madera o de fábrica. En todo caso, los autores no pretenden la crítica sino sugerir posibles soluciones, entre otras cosas porque casi todos ellos han participado en la redacción del Anejo 13 de la EHE.

En lo relativo a interpretación y aplicación, los autores han estudiado a fondo el texto de la instrucción, y han consultado el borrador final del grupo de trabajo que lo redactó, que fue sometido a exposición pública. Téngase en cuenta que en la redacción de una Instrucción de este tipo, dicho grupo no tiene control total sobre el resultado final, ya que tras su intervención se abre un período de exposición pública y cualquier persona física o jurídica puede proponer modificaciones que, de ser aceptadas por la CPH, modifican el borrador preparado por el grupo. Además de lo anterior, se han mantenido conversaciones con responsables del Ministerio de Fomento y con algunos otros miembros del mencionado grupo de trabajo. Por otro lado, se han realizado búsquedas bibliográficas y se han analizado los desarrollos que ha habido sobre el modelo de la EHE, con posterioridad a la misma. Finalmente, los autores han aplicado el Anejo a diversos proyectos, durante más de cinco años. Como resultado de ello se han detectado diferentes problemas en el articulado.

Antes de seguir adelante es necesario hacer una aclaración. La EHE es muy parca en explicaciones y se limita a resumir los criterios o indicadores que hay que tener en cuenta en la evaluación, las fórmulas a usar en la misma, y los valores que pueden tomar las diferentes variables que incluyen dichas fórmulas. No explica el método MIVES (Método Integrado de Valor para una Evaluación Sostenible), que es el que se ha usado como base en la Instrucción. El objeto de esta comunicación no es exponer los fundamentos de dicho método, ni que el lector comprenda el Anejo. Por el contrario, esta comunicación va dirigida al lector que tiene cierto conocimiento del Anejo 13 de la EHE y de su aplicación a casos reales, con vistas a provocar en él la reflexión, de forma que pueda analizar en su momento el borrador del nuevo Código Estructural con mayor claridad, aportando incluso ideas adicionales a las aquí incluidas, como resultado de sus propios razonamientos. El lector interesado que todavía no tenga un conocimiento mínimo del Anejo debe consultar las publicaciones de Aguado et al. (2011) o Gómez et al. (2012b), antes de afrontar la presente lectura.

2. Resolución de problemas menores del modelo de la EHE

A continuación se resumen las principales ideas para mejorar los problemas menores de tipo práctico del Anejo 13 de la EHE-08. En la extensión que permite un escrito de este tipo no hay espacio para exposiciones detalladas. Por tanto, se van a reseñar los problemas más relevantes. El lector interesado puede encontrar en Gómez (2012) dichas explicaciones detalladas, y en GRIDP (2015b) un texto modificado del Anejo, en el cual se solucionan todos los problemas menores que se han detectado. No es objeto de este epígrafe entrar a discutir si sobra o falta alguna variable o indicador en la evaluación, o si los pesos del árbol y las puntuaciones asignadas por el anejo reflejan la contribución real a la sostenibilidad de cada variable, cosa que se hará en el epígrafe siguiente.

- *Árbol de requerimientos*.
    - Para mayor claridad, el nuevo Código debería incluir en el articulado la imagen del árbol de requerimientos, criterios e indicadores en el cual se basan los cálculos.
    - Para evitar incoherencias conceptuales con respecto a la ubicación de otros indicadores, el indicador medioambiental *optimización del acero para armaduras* debe ubicarse en el criterio medioambiental *preservación de los recursos*.
    - Para evitar resultados incoherentes del cálculo, debidos a la correlación que hay entre algunas de las variables de estos dos indicadores, al problema de cálculo causado por el parámetro H, así como a la semejanza existente entre los aspectos valorados en ambos, los indicadores de *optimización del cemento* y *optimización del*

hormigón deben unificarse en uno solo, denominado *optimización del cemento y las adiciones*.

- Las propuestas anteriores llevan a la necesidad de redefinir los pesos de los parámetros afectados por las mismas.

- *Funciones de valor*. Para evitar resultados indeseables del cálculo, contrarios a la misión del indicador medioambiental de *sistemática del control de ejecución*, su función de valor debe tener forma de S, para fomentar realmente el uso de coeficientes de seguridad disminuidos en un porcentaje elevado de los materiales.
- *Criterios medioambientales de caracterización del hormigón y de las armaduras*.
  - Con respecto al primer criterio, hay que solucionar diversas erratas en el párrafo que dice: "Los *valores de la Tabla anterior se corresponden con unas distancias máximas de transporte de 45 km y 300 km para el hormigón preparado […], que seguirá siendo 0*". Este párrafo lleva a cálculos en contra del concepto de sostenibilidad, y por ello es necesario redactarlo de la siguiente forma: "*Los valores de la Tabla anterior se corresponden con unas distancias máximas de transporte de 45 km y 300 km para el hormigón preparado y para los elementos prefabricados, respectivamente. En el caso de que dichas distancias fueran mayores, los valores de los coeficientes λ_{11} y λ_{13}, correspondientes a la instalación de hormigón preparado y a la de prefabricación, se reducirán en 5, y el correspondiente a la empresa constructora también se disminuirá en 5, salvo en la fila correspondiente a "Otros casos" que seguirá siendo 0*".
  - Lo mismo habría que hacer con respecto las erratas del mismo tipo que hay en el criterio de *caracterización de las armaduras*.
- *Criterio medioambiental de optimización del armado*.
  - Para evitar posibles problemas de cálculo cuando coexisten en la obra elementos de hormigón armado y pretensado, el texto normativo debe aclarar que en este caso hay que obtener las puntuaciones para cada tipo de hormigón, entre 0 y 100, y después ponderarlas en función del porcentaje en volumen de cada tipo.
  - Con respecto al sistema de unión de las armaduras, para evitar cálculos en contra de la realidad, la puntuación P_3 debe ser igual o menor si el hormigón es armado que si es pretensado, a igualdad del resto de variables.
  - Teniendo en cuenta que (por ejemplo, en plantas industriales) hay estructuras que no incluyen losas de tipo alguno, el parámetro relativo a losas armadas con mallas electrosoldadas debe eliminarse, o bien redefinirse para evitar penalizar dichas estructuras.
- *Criterio medioambiental de optimización del acero*. En este indicador se valora dos veces la posesión de un distintivo de calidad. Primero al establecer las puntuaciones λ_{4i}, y posteriormente mediante el parámetro A de su función representativa. Se debe eliminar dicha duplicidad, suprimiendo el parámetro A.
- *Criterio medioambiental de sistemática del control de la ejecución*.
  - Por coherencia con el fomento que el Anejo hace acerca del uso de coeficientes de seguridad reducidos para el acero, también debe hacerse lo propio con el hormigón.
  - Por otro lado, debe solucionarse el hecho de que la tabla de puntuaciones de este criterio no recoge todos los posibles casos que se pueden dar en la realidad.
- *Criterio medioambiental de reciclado de áridos*. Por coherencia con el resto de articulado de la EHE, en el cual se permite un contenido de áridos reciclados superior al 20%, este

indicador debe valorar positivamente porcentajes superiores a dicho 20%. La correspondiente función de valor debería ser cóncava con respecto al eje de abscisas, con objeto de obtener altos niveles de satisfacción para dicho 20%, que es el máximo recomendado por la EHE en ausencia de estudios específicos.

- *Criterio medioambiental de control de los impactos*. Ni todos los métodos incluidos en este indicador son igualmente eficaces, ni todas sus combinaciones contribuyen en el mismo grado a evitar la generación y propagación de polvo, partículas y suciedad. Además, algunos de ellos son claramente alternativos entre sí. Esta realidad va en contra de las puntuaciones establecidas por el Anejo. Las nuevas puntuaciones deben reflejar el grado de eficacia individual o colectiva de los diversos métodos, y distinguir la zona en la que actúan (accesos, obra y transporte).
- *Criterio medioambiental de gestión de los residuos*.
    - Además del reciclaje y la retirada a vertedero, el Anejo considera posible que no se lleve a cabo "*ninguna acción controlada*" con los productos y residuos producidos durante la ejecución de la estructura. Esto va en contra de la legislación vigente en España (RD 105/2008; Ministerio de la Presidencia, 2008b; Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos; Ministerio de Medio Ambiente, 2008). Esto debe anularse, evitando asignar puntuación alguna a la alternativa de enviar a vertedero, ya que es la actuación legal que supone menor contribución a la sostenibilidad.
    - Además, debe solucionarse el hecho de que la tabla de puntuaciones relativa al tipo de probetas utilizadas para el control de calidad no recoja todos los posibles casos que se pueden dar en la realidad.
- *Criterio de contribución social*. Por coherencia con el resto de criterios, debe eliminarse el concepto de ICES de proyecto, que además puede provocar problemas de aplicación.

3. Propuestas para mejorar la eficiencia del modelo de evaluación existente

Hasta aquí lo relativo a la resolución de problemas menores del modelo de la EHE, de tipo práctico. Sin embargo, como se va a explicar a continuación, la solución de dichos problemas no evita que, en realidad, la aplicación de dicho modelo no refleje bien la contribución real de la estructura a la sostenibilidad. Se proponen, por tanto, ideas para la mejora la eficiencia del modelo de evaluación existente. Algunas podrían encajarse dentro una mejora progresiva del Anejo, mientras que otras suponen un cambio radical.

3.1 Ponderación de las diferentes variables

Mel et al. (2014a, b, c y d) han realizado un análisis de ciclo de vida del hormigón estructural, ajustado a la realidad española. De ello se concluye que las variables del modelo de la EHE que deberían tener más peso son, por este orden, las relacionadas con los consumos e impactos asociados a la fabricación de cemento (en particular, del clinker), a la producción de acero y a los diversos transportes a realizar. Al margen de lo anterior, parece lógico que también tengan un peso relevante las variables relacionadas con las medidas para el ahorro de agua, el aprovechamiento de las escorias del acero y, en general, el coeficiente de contribución social.

Sin embargo, el lector interesado puede comprobar que esto no es lo que sucede en la EHE. Una manera fácil y rápida de hacerlo es usando la aplicación informática que el Ministerio de Fomento ofrece en su propia Web (Ministerio de Fomento, 2015a), aplicándola a un caso frecuente, y haciendo variar los parámetros relacionados con todo lo que se acaba de mencionar.

Por ejemplo, la condición medioambiental de los participantes en el proyecto tiene una influencia conjunta en el ICES que resulta a todas luces desproporcionada. A esto hay que sumar el hecho de que hoy en día una amplia mayoría de empresas están certificadas en calidad y medioambiente y, por tanto, estas puntuaciones van a ser obtenidas sin grandes problemas, independientemente de las características reales de la estructura. La posesión de distintivos de calidad oficialmente reconocidos está también generalizada entre los productores españoles, y tiene una influencia importante sobre el ICES. Existen otros aspectos en los que se dan circunstancias similares, pero que apenas influyen en el ICES; este es el caso de la realización de controles radiológicos en las plantas siderúrgicas, y del sometimiento a las exigencias del Protocolo de Kioto, lo cual se cumple a nivel de países y no de instalaciones concretas. Todas estas variables pueden ser una forma de premiar a los productos de origen nacional o de países del mismo nivel y precios que España, frente a otras importaciones.

En otro orden de cosas, llama la atención que determinados aspectos cuya contribución real a la sostenibilidad es nula o despreciable, tengan una influencia relevante sobre el ICES (porcentajes de hormigón y de armaduras suministrados por diferentes tipos de empresa; porcentaje de losas armadas con malla electrosoldada o armadura de mallazo soldado; y empleo de cementos tipo CEM I). Todo esto debería ser solucionado, como mínimo, modificando los pesos del árbol.

3.2 Nivel de exigencia

Relacionado con lo anterior, y en lo relativo al nivel de exigencia del Anejo 13 la EHE, su aplicación a proyectos reales permite afirmar que una estructura diseñada y ejecutada sin prestar atención a criterios de sostenibilidad, difícilmente obtendrá un nivel de ICES alto (nivel A) o medio-alto (nivel B). No obstante, visto que la mayoría de los requisitos establecidos por el Anejo no son excesivamente exigentes ni difíciles de cumplir, si los propietarios, proyectistas y contratistas proyectan y ejecutan sus estructuras con cierto cuidado y control, sí es posible conseguir niveles de sostenibilidad medio-altos, o incluso altos, sin excesivas complicaciones.

Lo que sí es cierto, es que las pequeñas estructuras ejecutadas por PYMES, que son mayoría en número, tendrán normalmente niveles del ICES más bajos que las estructuras de mayor tamaño ejecutadas por grandes constructoras. Las causas de esto son claras. Por un lado, sobre las obras de gran calado suele existir un mayor control y exigencia, tanto por parte de los órganos administrativos responsables como por parte de la opinión pública y las organizaciones medioambientales. Por otro, las grandes empresas siempre suelen contar con distintivos de calidad y medioambiente que les obliga a cumplir ciertos requisitos valorados positivamente por el Anejo.

En opinión de los autores, el nivel de exigencia debería aumentarse en el nuevo Código Estructural, e ir aumentándose progresivamente en el tiempo, poco a poco, dada la importancia clave de este asunto. Una cosa que es aplicable ya de forma inmediata es algo que existe en los sistemas actuales de certificación: la exigencia de que, para que una estructura pueda obtener una denominación determinada a efectos de sostenibilidad, en el marco del nuevo Código, tenga que obtener una puntuación mínima, que debería alcanzarse en cada uno de los pilares (ambiental, social y económico), para que realmente se hable de sostenibilidad en sentido amplio.

3.3 El ciclo de vida y el concepto integral de la sostenibilidad

Por otro lado, resulta obvio que el actual Anejo no tiene en cuenta todo el ciclo de vida de la estructura. Poco a poco, el nuevo Código debería ir incorporando todo el ciclo de vida, desde la cuna, desde la obtención de las materias primas (si se quiere, desde la concepción,

desde el diseño), hasta la tumba (desactivación y envío a vertedero), o desde la cuna hasta la cuna, en el caso de reciclaje o reutilización. Esto es difícil, sobre todo con hormigón de central (no tanto con prefabricados), pero es un objetivo a analizar y considerar, a medio o largo plazo.

Por otro lado, un posible nuevo modelo que suponga un salto importante con respecto al actual, debería incluir un conjunto más completo de indicadores ambientales, sociales y económicos. El modelo actual no entra en algunos aspectos ambientales, y apenas incluye unos pocos aspectos sociales, que además no son los más importantes; por ejemplo, no aborda la generación de empleo ni su calidad, ni tampoco la realización de rigurosos análisis de necesidades de la obra, para evitar inversiones innecesarias que suponen ingentes gastos de la sociedad. Finalmente, trata lo económico de forma incompleta e indirecta, a través del coeficiente de extensión de la vida útil.

Tendría que tenderse a un enfoque homogéneo de los tres pilares de la sostenibilidad, con una estructura más clásica de forma que el árbol, que hoy en día sólo afecta a lo medioambiental (ISMA), constase de los tres pilares antedichos, todos ellos tratados con la misma metodología de base, y con cierta transversalidad por consistencia con otros materiales. Cabe la posibilidad de considerar un cuarto pilar, relacionado con lo funcional, técnico o tecnológico.

3.4 Generalización e integración

Con respecto a ideas relacionadas con la generalización, cabe pensar en que haya un planteamiento válido para estructuras de hormigón, pero adaptable fácilmente a toda la cadena de valor; preferiblemente, que sea completamente adaptable. Dicho de otra forma, que haya un enfoque consistente en cada etapa del ciclo de vida. En el cemento y el hormigón, la cadena de valor se inicia en la obtención de las materias primas, y termina con su envío a vertedero. Al concebir modelos de sostenibilidad sería útil que cada etapa de la cadena de valor tuviese un planteamiento homogéneo, o por lo menos similar. Esto es complicado, porque si se abarca un abanico demasiado amplio, los parámetros pasan a ser más genéricos y no resulta posible utilizar aspectos o enfoques específicos de cada etapa.

En otro orden de cosas, es deseable que exista un planteamiento común para la evaluación de la sostenibilidad de todo tipo de estructuras (hormigón, acero, madera, fábricas), e incluso que haya un solo modelo para todas ellas. Esto último puede ser relativamente fácil si el modelo se basa en indicadores convencionales de análisis del ciclo de vida (ACV), como son los relativos a emisiones de CO_2, generación de empleo o costes de mantenimiento, que son comunes a todo tipo de estructuras. Esto exigiría un cambio radical de los parámetros a tener en cuenta en el modelo. La otra alternativa es intentar seguir usando variables del mismo tipo que las actuales, algunas de las cuales son específicas; este es el caso, por ejemplo, de la variable que tiene que ver con los medios de unión de la ferralla, específica del hormigón estructural, que no puede usarse para el resto de los tipos de estructura. Esta segunda alternativa supondría una complejidad altísima, con la consideración de una elevada cantidad de parámetros, mucho mayor que la actual, que ya es elevada. Esto dificultaría mucho la tarea del grupo redactor y de los proyectistas, y alargaría muchísimo el texto normativo.

Antes de seguir adelante hay que hacer una aclaración que permita entender mejor los porqués del modelo de la EHE, y el hecho de que no se base en los indicadores del ACV convencional. Ambas alternativas tienen ventajas e inconvenientes. El ACV convencional sólo trataba los aspectos medioambientales, si bien los aspectos económicos y sociales se están incorporando cada vez más al mismo. Sin embargo, incluso en los países más avanzados, la mayoría de proyectistas no suelen estar preparados para afrontar este tipo de análisis. Además, todavía no hay bases de datos tan completas y rigurosas como sería

preciso para hacer un ACV sin grandes dificultades. Adicionalmente, las bases de datos existentes no suelen ajustarse a la realidad del país o región en que se desarrolla el proyecto.

Con respecto al modelo de la EHE, éste no trata de estimar los impactos sobre el planeta, pero utiliza variables que el profesional del sector conoce bien y maneja sin grandes problemas. Esto facilita mucho la tarea del técnico. De todas formas, dos modelos basados en cada una de dichas alternativas, que estén bien concebidos y desarrollados, deben llevar a una contribución similar de la estructura a la sostenibilidad y, por tanto, cumplir la misma misión, con consecuencias parecidas. El método MIVES no tiene nada que ver en todo esto, porque también se puede aplicar a un modelo de ACV, con objeto de integrar los indicadores ambientales, económicos y sociales en un solo índice global, de manera parecida a lo que se ha hecho en la EHE.

Dicho esto, y además de lo anteriormente comentado, sería de gran ayuda y utilidad la integración o acoplamiento entre el modelo de sostenibilidad del nuevo Código estructural y los estándares y sistemas de certificación de sostenibilidad existentes. Entre otras cosas, sería deseable la compatibilidad con esquemas de la Global Reporting Iniciative (2015), en la medida de lo posible. Las Memorias de Sostenibilidad de las empresas y, en general, las Memorias de Sostenibilidad, suelen ajustarse a lo establecido por la Global Reporting Iniciative. Sería bueno que lo que se haga en el nuevo Código Estructural sea útil para la información de las Memorias de Sostenibilidad, y viceversa. Esto promovería su uso y utilidad. Una opción inicial simple sería valorar como parámetros la existencia de Memorias de Sostenibilidad en las empresas, con calificación A o A+, de forma similar a lo que se hace en el Anejo actual con la certificación ISO 9000, ISO 14000 o EMAS. Lo mismo se podría decir en relación con los sistemas de certificación de edificios (LEED, BREEAM, entre otros).

Todo esto es algo a lo que debe tenderse en todo caso, sea a medio o largo plazo, si bien es algo que también planteará dificultades importantes en la redacción del clausulado, que podría ver aumentada su complejidad, debido al hecho de que los estándares y sistemas de certificación existentes son diferentes entre sí. Además de lo anterior, podría haber dificultades y conflictos en las interrelaciones y coordinación con las entidades que promueven dichos estándares y sistemas de certificación, que tienen intereses no necesariamente coincidentes con los de la Administración.

3.5 Grado de aplicación. Obligatoriedad

Por diversas razones, ya comentadas en el epígrafe de introducción, el Anejo ha sido aplicado en un número reducido de proyectos. Es probable que el empuje definitivo para la aplicación masiva de un Anejo de este tipo sólo pueda darse desde las Administraciones Públicas. Por otro lado, quizá es pronto para establecer obligatoriedad de aplicación, pero esto es algo que habrá de hacerse a no mucho tardar, dada la importancia real de la sostenibilidad para el planeta y sus sociedades. Si la aplicación continuase siendo voluntaria, la difusión e implantación del modelo será, como es lógico, mucho más lenta. Por otro lado, hay dos posibles alternativas de obligatoriedad: la simple obligación de calcular el índice de sostenibilidad de la estructura y la que supone, además, que la estructura sobrepase un índice mínimo de sostenibilidad, sea global, sea en cada uno de sus pilares (ambiental, social y económica).

La simple obligatoriedad ya sería un espaldarazo importante, y esto no sería algo demasiado complicado, siempre y cuando haya un clausulado muy claro y preciso, publicaciones de apoyo que resuelvan toda posible duda de aplicación (por ejemplo, Gómez, del Caño & de la Cruz, 2013), y software gratuito (por ejemplo, véanse Gómez et al., 2012a, GRIDP, 2015a y Ministerio de Fomento, 2015a, b), de forma que para cualquier proyectista

sea factible el cálculo del índice de sostenibilidad de una forma fiable y con cierta simplicidad.

La obligatoriedad de que toda estructura de hormigón tenga un cierto nivel de ICES sería algo mucho más drástico, aunque es algo deseable a medio y largo plazo. Esto puede ser complicado o incluso imposible de implantar a corto plazo, dados los difíciles momentos que atraviesa el sector de la construcción en España. Algo más progresivo sería plantearse lo anterior como un objetivo a largo plazo, estableciendo un primer paso de forma que las Administraciones Públicas, o una parte de ellas, como cliente, requiriesen un cierto nivel de ICES en sus estructuras de hormigón.

Esto se podría hacer también de forma progresiva, comenzando por la Administración central, para pasar luego a las autonómicas y locales, o bien comenzando por las obras de gran tamaño, para pasar luego a las de tamaño medio y pequeño, o bien ambas cosas simultáneamente. Más adelante, a medio plazo, también podría fomentarse la aplicación en la obra privada, estableciendo beneficios fiscales o subvenciones directas, solamente para las estructuras de hormigón ejecutadas con altos niveles de ICES. En caso de no establecerse ningún tipo de beneficio, esto también se podría realizar de manera progresiva, comenzando de nuevo por las obras de mayor tamaño. En todo caso, el lector debe tener en cuenta que estas exigencias no son demasiado importantes, comparadas con algunas que se plantean hoy en día en otros aspectos, por medio del Código Técnico de la Edificación.

Todo lo anterior promovería la difusión de la cultura del diseño sostenible, aumentando poco a poco el prestigio de aquellas estructuras de hormigón que acrediten un cierto nivel de ICES, del mismo modo que hoy en día están adquiriendo cada vez más popularidad en todo el mundo, los edificios certificados con los sistemas LEED y BREEAM de certificación de la sostenibilidad.

3.6 La incertidumbre y los procesos de gestión del objetivo de sostenibilidad

La EHE sólo aborda la manera de realizar los cálculos oportunos para determinar el ICES, sin apenas entrar en otras consideraciones. Por otro lado, dicho cálculo implica estimar variables relacionadas tanto con el proyecto como con la ejecución, existiendo incertidumbre acerca del posible valor final de muchas de ellas, incertidumbre que en algunos casos se prolonga casi hasta que termina la ejecución. El Anejo plantea la realización de una estimación inicial del ICES en el momento de redactar el proyecto, junto con un posterior cálculo del ICES definitivo, cuando la obra ha terminado. El lector familiarizado con la realidad de una obra, con la incertidumbre que la rodea y con los cambios o modificados que suelen surgir, comprenderá fácilmente que dicha dinámica llevará a sorpresas desagradables con bastante frecuencia. Para evitar que la probabilidad de incumplimiento del objetivo de sostenibilidad sea alta se necesita realizar una tarea continua de gestión de dicho objetivo, a todo lo largo del ciclo de vida del proyecto. Entre otras cosas, esto exige incorporar la incertidumbre a la evaluación, y MIVES es un método determinista. Para solucionar esto, algunos autores han propuesto combinar MIVES con métodos de simulación estocástica (del Caño, Gómez & de la Cruz, 2012; de la Cruz et al., 2014a), y con la aritmética difusa (de la Cruz et al., 2014b; del Caño et al., en prensa). A pesar de que el segundo método es de más sencilla implantación, es más novedoso y pudiera ser menos sencillo de explicar al profano. Por su parte, la simulación estocástica es más conocida en el sector de la construcción, y existe software gratuito que puede permitir, con cierto trabajo, realizar evaluaciones probabilistas de la sostenibilidad (por ejemplo UPC, 2015).

Además de lo anterior, y de la misma forma que en todo proyecto hay un proceso metodológico de gestión de los objetivos de alcance, plazo, coste y calidad (PMI, 2013), debe haber también un proceso de gestión del objetivo de sostenibilidad del proyecto.

3. Conclusiones

El actual modelo de evaluación de la sostenibilidad de la EHE, que ha tenido el mérito de ser el primero a nivel internacional, tiene diversos problemas. Algunos son meramente de tipo práctico, y otros de importancia variable, algunos de los cuales afectan de manera importante a la eficiencia de dicho modelo. Los actuales trabajos de redacción del nuevo Código Estructural español son el marco apropiado para solucionarlos.

En esta comunicación se han aportado diversas ideas, tanto para una mejora progresiva, como para un cambio radical. En opinión de los autores, como mínimo deberían resolverse los problemas menores identificados en el epígrafe 2, así como los identificados en los epígrafes 3.1 (ponderación de indicadores más ajustada a un ACV); 3.2 (nivel de exigencia); 3.3, solamente en lo relativo a incluir indicadores sociales de mayor importancia que los ya incluidos; 3.4, solamente en lo relativo a que el nuevo Código contemple, además del ICES, la posibilidad de comparar entre sí estructuras de diferentes materiales, en base a un ACV completo (ambiental, social y económico); 3.5, por lo menos en cuanto a que la Administración comience a aplicar el Anejo en obras importantes; y 3.6, simplemente recogiendo en el texto un aviso claro de la necesidad de tener en cuenta la incertidumbre y de realizar procesos eficaces gestión del objetivo de sostenibilidad, junto con unas explicaciones mínimas acerca de posibles maneras de hacerlo.

Referencias

Aguado, A., del Caño, A., de la Cruz, M.P., Gómez, D., & Josa, A. (2011) Sustainability assessment of concrete structures: The EHE approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138 (2), 268-276.

de la Cruz, M. P., Castro, A., del Caño, A., Gómez, D., Lara, M., & Cartelle, J. J. (2014a). *Comprehensive methods for dealing with uncertainty in assessing sustainability.* Part I: the MIVES-Monte Carlo method. In M. S. García-Cascales, J. M. Sánchez-Lozano, A. D. Masegosa & C. Cruz-Corona (Eds.), *Soft computing applications for renewable energy and energy efficiency,* (pp. 69-106). Hershey, PA: IGI-Global.

de la Cruz, M. P., Castro, A., del Caño, A., Gómez, D., Lara, M., & Gradaille, J. J. (2014b). *Comprehensive methods for dealing with uncertainty in assessing sustainability*. Part II: the Fuzzy-MIVES method. In M. S. García-Cascales, J. M. Sánchez-Lozano, A. D. Masegosa & C. Cruz-Corona (Eds.), *Soft computing applications for renewable energy and energy efficiency,* (pp. 107-140). Hershey, PA: IGI-Global.

del Caño, A, de la Cruz, M.P., Gómez, D., Pérez, M. Fuzzy method for analysing uncertainty in the sustainable design of concrete structures. *Journal of Civil Engineering and Managemen*t (en prensa).

del Caño, A., Gómez, D., & de la Cruz, M.P. (2012) Uncertainty analysis in the sustainable design of concrete structures: a probabilistic method. *Construction and Building Materials*, 37, December, 865–873

Global Reporting Initiative (2015). Página Web de esta organización. https://www.globalreporting.org/Pages/default.aspx. Consultada en abril de 2015.

Gómez, D. (2012). Proyecto sostenible de estructuras de hormigón. Evaluación de la sostenibilidad teniendo en cuenta la incertidumbre. Tesis Doctoral. Universidade da Coruña. http://kmelot.biblioteca.udc.es/search~S27*gag?/tPROYECTO+SOSTENIBILIDAD/tproyecto+sostenibilidad/-3%2C0%2C0%2CB/frameset&FF=tproyecto+sostenible+de+estructuras+de+hormigon+evaluacion+de+la+sostenibilidad+teniendo+en+cuenta+la+incertidumbre&1%2C1%2C/indexsort=-

Gómez, D., del Caño, A, & de la Cruz, M.P. (2013 enero-marzo).Estimación temprana del nivel de sostenibilidad de estructuras de hormigón, en el marco de la instrucción española EHE-08. *Informes de la Construcción*. CSIC. Instituto Eduardo Torroja. 65, nº 529. 65-76.,

Gómez, D., de la Cruz, MP., del Caño, & A., Arroyo, I. (2012a) Herramienta de cálculo para la evaluación de la sostenibilidad de estructuras de hormigón según la instrucción Española EHE-08. Dyna, 87(2), 180-189.

Gómez, D., del Caño, A., de la Cruz, MP., & Josa, A. (2012b) Metodología genérica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas constructivos. El método MIVES. Editor: A. Aguado. Asociación Científico-Técnica del Hormigón (ACHE) En: *Sostenibilidad y construcción*. Cap. 18,(pp. 385-411).

Gómez, D., del Caño, A., de la Cruz, MP., & Josa, A. (2012c) "Evaluación de la sostenibilidad en estructuras de hormigón y metálicas. La EHE y la EAE". Editor: A. Aguado. Asociación Científico-Técnica del Hormigón (ACHE). En: *Sostenibilidad y construcción. Asociación Científico-Técnica del Hormigón (ACHE)*. Cap. 19, (pp. 413-439).

GRIDP (2015a). Página Web del Grupo de Ingeniería y Dirección de Proyectos de la Universidad de La Coruña, en la cual se puede descargar la aplicación informática MIVES-EHE-08 para el cálculo del ICES según la EHE-08, y según otros modelos similares. http://www.ii.udc.es/GRIDP/castellano/software.html.

GRIDP (2015b). Propuestas de mejora para el Anejo 13 de la EHE. Página Web del Grupo de Ingeniería y Dirección de Proyectos de la Universidad de La Coruña, en la cual se puede descargar este documento. http://www.ii.udc.es/GRIDP/castellano/ documentos.html.

Mel, J., del Caño, A., & de la Cruz, M.P. (2014a). Sostenibilidad en la fabricación de cemento en España: análisis del consumo energético y de las emisiones de CO2. *Proceedings of the AEIPRO-IPMA 18th International Congress on Project Management and Engineering,* Alcañiz (Spain), 16-18 July, 2014, pp. 02-001-1/16.

Mel, J., del Caño, A., & de la Cruz, M.P. (2014b). Sostenibilidad en la producción de árido granítico en el noroeste de España: consumo energético y emisiones de CO2. *Proceedings of the AEIPRO-IPMA 18th International Congress on Project Management and Engineering*, Alcañiz (Spain), 16-18 July, 2014, pp. 02-002-1/12.

Mel, J., del Caño, A., & de la Cruz, M.P. (2014c). Sostenibilidad en la fabricación de armaduras de acero en España: análisis del consumo energético y de las emisiones de CO2. *Proceedings of the AEIPRO-IPMA 18th International Congress on Project Management and Engineering,* Alcañiz (Spain), 16-18 July, 2014, pp. 02-003-1/9.

Mel, J., del Caño, A., & de la Cruz, M.P. (2014d). Sostenibilidad en la preparación y puesta en obra de hormigón en España: análisis de consumo energético y emisiones de CO2. *Proceedings of the AEIPRO-IPMA 18th International Congress on Project Management and Engineering*, Alcañiz (Spain), 16-18 July, 2014, pp. 02-004-1/12.

Ministerio de Fomento (2015a). Página Web del Ministerio de Fomento. Zona de descarga de la aplicación informática MIVES-EHE-08 para el cálculo del ICES según la EHE-08.
http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS /MASORGANOS/CPH/SOTENIB_ESTRUC/

Ministerio de Fomento (2015b). Página Web del Ministerio de Fomento. Zona de descarga de la aplicación informática MIVES-EAE para el cálculo del ICESa según la EAE. http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS /MASORGANOS/CPA/SOSTENIBILIDAD/

Ministerio de la Presidencia (2008a). Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). Boletín Oficial del Estado (BOE, Spain), Nº 203, 22 de agosto de 2008, (pp. 35176-35178). Anejo 13 de la Instrucción, pp. 487-504.

Ministerio de la Presidencia (2008b). Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Boletín Oficial del Estado (BOE), Nº 38, 13 de febrero de 2008, (pp. 7724-7730).

Ministerio de Medio Ambiente (2008). Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos. Boletín Oficial del Estado (BOE), Nº 23, 26 de enero de 2008, (pp. 4986-5000).

PMI (2013), A Guide to the Project Management Body of Knowledge Fifth Edition (PMBoK Guide), *Project Management Institute Standards Committee* (Editor). Project Management Institute, Newtown Square, Pennsylvania, USA.

Rodríguez, F. (abril de 2008). Prólogo del número monográfico de la revista Cemento y Hormigón dedicado al Anejo 13 de la EHE. *Cemento y hormigón*, Nº 913.

UPC (2015). Página Web de la Universidad Politécnica de Cataluña en la cual se puede descargar dicho software. http://www.etcg.upc.edu/prj/mives/descargas. Consultado en abril de 2015.

02-007

RELATIONSHIP BETWEEN CARBON FOOTPRINT AND THE ELECTRICITY GENERATION MIX EMISSION FACTOR IN URBAN INFRASTRUCTURES

Zubelzu Mínguez, Sergio [1]; Álvarez Fernández, Roberto [2]; Hernández Colomina, Ana [3]
[1] Universidad Complutense de Madrid, [2] Universidad Antonio de Nebrija, [3] ANSER Ingenieros SL

In the present work we tackle the relationship between Green House Gas (GHG) emissions and urban planning decisions related to the electricity generation mix emission factor. A methodology to calculate GHG emissions linked to urban infrastructures managed in urban planning plans is proposed and a GHG emissions sensitivity analysis referred to the electricity generation mix emission factor variations has been carried out. Results prove that electricity generation mix emission factor depending consumptions are ranked in the first or in the second position (compared with gas or fossil fuel depending consumptions). Results also show a synergetic effect from the electricity generation mix emission factor linked not only electricity consumption but also to other infrastructures such as drinking water, wastewater or waste management. The electricity generation mix emission factor becomes more important when forecasts about electricity vehicles developments are taken into account.

Keywords: *greenhouse gas; carbon footprint; electricity generation mix emission factor; urban planning; urban infrastructures*

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA RELACIÓN ENTRE HUELLA DE CARBONO URBANA Y EL FACTOR DE EMISIÓN DEL MIX DE GENERACIÓN ELÉCTRICO

En el presente trabajo se analiza la relación existente entre las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) procedentes de los consumos vinculados a las infraestructuras urbanas y las decisiones de diseño urbanístico relacionadas factor de emisión del mix de generación de energía eléctrica. Se propone un modelo de cálculo de las emisiones de GHG vinculadas a las infraestructuras provistas en la fase de planeamiento urbanístico y se realiza un análisis de sensibilidad de tales emisiones ante las posibles variaciones en el mix de generación de energía eléctrica. Los resultados prueban que los consumos que dependen del factor de emisión de la energía eléctrica oscilan entre la primera y la segunda posición (comparado con los consumos dependientes del gas o de combustibles fósiles) según la composición del mix energético. Se observa además un efecto sinérgico vinculado no sólo al propio consumo de energía eléctrica por parte de los usos urbanísticos sino también a otras infraestructuras y servicios urbanos tales como el suministro de agua potable, el tratamiento de aguas residuales o la gestión de residuos. Esta relevancia se ve incrementada ante las previsiones de incorporación de soluciones de movilidad basadas en el vehículo eléctrico.

Palabras clave: *gases de efecto invernadero; huella de carbono; factor de emisión mix de generación de energía eléctrica; planeamiento urbanístico; infraestructuras urbanas*

Correspondencia: Sergio Zubelzu szubelzu@ucm.es

1. Introducción

Las emisiones de gases de efecto invernadero constituyen una de las principales preocupaciones a nivel ambiental en la actualidad. De entre todas las emisiones de gases de efecto invernadero, aquellas que cuentan con un mayor nivel de control son las incluidas dentro del ámbito de influencia de la Directiva 2003/87/EC por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad. Así, las instalaciones afectadas por dicha Directiva han de medir y contrarrestar las emisiones generadas.

Por el contrario, existe un conjunto de emisiones muy importantes, comúnmente denominadas difusas, que quedan fuera del control directo de las administraciones y que a menudo han sido tratadas mediante planes genéricos vinculados a la eficiencia energética o a sustitución y renovación de equipos. Entre esta clase de emisiones se encuentran las procedentes de los sectores residencial, comercial, institucional, del transporte o del industrial no incluido en la Directiva referida. Estas emisiones constituyen un volumen relevante del total del emisiones, llegando a alcanzar el 59,4% del total de la Unión Europea (UE) en 2010 (De las Heras, Domenech y Carles, 2011).

Algunos trabajos han abordado el estudio de esta clase de emisiones mediante las herramientas que proporciona el planeamiento urbanístico (Carter et al., 2015; Zubelzu y Álvarez, 2015), analizando las variables de diseño residencial (Kim y Kim, 2013), el diseño urbano (Ho et al., 2013), el carácter ecoeficiente de las ciudades (Wu, Jiang y Yang, 2013), el efecto de la determinadas infraestructuras urbanas (Zubelzu et al., 2011; 2014) o incluso determinadas soluciones constructivas concretas (La Roche, 2010; Blanco, López y Zubelzu, 2012).

Tanto estos trabajos como algunos otros orientados al cálculo de la huella de carbono de ciudades (Carney et al, 2009; Dhakal, 2009) identifican las fuentes de las emisiones de gases de efecto invernadero pero sin que existan estudios que analicen la sensibilidad de tales emisiones ante variaciones en las fuentes ni las relaciones entre las diferentes fuentes.

Entre las fuentes de mayor relevancia estratégica que influyen sobre la huella de carbono cabe pensar en el mix de generación de energía eléctrica. La importancia de este elemento sobre las emisiones de gases de efecto invernadero ya ha sido apuntada en algunos trabajos (Zubelzu y Hernández, 2014) pero sin que existan estudios concretos que analicen en profundidad dicha relación.

Por tanto, el principal objetivo del presente trabajo ha sido analizar los efectos que sobre la huella de carbono de las infraestructuras urbanas tiene el factor de emisión del mix de generación de energía eléctrica.

2. Metodología

El proceso para analizar el vínculo entre el mix de generación de energía eléctrica y las emisiones de gases de efecto invernadero en las infraestructuras exige en primer lugar identificar el conjunto de infraestructuras urbanas que constituyen fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). La relación de infraestructuras identificadas es la siguiente:

- Suministro de agua potable.
- Tratamiento de aguas residuales.
- Transporte.
- Suministro de energía eléctrica.
- Suministro de gas.
- Residuos.

Las emisiones procedentes de las fuentes anteriores pueden calcularse a partir de la expresión genérica expuesta en Eggleston et al. (2006).

$$HC\ (kgCO_{2eq}) = \sum_{i=1}^{i=n} C_i\ (ud) \times EF_i\ (kgCO_{2eq}/ud) \quad (1)$$

Donde C_i representa el consumo de la fuente de emisión considerada y EF_i el factor de emisión correspondiente. Dicha expresión genérica particularizada para cada una de las fuentes de emisión consideradas puede definirse tal y como se expone en la tabla 1.

Tabla 1. Expresiones para el cálculo de la huella de carbono de las fuentes de emisión seleccionadas.

Agua potable		$HC_A\ (kgCO_{2eq}) = C_A\ (m^3) \times FE_A\ (kgCO_{2eq}/m^3)$	(1)
Aguas residuales		$HC_{AR}\ (kgCO_{2eq}) = G_{AR}\ (m^3) \times FE_{AR}\ (kgCO_{2eq}/m^3)$	(2)
Transporte	Vehículo privado	$HC_{VP}\ (kgCO_{2eq}) = G_{VP}\ (km) \times FE_{VP}\ (kgCO_{2eq}/km)$	(3)
	Autobús	$HC_B\ (kgCO_{2eq}) = G_B\ (km) \times FE_B\ (kgCO_{2eq}/km)$	(4)
	Ferrocarril	$HC_F\ (kgCO_{2eq}) = G_F\ (km) \times FE_F\ (kgCO_{2eq}/km)$	(5)
Electricidad		$HC_E\ (kgCO_{2eq}) = C_E\ (kWh) \times FE_E\ (kgCO_{2eq}/kWh)$	(6)
Gas		$HC_G\ (kgCO_{2eq}) = C_G\ (kWh) \times FE_G\ (kgCO_{2eq}/kWh)$	(7)
Residuos		$HC_R\ (kgCO_{2eq}) = G_R\ (t) \times FE_R\ (kgCO_{2eq}/t)$	(8)

Donde HC_A, HC_{AR}, HC_{VP}, HC_B, HC_F, HC_E, HC_G, HC_R representan las huellas de carbono, respectivamente, del consumo de agua potable, tratamiento de aguas residuales, transporte privado, en autobús o ferrocarril, de los consumos de energía eléctrica o gas y del tratamiento de los residuos. Por su parte, C_A, C_E y C_G representan los consumos de agua potable, electricidad y gas mientras que G_{AR}, G_{VP}, G_B, G_F y G_R hacen referencia a la generación de agua residual, de trayectos en vehículo privado, autobús o ferrocarril y, por último residuos. Los factores de emisión del consumo de agua potable, tratamiento de aguas residuales, del transporte en vehículo privado, autobús ferrocarril, electricidad, gas y residuos aparecen representados mediante las siguientes iniciales: FE_A, FE_{AR}, FE_{VP}, FE_B, FE_F, FE_E, FE_G, FE_R.

Cada una de las fuentes de emisión consideradas en la tabla 1 depende de manera directa o indirecta del consumo de energía eléctrica tras el que subyace el mix de generación de energía eléctrica. De esta forma, teniendo en cuenta que la fórmula para el cálculo de la huella de carbono procedente de los consumos que dependen directamente del mix citado, las expresiones para el cálculo de la huella de carbono procedentes del consumo de agua potable y el tratamiento de aguas residuales pueden relacionarse con el mix de generación de energía eléctrica tal y como se refleja en la tabla 2.

Tabla 2. Expresiones para el cálculo de la huella de carbono de las fuentes que dependen directamente del consumo de energía eléctrica.

Agua potable	$HC_A\ (kgCO_{2eq}) = C_A\ (m^3) \times IE_A\ (kWh/m^3) \times FE_E\ (kgCO_{2eq}/kWh)$	(9)
Aguas residuales	$HC_{AR}\ (kgCO_{2eq}) = G_{AR}\ (m^3) \times IE_{AR}\ (kWh/m^3) \times FE_E\ (kgCO_{2eq}/kWh)$	(10)

En la tabla 2, IE_A e IE_{AR} representan las intensidades energéticas del consumo de agua potable y el tratamiento de aguas residuales.

Por su parte, las huellas de carbono derivada del transporte y del gas tienen un efecto indirecto sobre las emisiones vinculadas al mix de generación de energía eléctrica. Las emisiones vinculadas al consumo de gas dependen del mix de generación de energía eléctrica en tanto que producto parcialmente sustitutivo de los consumos de energía eléctrica a nivel doméstico. Por su parte, las emisiones vinculadas al transporte dependen de forma directa e indirecta de la energía eléctrica: por un lado el factor de emisión del ferrocarril depende directamente del consumo de energía eléctrica, mientras que las emisiones vinculadas al autobús dependen indirectamente al constituir un producto sustitutivo, especialmente del ferrocarril Las emisiones vinculadas al vehículo privado también dependen en la medida en la que el vehículo eléctrico también constituye un producto parcialmente sustitutivo del vehículo de combustión interna tradicional. En este sentido, las emisiones vinculadas al vehículo eléctrico dependen directamente del mix de generación de energía eléctrica mediante la siguiente expresión (Álvarez et al, 2015):

$$HC_{VPE}\ (kgCO_{2eq}/km) = C_{VPE}\ (kWh/km) \times EF_E\ (kgCO_{2eq}/kWh) \quad (12)$$

Donde C_{VPE} representa el consumo del vehículo por cada kilómetro recorrido.

Pueden de estar forma agruparse los términos de las expresiones anteriores de cara a poner de manifiesto la relación entre las emisiones de huella de carbono y el factor de emisión del mix de generación de energía eléctrica. En las ecuaciones siguientes (tabla 3) se expresan cada una de las fórmulas propuestas para el cálculo de la huella de carbono en función del mix de generación de energía eléctrica y representando el carácter sustitutivo de algunas de las fuentes ya referido anteriormente.

Tabla 3. Expresiones para el cálculo de la huella de carbono particularizadas según el factor de emisión del mix de generación de energía eléctrica.

Agua potable	$HC_A(kgCO_{2eq}) = C_A\ (m^3) \times IE_A\ (kWh/m^3) \times EF_E\ (kgCO_{2eq}/kWh)$	(12)
Aguas residuales	$HC_{AR}(kgCO_{2eq}) = 0{,}8C_A\ (m^3) \times IE_{AR}\ (kWh/m^3) \times EF_E\ (kgCO_{2eq}/kWh)$	(13)
Transporte privado	$HC_{TVP}(kgCO_{2eq}) = G_T \times (\%_{VPR}[(\%_{BEV} \times EF_E) + (1-\%_{BEV}) \times ((\%_{ds}EF_{ds}) + (\%_{gs}EF_{gs}))]$	(14)
Transporte público	$HC_{TPB}(kgCO_{2eq}) = G_T(1-\%_{VPR})[(\%_{FFCC} \times IE_{FFCC} \times EF_E) + ((1-\%_{FFCC})EF_{BUS})]$	(15)
Electricidad	$HC_E\ (kgCO_{2eq}) = CT_E\ (kWh) \times \%_{EE} \times EF_E\ (kgCO_{2eq}/kWh)$	(16)
Gas	$HC_G\ (kgCO_{2eq}) = CT_E\ (kWh) \times (1-\%_{EE}) \times EF_G\ (kgCO_{2eq}/kWh)$	(17)
Residuos	$HC_R(kgCO_{2eq}) = G_{RR}\ (t) \times EF_R\ (kgCO_{2eq}/t)$	(18)

En la tabla 3, $\%_{VPR}$ y $\%_{FFCC}$ representan los porcentajes de trayectos satisfechos mediante vehículo privado o ferrocarril, mientras que $\%_{BEV}$, $\%_{ds}$, $\%_{gs}$ hacen referencia a los porcentajes de vehículos eléctricos, diesel o gasolina del parque de vehículos. Por su parte, $\%_{EE}$

representa el porcentaje de gasto energético doméstico satisfecho mediante energía eléctrica.

En el cálculo de las emisiones procedentes del tratamiento de aguas residuales en la tabla 3 se ha supuesto que la generación de aguas residuales asciende al 80% del agua consumida de acuerdo con Canal de Isabel II (2006) consiguiendo así reducir el número de grados de libertad de la expresión. Puede asumirse esta simplificación además puesto que la mayor parte de los sistemas de saneamiento actuales son separativos de manera que a las estaciones depuradoras no acceden las aguas pluviales con lo que el coste energético del tratamiento queda circunscrito a las aguas fecales, cifrándose este volumen en el 80% del volumen de agua consumido.

Finalmente agrupando todos los términos puede aislarse el efecto del mix de generación de energía eléctrica (ecuación 19).

$$HC=\{EF_E\times[(CA\times IE_A)+(0{,}8C_A\times IE_{AR})+(CT_E\times\%_{EE})+(G_T\times\%V_{PR}\times\%_{BEV})+$$

$$(G_T(1-\%_{VPR})\%_{FFCC}IE_{FFCC})]\}+\{(1-\%_{BEV})\times G_T\times\%_{VPR}((\%_{ds}EF_{ds})+(\%_{gs}EF_{gs}))]+$$

$$+[(1-\%_{VPR})(1-\%_{FFCC})EF_{BUS}])\}+\{CT_E\ (1-\%_{EE})EF_G\}+\{(G_R\times EF_R)\} \quad (19)$$

Una vez deducida la expresión que permite de forma teórica caracterizar la dependencia entre las emisiones de GEI y el factor de emisión, cabe profundizar en las posibles variaciones en el factor de emisión del mix de generación. El factor de emisión del mix de generación de energía eléctrica procede de las emisiones totales causadas por la mezcla de fuentes de generación de energía eléctrica. En el presente trabajo se ha optado por emplear factores de emisión brutos en bornes de central sin considerar las pérdidas producidas en la distribución. De cara a analizar la posible variabilidad en este factor, se han tomado como valores probables del factor de emisión los que existirían en cada uno de los países de la Unión Europea.

Para el cálculo del factor de emisión se ha deducido el valor concreto como promedio de los mix entre los años 2006 y 2012 a partir de los datos de generación de energía eléctrica publicados para cada país por parte de Eurostat (2014) y de los factores de emisión para cada fuente energética publicados por el IPCC (Eggleston et al., 2006). De esta forma, la expresión concreta para el cálculo del factor de emisión del mix de generación procede de sumar la proporción que cada fuente representa sobre el total de la generación multiplicadas por los correspondientes factores de emisión (fórmula 20).

$$EF_{mix}=\sum_{i=1}^{i=n}EF_i\left(C_i\Big/\sum_{i=1}^{i=n}C_i\right) \quad (20)$$

Igualmente, para comparar la situación real en España entre los diferentes años se han empleado los factores de emisión netos en punto de consumo publicados por las instituciones oficiales.

La propuesta de cálculo contempla las emisiones de CO_2 equivalentes (CO_{2eq}) incluyendo así la equivalencia entre cada gas de efecto invernadero y el dióxido de carbono considerando una prevalencia de 100 años en los términos descritos por la IPCC (2007).

3.- Resultados y discusión

La primera de las etapas ha consistido en recopilar los datos requeridos para la determinación de la huella de carbono en los términos descritos en la ecuación 19.

Los datos de consumos y generación (C_A, CT_E, y G_R) se han obtenido de las estadísticas oficiales para el mayor período disponible para el que se dispone de datos comparables (2006-2011): Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid (2014), Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético (2013), Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2014) e Instituto Nacional de Estadística (2014). La tabla 4 muestra los estadísticos resumen para cada una de las variables analizadas.

Tabla 4. Estadísticos resumen para los datos de consumos y generación.

	Agua potable (C_A)	Energía (CT_E)	Residuos (G_R)
Media	139,36	12.754,82	1.467,37
Desviación típica	5,54	685,73	297,74
Coeficiente de variación	0,04	0,05	0,20
Rango	14,19	1.960,36	788,53
Asimetría	0,28	-1,34	-0,41
Curtosis	-1,82	1,42	-1,77

El promedio del porcentaje de consumo de energía mediante electricidad ($\%_{EE}$) durante los años 2006 a 2011 asciende al 33,54% para un domicilio tipo de acuerdo con los datos publicados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético (2013). Los datos de generación y reparto referidos a los trayectos también han sido obtenidos de las estadísticas oficiales. Los datos de generación total (G_T) se han obtenido de Monzón de Cáceres y De la Hoz (2009), siendo la longitud media de los trayectos obligados en el año 2004 de 10,3 km mientras que la longitud de los trayectos no obligados ascendió a 5,7 km, ambos datos referidos a la Comunidad de Madrid. El reparto modal de los movimientos entre vehículo privado, público y, dentro de éstos, entre ferrocarril y autobús, se ha obtenido de la Encuesta de Movilidad Urbana de la Comunidad de Madrid (Comunidad de Madrid, 2005), mientras que los datos del parque de vehículos se han consultado en Dirección General de Tráfico (2014). Las cifras concretas son las expuestas en la tabla 5.

Tabla 5. Información referida al reparto modal de los movimientos generados.

$\%_{VPR}$	%ds	%gs	$\%_{BEV}$	$\%_{FFCC}$
0,45	0,53	0,47	0,00	0,27

El origen de los datos de intensidades energéticas (IE_A, IE_{AR}, IE_{FFCC}) ha sido diferente según el dato concreto tal y como se deduce de la información contenida en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados de las intensidades energéticas requeridas para el cálculo de la huella de carbono.

IE_A (kWh/m^3)	IE_{AR} (kWh/m^3)	IE_{FFCC} (kWh/pasajero·km)
1,02	0,53	0,19

Los datos de intensidad energética para suministro de agua y tratamiento de aguas residuales se han obtenido de Hardy y Garrido (2010), mientras que la intensidad energética del transporte en ferrocarril procede de Colomer e Insa (2006).

Quedan simplemente por definirse los factores de emisión a tener en cuenta en el estudio. La tabla 7 presenta los datos para los factores de emisión del gas, vehículos diesel y gasolina.

Tabla 7. Factores de emisión empleados para el gas, vehículos diésel y gasolina, autobús y residuos.

EF_G ($kgCO_{2eq}$/kWh)	EF_{ds} ($kgCO_{2eq}$/km)	EF_{gs} ($kgCO_{2eq}$/km)	EF_{BUS} ($kgCO_{2eq}$/km·pas)	EF_R ($kgCO_{2eq}$/t)
1,02	0,12	0,22	0,28	0,40

El factor de emisión del gas procede de una reacción química de combustión y su valor se ha supuesto constante empleando el dato publicado por Eggleston et al. (2006). Las cifras para los factores de emisión de vehículos diésel, gasolina y autobús son las publicadas por GHG Protocol (2005). Finalmente, el factor de emisión del tratamiento de residuos es el promedio de los factores de emisión entre los años 2006 y 2011 obtenidos a partir de los datos publicados por la Oficina Española de Cambio Climático (2014).

Finalmente para el cálculo del factor de emisión del mix de generación de energía eléctrica se ha operado en dos direcciones. En primer lugar se ha obtenido el factor de emisión del mix de generación en el punto de consumo (OCCC, 2015). Los resultados se expresan en la tabla 8.

Tabla 8. Factores de emisión del mix de generación de energía eléctrica en punto de consumo en España ($kgCO_{2eq}$/kWh).

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
0,310	0,297	0,206	0,267	0,300	0,248	0,267

Los datos de la tabla 8 permitirán conocer las emisiones y la dependencia real del factor de emisión en España con datos del punto de consumo. Como complemento a los datos anteriores, para analizar la sensibilidad real de las emisiones respecto del factor de emisión, se han calculado los factores de emisión del factor de emisión bruto (en bornes de central sin considerar las pérdidas en la red de distribución) para los distintos países de la Unión Europea entre los años 2006 y 2012. La tabla 9 muestra los estadísticos resumen de los factores de emisión referidos.

Tabla 9. Estadísticos resumen para el factor de emisión bruto del mix de generación de energía eléctrica en los diferentes países de la Unión Europea ($kgCO_{2eq}$/kWh).

	Media países
Media	0,203
Desviación típica	0,091
Coeficiente de variación	0,447
Rango	0,368
Asimetría	-0,197
Curtosis	-0,360

Empleando los datos expuestos anteriormente y sustituyendo en la ecuación 20 se puede deducir la expresión que permita analizar la dependencia entre la huella de carbono y el factor de emisión del mix de generación de energía eléctrica. El resultado es el que se observa en la ecuación (21).

$$HC\ (kgCO_{2eq}) = 4.667{,}13 \times EF_E + 736{,}65 + 1.695{,}41 + 586{,}95 \quad (21)$$

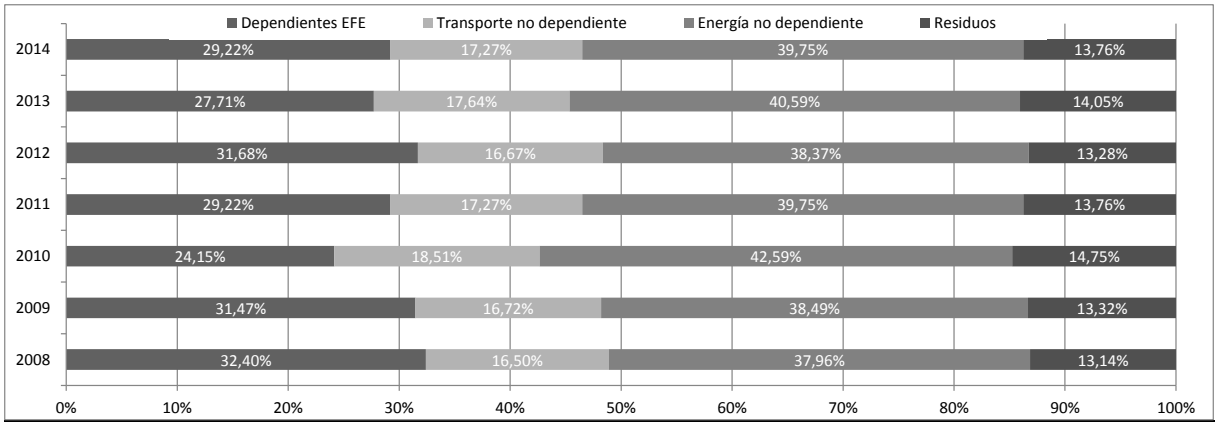
En la ecuación 21 se pueden identificar varios sumandos cuya explicación se incluye en la tabla 10.

Tabla 10. Composición de la huella de carbono total según sumandos que la componen.

Sumando	Equivalencia fórmula 19	Interpretación
$4.667,13 \times EF_E$	$EF_E \times [(CA \times IE_A) + (0,8C_A \times IE_R) + (CT_E \times \%_{EE}) + (G_T \times \%_{VPR} \times \%_{BEV}) + (G_T \times (1-\%_{BPR}) \times \%_{FFCC} \times IE_{FFCC})]$	Sumandos dependientes de EF_E: consumo eléctrico y de agua potable, generación de aguas residuales y transporte dependiente (VEB y FFCC)
736,65	$G_T \times [(1-\%_{BEV}) \times ((\%_{ds}EF_{ds}) + (\%_{gs}EF_{gs}))] + [(1-\%_{BPR})(1-\%_{FFCC})EF_{BUS}]$	Transporte no dependiente del EFE (vehículo ICV y autobús)
1.695,41	$[CT_E \times (1-\%_{EE}) \times EF_G]$	Consumo energético no eléctrico (gas)
586,95	$G_R \times EF_R$	Tratamiento de residuos.

La tabla 10 muestra cómo a priori, y sin tomar en consideración los posibles valores del factor de emisión del mix de generación, parece ser el gas la fuente más relevante. Los resultados y la participación de cada uno de los grupos de variables de la tabla 10 dependen del valor que adoptase el factor de emisión del mix de generación. La figura 1 muestra los resultados para cada uno de los valores del factor de emisión de la tabla 8.

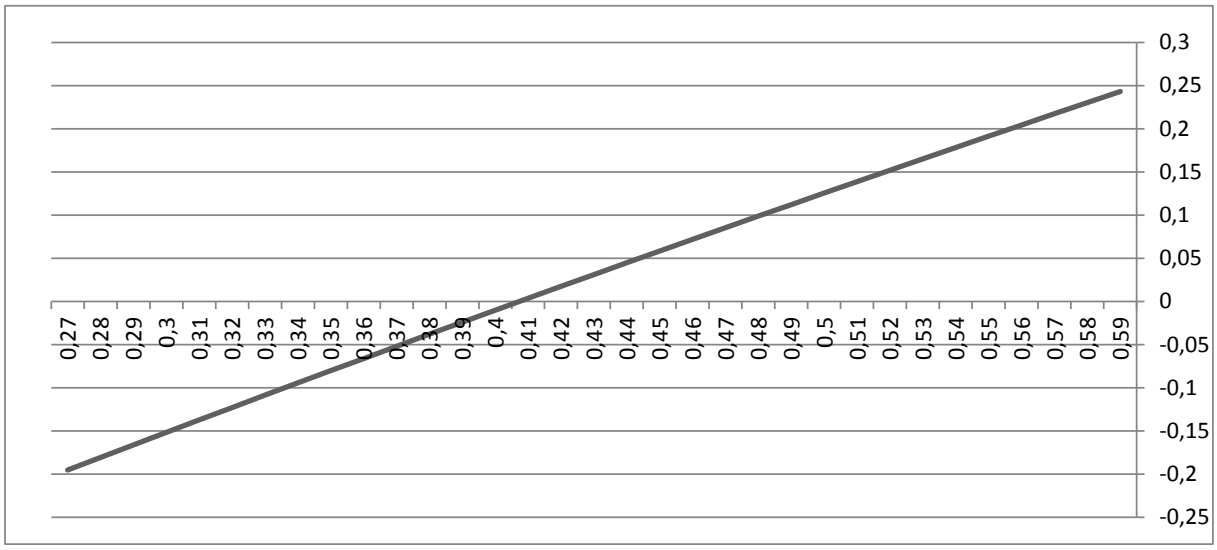
Figura 1. Emisiones totales y reparto entre grupos de fuentes.



	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
HC ($kgCO_{2eq}$)	4.465,83	4.405,16	3.980,45	4.265,15	4.419,16	4.176,47	4.265,15

Las emisiones procedentes del consumo doméstico energético no eléctrico son las más relevantes en cualquiera de los años siendo el año 2014 el año en el que más próximas se ubican las emisiones dependientes del factor de emisión del mix de generación de energía eléctrica, componente que ocupa el segundo lugar en cualquiera de los años. Según la información publicada por la Comisión Nacional de la Energía (2011) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2011), la red de energía eléctrica da servicio a electrodomésticos, iluminación y aire acondicionado mientras que la cocina, calefacción y agua caliente se abastecen de gas natural. En la figura 2 se incluye el análisis del punto de equilibrio para la participación del consumo eléctrico, pudiendo observarse que se alcanza para un porcentaje de cobertura del consumo energético mediante energía eléctrica del 40,5 %.

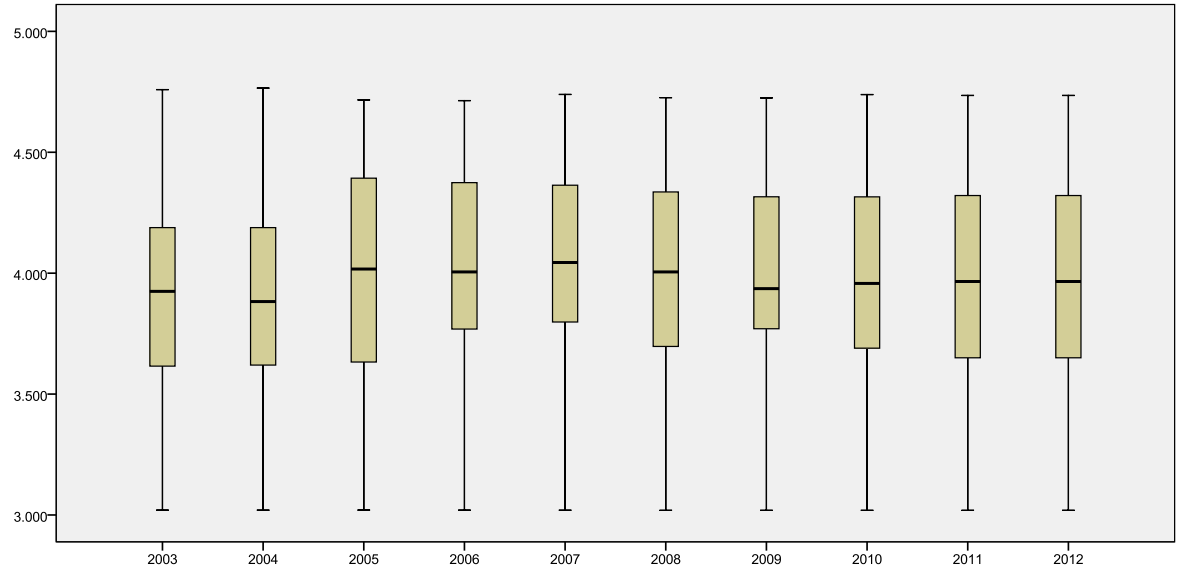
Figura 2. Punto de equilibrio de la participación de energía eléctrica en el consumo doméstico para convertirse en la fuente más relevante.



Si se analizan los puntos muertos para el porcentaje de vehículos eléctricos y de ferrocarril, aun sustituyendo todos los vehículos ICV por VEB en ningún caso se alcanzaría el umbral que haría que las emisiones vinculadas al mix de generación de energía eléctrica fuesen las más relevantes. Tampoco sustituyendo todos los trayectos en autobús por viajes en ferrocarril se alcanzaría ese umbral.

Si se comparan los resultados para los diferentes valores del mix de generación dentro de los diferentes países de la UE puede observarse una variación considerable entre los resultados. La figura 3 muestra los diagramas de caja de los diferentes años para el conjunto de países.

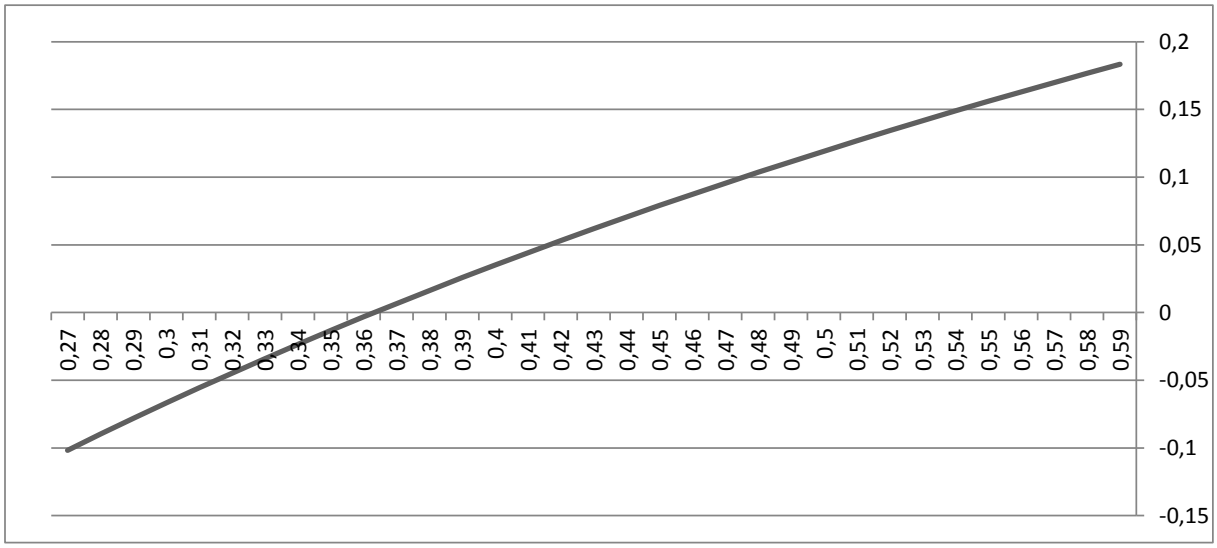
Figura 3. Diagramas de caja de los valores de emisiones para los diferentes factores de emisión del mix de generación neto de los países de la UE.



En general los valores medios de los diferentes países de la UE rondan los 4.000 $kgCO_{2eq}$, siendo las distribuciones razonablemente simétricas Existe no obstante una gran variabilidad de los resultados en función de los diferentes valores del mix de generación, variando entre los valores mínimos para países como Islandia o Francia (debido al peso de la geotermia o la nuclear en el mix de generación) y los valores máximos para países como Estonia o Polonia (vinculados a la producción eléctrica mediante carbón en gran parte).

Esta circunstancia vuelve a poner de manifiesto la existencia de un punto de equilibrio para el factor de emisión que determine que las fuentes derivadas del consumo de energía eléctrica ocupen la posición más relevante. El gráfico incluido en la figura 4 muestra el resultado de dicho ejercicio.

Figura 4. Punto de equilibrio para el valor del factor de emisión del mix degeneración de energía eléctrica de cara a convertir a esta fuente en la más relevante.



El punto de equilibrio se observa para un valor del factor de emisión del mix de generación de energía eléctrica de 0,36. Debe tenerse en cuenta que en la figura 4 se han representado los resultados para un valor del factor de emisión en bornes de central sin tener en cuenta las pérdidas en la distribución, circunstancia que haría incrementarse el factor de emisión real de cada país.

En cualquier caso, considerando los valores netos, existen cuatro países que en alguno de los años analizados se situarían por encima del umbral referido: Dinamarca, Estonia, Polonia, Suecia, quedando muy cerca de este límite Croacia. Sí se supera esta cifra si se consideran los límites superiores del intervalo de confianza para los valores del factor de emisión de cada combustible considerados en IPCC (2007). En esta circunstancia, países como Estonia, Polonia, Dinamarca, Grecia, Malta o Suecia superan en algún momento este valor (tabla 11).

Tabla 11. Resultados del factor de emisión del mix de generación empleando los umbrales superiores de factores de emisión por combustibles.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
UE (28)	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19
Bélgica	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14
Bulgaria	0,20	0,20	0,20	0,20	0,25	0,23	0,22	0,22	0,24	0,24
República Checa	0,26	0,26	0,26	0,25	0,26	0,26	0,24	0,24	0,24	0,24

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Dinamarca	0,30	0,29	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Alemania	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Estonia	0,44	0,44	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Irlanda	0,28	0,27	0,28	0,26	0,26	0,25	0,24	0,26	0,24	0,24
Grecia	0,32	0,32	0,36	0,36	0,36	0,35	0,36	0,36	0,35	0,35
España	0,18	0,19	0,22	0,21	0,22	0,20	0,19	0,16	0,17	0,17
Francia	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03
Croacia	0,18	0,14	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Italia	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,22	0,22	0,22	0,22
Chipre	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28
Letonia	0,11	0,08	0,08	0,11	0,11	0,10	0,09	0,12	0,13	0,13
Lituania	0,04	0,04	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,16	0,15	0,15
Luxemburgo	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18	0,17	0,19	0,15	0,14	0,14
Hungría	0,21	0,21	0,19	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18
Malta	0,26	0,26	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,35	0,36	0,36
Holanda	0,31	0,30	0,33	0,32	0,32	0,31	0,30	0,31	0,31	0,31
Austria	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,11	0,13	0,14	0,14
Polonia	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
Portugal	0,21	0,24	0,27	0,22	0,22	0,22	0,21	0,16	0,18	0,18
Rumania	0,23	0,22	0,20	0,22	0,22	0,20	0,19	0,17	0,20	0,20
Eslovenia	0,16	0,14	0,15	0,15	0,16	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Eslovaquia	0,11	0,11	0,13	0,24	0,23	0,16	0,19	0,23	0,18	0,18
Finlandia	0,22	0,21	0,17	0,21	0,20	0,18	0,18	0,21	0,19	0,19
Suecia	0,34	0,34	0,34	0,37	0,37	0,34	0,32	0,32	0,31	0,31
Gran Bretaña	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,23	0,24	0,23	0,23
Islandia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4. Conclusiones

El mix de generación de energía eléctrica posee un efecto sinérgico sobre la huella de carbono derivada de las infraestructuras urbanas al afectar de forma directa no solo al consumo de energía eléctrica, sino también al consumo de agua potable, al tratamiento de aguas residuales y al transporte (a través del vehículo eléctrico o del ferrocarril).

Las emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas al mix de emisión de energía eléctrica han venido ocupando la segunda posición en cuanto a relevancia sobre el total para el factor de emisión en punto de consumo en España entre los años 2008 y 2014.

Las emisiones vinculadas al mix de generación de energía eléctrica ocuparían la primera posición en aquellos casos en los que los productos sustitutivos permiten un intercambio sencillo como por ejemplo detrayendo parte de los consumos domésticos de gas hacia el suministro eléctrico (en el entorno del 40% del consumo). La huella de carbono resultante es, por el contrario, poco sensible al incremento del peso de la movilidad basada en el vehículo eléctrico o el ferrocarril.

El valor del factor de emisión por encima de los que los consumos vinculados a la energía eléctrica constituyen la fuente principal se sitúa en el entorno de 0,36 $kgCO_{2eq}$/kWh. Existen

seis países dentro de la UE 28 que superan o han superado dicho umbral entre los años 2003 y 2012. Si se emplease el factor de emisión en punto de consumo esta cota sería superada por un número superior de países convirtiendo a las fuentes vinculadas al consumo de energía eléctrica en las más relevantes.

5. Referencias

Álvarez, R., Zubelzu, S. Díaz, G., & López, A. (2015). Analysis of low carbon super credit policy efficiency in European Union greenhouse gas emissions. *Energy* 82, 996-1010.

Blanco, F., Lopez, A., & Zubelzu, S. (2012). Renovation of windows in the building of the Faculty of Political Sciences of the University of Santiago de Compostela (Spain). Energetic and Environmental Study. *Journal of Environmental Protection and Ecology 13(2)*, 802-810.

Canal de Isabel II (2006). *Normas para redes de saneamiento. Versión 2006*. Madrid: Canal de Isabel II.

Carney, S., Green, N., Wood, R., & Read, R. (2009). *Greenhouse Gas Emissions Inventories for Eighteen European Regions, EU CO2 80/50 Project Stage 1: Inventory Formation.* Manchester: The Greenhouse Gas Regional Inventory Protocol (GRIP).

Carter, J.G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J., & Kazmierczak, A. (2015). Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation. *Progress in Planning 95*, 1-66.

Colomer, J. V., & Insa, R. (2006). El consumo energético en el transporte urbano y metropolitano. Los modos ferroviarios. *Ingeniería y Territorio 76*, 48-51.

De las Heras, A., Domenech, C, & Carles, E. (2011). *Análisis de Datos de Emisiones de CO2 en España. Entidades sujetas a la Directiva Europea 2003/87/CE. Período 2011 y contexto Global.* Barcelona: Fundación Empresa y Clima.

Dhakal, S. (2009). Urban energy use and carbon emissions from cities in China and policy implications. *Energy policy, 37* 4208-4219.

Dirección General de Tráfico (2014). Composición del Parque de Vehículos. Madrid: Dirección General de Tráfico, Ministerio de Fomento. Consultado en: http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/.

Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara, T., & Tanabe, K. (Eds.) (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Hayama: IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.

Eurostat (2014). Estadísticas Energéticas 2014. Luxemburgo: Comisión Europea.

GHG Protocol (2005). GHG emissions from transport or mobile sources. GHG Protocol - Mobile Guide (03/21/05) v1.3. Whasington: GHG Protocol.

Hardy, L., & Garrido, A. (2010). *Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España*. Papeles de agua virtual nº 6. Madrid: Fundación Botín.

Ho, C. S., Matsuoka, Y., Simson, J., & Gomi, K. (2013). Low carbon urban development strategy in Malaysia-The case of Iskandar Malaysia development corridor. *Habitat International 37*, 43-51.

Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. (2014). Encuesta sobre suministro y saneamiento de aguas. Madrid: Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. Consultado en: http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t26/p067/p01/a2011&file=pcaxis.

Instituto Nacional de Estadística (2014). Encuesta sobre recogida y tratamiento de residuos urbanos. Madrid: Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. Consultado en: http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft26%2Fe068%2Fp01&file=inebase&L=0.

Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético. (2010). *Estudio de Prospectiva. Consumo Energético en el sector del agua*. Madrid: Fundación OPTI-IDAE.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change (I.P.C.C.).

Kim, T., & Kim, H. (2013). Analysis of the effects of intra-urban spatial structures on carbon footprint of residents in Seoul, Korea. *Habitat International, 38* 192-198.

La Roche, P. (2010). Calculating green house gas emissions for buildings: analysis of the performance of several carbon counting tools in different climates. *Informes de la Construcción 62*, 61-80.

Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2014). Estadísticas anuales de consumo de gas natural. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Consultado en: http://www.minetur.gob.es/energia/balances/Publicaciones/gas-natural-anual/Paginas/gas-natural-2000-2009.aspx.

Monzón de Cáceres, A. & De la Hoz, D. (2009). Efectos sobre la movilidad de la dinámica territorial de Madrid. *Urban, 14*, 58-71.

OCCC (2015). Nota informativa sobre la metodología de estimación del mix eléctrico por parte de la Oficina Catalana del Cambio Climático. Oficina Catalana del Cambio Climático Consultado en: http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/redueix_emissions/factors_emissio_associats_energia/150213_Nota-metodologica-mix_cast.pdf.

Oficina Española de Cambio climático (2014). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España e información adicional años 1990-2012*. Madrid: Dirección General Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Medio ambiente, Medio Rural y Marino.

Wu, L., Jiang, Q., & Yang, X. M. (2013). Carbon Footprint Incorporation into Least-cost Planning of Eco-city Schemes: Practices in Coastal China. The 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modeling. *Procedia Environmental Sciences 13*, 582-589.

Zubelzu, S. & Álvarez, R. (2015). Urban planning and industry in Spain: a novel methodology for calculating industrial carbon footprints. *Energy Policy 83,* 57-68.

Zubelzu, S. & Hernández, A. (2014). Methodolgy for household carbon footprint calculation incorporated in urban planning procedures. Proceedings of XVIII International Congress on Project Management and Engineering, July 16-17, 2014.

Zubelzu, S., Isidro, A., Blanco, F. & Gutiérrez, M. A., (2011). Los Métodos Gravitacionales como herramienta para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del tráfico rodado en la planificación urbana. *Revista de construcción 26(2),* 187-207.

Zubelzu, S., Isidro, A., Blanco, F., & Gutiérrez, M.A., (2014). Calculation model for greenhouse gases diffuse emissions from transport. Analysis by urban design variables. *Revista Facultad Ingeniería Universidad Antioquía 73*, 200-213.

02-008

ANALYSIS OF THE ECONOMIC SCORING FORMULAE IN PUBLIC PROCUREMENT COLOMBIAN

Fuentes Bargues, Jose Luis [1]; González Cruz, Mª Carmen [1]; González Gaya, Cristina [2]; Ballesteros Pérez, Pablo [3]; Gil Castillo, Mónica Paola [4]

[1] Departamento de Proyectos de Ingeniería UPV, [2] Departamento de Ingeniería de Construcción y Fabricación. UNED, [3] Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción. Universidad de Talca, [4] Máster Dirección y Gestión de Proyectos. Universita

Public procurement is one of the fundamental pillars of Spanish construction sector, but the current level of investment of public administration has meant that many Spanish companies have had to look for other markets to continue trading. One of the main destinations for Spanish companies have been Latin American countries, mainly due to the common language and the cultural roots that unite these countries with Spain. In business strategies to get in new markets, one aspect that must be taken into account is the contracting regulations of the destination countries because, unlike the European Union, there is no common framework and there are many variations between each of the countries. The objective of this study is to analyze the economic scoring formulae (ESF) used in the tendering proceedings in Colombia and to do a comparative analysis with the ESF used in the Spanish tendering.

Keywords: *Public procurement; Tendering; Construction; Economic Scoring Formulae; Construction; Colombia*

ANÁLISIS DE LAS FÓRMULAS DE PUNTUACIÓN DEL CRITERIO ECONÓMICO EN LA CONTRATACIÓN PÚBLICA COLOMBIANA

La contratación pública es uno de los pilares fundamentales del sector construcción español, pero el actual nivel de inversión de la administración pública ha propiciado que muchas empresas españolas hayan tenido que buscar otros mercados para continuar su actividad. Uno de los principales destinos para las empresas españolas han sido los países latinoamericanos, debido principalmente al idioma común y a las raíces culturales que nos unen. En las estrategias empresariales sobre la entrada en nuevos mercados uno de los aspectos que se ha tenido en cuenta ha sido la normativa sobre contratación en los países destino, ya que, a diferencia de la Unión Europea, no hay un marco común y hay muchas variaciones entre cada uno de los países. El objetivo de este estudio es realizar un análisis de las fórmulas de puntuación del criterio económico utilizadas en la licitación en Colombia y realizar un análisis comparativo con las fórmulas utilizadas en la licitación española.

Palabras clave: *Contratación Pública; Licitación; Construcción; Criterios de Puntuación; Construcción; Colombia*

Correspondencia: José Luis Fuentes Bargues jofuebar@dpi.upv.es

1.- Introducción.

La contratación pública es uno de los pilares fundamentales del sector construcción español (Pellicer et al. 2003, Fuentes y González 2013b; Fuentes et al. 2015), pero el actual nivel de inversión de la administración pública ha propiciado que muchas empresas españolas hayan tenido que buscar otros mercados para continuar su actividad.

Uno de los principales destinos para las empresas españolas han sido los países latinoamericanos, debido principalmente al idioma común y a las raíces culturales que nos unen.

En las estrategias empresariales sobre la entrada en nuevos mercados uno de los aspectos que se ha tenido en cuenta ha sido la normativa sobre contratación en los países destino, ya que, a diferencia de la Unión Europea, no hay un marco común y hay muchas variaciones entre cada uno de los países.

El objetivo de este estudio es realizar un análisis de las fórmulas de puntuación del criterio económico utilizadas en la licitación en Colombia y realizar un análisis comparativo con las fórmulas utilizadas en la licitación española.

2.- Las fórmulas de puntuación del criterio económico en España.

La contratación española está regulada por el Real Decreto Legislativo 3/2011, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Contratos del Sector Público (España 2011) donde se contemplan dos procedimientos de adjudicación, el primero de ellos cuando únicamente se utiliza un criterio de adjudicación, que necesariamente será el precio, y el segundo de los procedimientos cuando se utilizan varios criterios de adjudicación, entre los que, a pesar de que no se cita textualmente, deberá estar presente el precio (Informe 28/95 JCCA). En el pliego de claúsulas administrativas se expresará el peso de cada uno de los criterios de valoración, así como el modo o fórmula de puntuación de cada uno de ellos.

En la normativa no hay unas directrices o pautas sobre la utilización de unas u otras fórmulas de puntuación del criterio económico (Fueyo 2009; Fuentes et al. 2015), lo único que si se establece refiriéndose al precio es que la oferta con mayor puntuación sea la oferta más económica. La disparidad y número de formulas de puntuación económica ha sido un aspecto muy estudiado, Martín Seco en el año 2003 analizó el comportamiento de varias fórmulas de puntuación, señalando la discrepancia de resultados, en especial en lo referente a las puntuaciones intermedias de los licitadores, con la aplicación de una u otra fórmula.

En el año 2012, Ballesteros et al. (2012a; 2012b) con el propósito de desarrollar un modelo de predicción de bajas a partir los datos históricos de los resultados de las licitaciones analizaron las relaciones matemáticas de los parámetros de algunas fórmulas de puntuación y desarrollaron un modelo gráfico que permite analizar el comportamiento de las fórmulas de puntuación. Para ello desarrollaron el concepto de gradiente de puntuación como la curva que nos muestra las mayores o menores pérdidas de puntuación que se producen respecto de un máximo a medida que un licitador se aleja de la baja o de la oferta mejor puntuada.

En 2013, Fuentes y González realizaron un estudio y clasificación de fórmulas de puntuación del criterio económico utilizadas en España, a partir del estudio de una muestra de cien pliegos de licitación, clasificándolas en diez grupos. Las fórmulas más utilizadas eran las que le otorgaban la máxima puntuación a la oferta más económica, obteniendo el resto de empresas una puntuación proporcional según la oferta realizada, distinguiéndose dos criterios, el que la fórmula trabaja con las ofertas económicas y el criterio que la fórmula trabaja con las bajas en tanto por cien de las ofertas

En este estudio también se reflejaron aspectos negativos. En primer lugar se señaló como todavía se utilizaban fórmulas que otorgaban la máxima puntuación a las ofertas más próximas a la media de las ofertas presentadas, desvirtuándose el concepto de oferta más ventajosa y en contra de lo que refleja la normativa. En segundo lugar también se utilizaban fórmulas que otorgaban la puntuación máxima a un porcentaje de baja limitado respecto del precio de licitación, con lo que prácticamente la administración fijaba el precio por el cual quería que se realizará la obra y cualquier baja superior no tenía compensación en la puntuación, por lo que el peso del criterio precio como criterio de adjudicación desaparecía.

3.- Las fórmulas de puntuación del criterio económico en Colombia.

El marco normativo actual de contratación en Colombia fue definido por la Ley 80/1993 (Colombia 1993) cuyos principios son la eficacia, la transparencia y la igualdad de oportunidad. Esta ley determinó, entre otros puntos, que en los pliegos de contratación se debían establecer las reglas de adjudicación del contrato y se debían programar los diferentes actos administrativos. Estas reglas debían ser claras, objetivas, justas, precisas y completas con el fin de asegurar la selección objetiva.

Dado los numerosos problemas de subjetividad y corrupción que se han sucedido en la contratación colombiana desde la entrada en vigor de la Ley 80/1993, se promulgó la Ley 1150/2007 (Colombia 2007) como una modificación de envergadura en pos de lograr una mayor transparencia y objetividad. Esta nueva ley determinó que los contratos deberían adjudicarse a la oferta más favorable para la entidad adjudicataria (según una serie de factores técnicos y económicos) y a los fines que se persiguen en la contratación, sin tener en cuenta factores subjetivos o de interés particular.

En esta ley se articuló como modalidad de contratación la selección abreviada, prevista para bienes, obras o servicios de cuantía menor o para circunstancias de contratación específicas. En este tipo de procedimiento simplificado el único factor de evaluación es el menor precio ofrecido, es decir lo que tradicionalmente se conoce como concurso.

El Gobierno Colombiano creó en 2011 el organismo Colombia Compra Eficiente (Figura 1), con objeto de conseguir una mayor eficiencia en la contratación, así como desarrollar políticas, planes y programas para optimizar la oferta y demanda en el mercado. Esta entidad desarrolla, entre otros aspectos, pliegos de contratación para que sean utilizados en los procedimientos de contratación por las diversas administraciones y entidades colombianas.

Figura 1: Portal de Colombia Compra Eficiente. Fuente: Colombia Compra Eficiente.

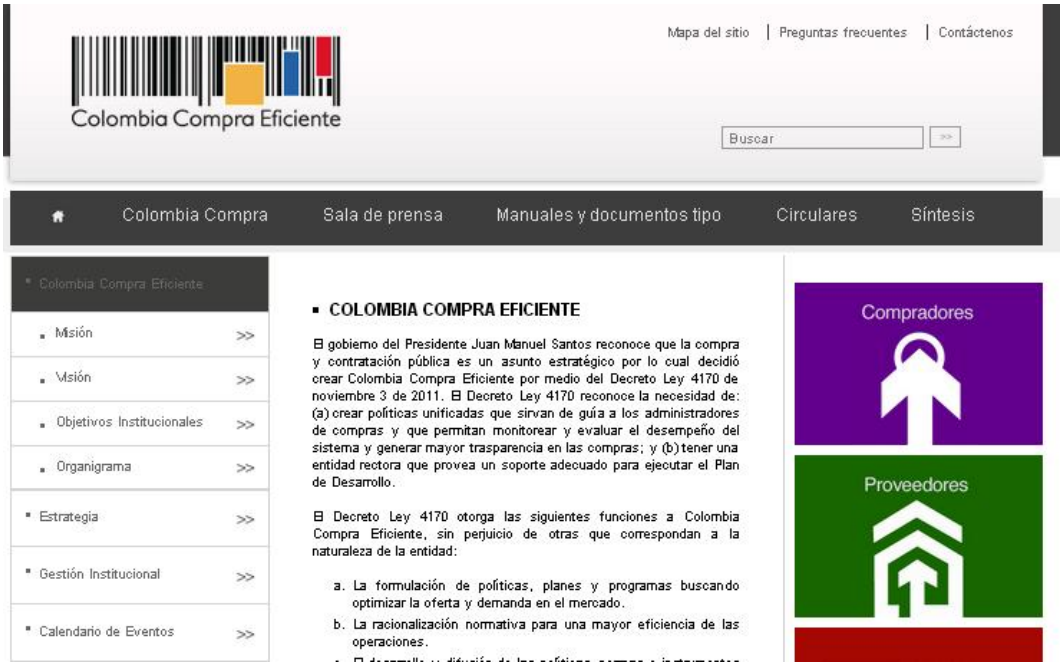


Figura 2: Valor de TRM. Fuente: Superintendencia Financiera de Colombia.

Según el organismo Colombia Compra Eficiente se establecen cuatro métodos para valorar el factor económico: el método de la media aritmética, el método de la media aritmética alta, la media geométrica con presupuesto oficial y el menor valor. La elección del método se realiza de forma aleatoria a partir de los dos primeros dígitos decimales de la Tasa de Cambio Representativa del Mercado (TRM)[1] que rija el día hábil anterior a la fecha prevista para la publicación del informe de evaluación de acuerdo a los rangos establecidos en la Tabla 1.

Tabla 1: Asignación de método de evaluación del criterio económico según TRM

Rango (valores extremos inclusive)	Id	Método
De 00 a 24	*C1*	*Media aritmética*
De 25 a 49	*C2*	*Media aritmética alta*
De 50 a 74	*C3*	*Media geométrica con presupuesto oficial*
De 75 a 99	*C4*	*Menor valor*

[1] La Tasa de cambio representativa del mercado (TRM) es la cantidad de pesos colombianos por un dólar de los Estados Unidos y se calcula con base en las operaciones de compra y venta de divisas entre intermediarios financieros que tienen transacciones en el mercado cambiario colombiano, con cumplimiento el mismo día de cuando se realiza la negociación de las divisas. Es calculado y certificado diariamente con base a las operaciones registradas el día hábil inmediatamente anterior y el organismo encargado de hacerlo es la Superintendencia Financiera de Colombia.

3.1.- Método de la media aritmética (C1).

Se calcula la media aritmética de las ofertas de acuerdo a la expresión (1) y la puntuación de las ofertas de acuerdo a las expresiones (2) y (3):

$$x_m = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n} \qquad (1)$$

$$P_i = 50 \cdot (1 - (\frac{x_m - x_i}{x_m}), si: x_i \leq x_m \qquad (2)$$

$$P_i = 50 \cdot (1 - 2 \cdot (\frac{|x_m - x_i|}{x_m}), si: x_i > x_m \qquad (3)$$

Donde:

x_m es la media aritmética de las ofertas.
x_i es el valor de la oferta i sin decimales.
n es el número total de las ofertas válidas presentadas.
P_i es la puntuación del criterio económico.

3.2.- Método de la media aritmética alta (C2).

Consiste en la determinación de la media aritmética entre el valor total sin decimales de la oferta válida más alta y el promedio aritmético de las ofertas válidas de acuerdo a la expresión (4) y la puntuación de las ofertas se realizará de acuerdo a las expresiones (5) y (6):

$$x_A = \frac{x_{\max} + x_m}{2} \qquad (4)$$

$$P_i = 50 \cdot (1 - (\frac{x_A - x_i}{x_A}), si: x_i \leq x_A \qquad (5)$$

$$P_i = 50 \cdot (1 - 2 \cdot (\frac{|x_A - x_i|}{x_A}), si: x_i > x_A \qquad (6)$$

Donde:

x_m es la media aritmética de las ofertas calculada según la expresión (1).
x_A es la media aritmética alta.
x_{max} es el valor de la oferta más alta sin decimales.
x_i es el valor de la oferta i sin decimales.
P_i es la puntuación del criterio económico.

3.3.- Método de la media geométrica (C3).

Consiste en la determinación de la media geométrica de las ofertas válidas y del presupuesto oficial (en un determinado número de veces de acuerdo a la Tabla 2) según la expresión (7). La puntuación de las ofertas se realizará de acuerdo a las expresiones (8) y (9).

$$G_{po} = \sqrt[n+nv]{PO \cdot PO \cdot ... \cdot PO_{nv} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot ... \cdot x_n} \qquad (7)$$

$$P_i = 50 \cdot (1 - (\frac{G_{po} - x_i}{G_{po}}), si: x_i \leq G_{po} \qquad (8)$$

$$P_i = 50 \cdot (1 - 2 \cdot (\frac{|G_{po} - x_i|}{G_{po}}), si: x_i > G_{po} \qquad (9)$$

Donde:

PO es el presupuesto oficial de licitación.
G_{po} es la media geométrica con el presupuesto oficial nv veces.
nv es el número de veces que se debe incluir el presupuesto oficial.
n es el número total de las ofertas válidas presentadas.
x_i es el valor de la oferta i sin decimales.
P_i es la puntuación del criterio económico.

Tabla 2: Asignación de número de veces del presupuesto oficial a la fórmula de la media geométrica

Número de ofertas (n)	Número de veces que se incluye el presupuesto oficial (nv)
1-3	*1*
4-6	*2*
7-9	*3*
10-12	*4*
13-15	*5*
[3n-2,3n]	*n*

3.4.- Método del menor valor (C4).

La puntuación se establece a partir de la expresión (10), en la que la oferta menor valor obtendrá la máxima puntuación y el resto de ofertas recibirán una puntuación proporcional en función de la proximidad a la oferta de menor valor.

$$P_i = \frac{50 \cdot x_{\min}}{x_i} \qquad (10)$$

Donde:

x_i es el valor de la oferta i sin decimales.
x_{min} es el valor de la oferta más baja sin decimales.
P_i es la puntuación del criterio económico.

4.- Metodología.

La metodología de estudio seguida en la presente comunicación consiste en la aplicación de las fórmulas de puntuación de la normativa de contratación colombiana sobre los datos procedentes de la apertura económica de dos obras, una obra del subsector Edificación (Tabla 3) con muy pocas empresas licitadoras y otra del subsector Obra Civil (Tabla 4) con muchas empresas licitadoras. En este caso se trata de las mismas obras que se estudiaron en la investigación sobre fórmulas de puntuación del criterio económico en España (Fuentes y González 2013a)[2].

Las puntuaciones obtenidas se representan gráficamente, de menor a mayor, generando una curva que se denomina Gradiente de Puntuación (Ballesteros et al, 2012), curva que nos muestra las mayores o menores pérdidas de puntuación que se producen respecto de un máximo a medida que un licitador se aleja de la baja o de la oferta mejor puntuada.

Finalmente se comparan los resultados obtenidos para las fórmulas de contratación colombiana con los resultados obtenidos para las fórmulas de contratación españolas.

[2] Al igual que en el estudio de referencia en esta investigación se ha utilizado como máxima puntuación 50 puntos con objeto de poder realizar las comparaciones pertinentes.

Tabla 3: Resultados Apertura Oferta Económica Obra: Pabellón Deportivo SUNP VI del Ayto. de Sagunto. Expte.: 59/90. Presupuesto Licitación: 2.786.034,48 euros + IVA

Empresa Licitadora	Oferta Económica (euros)	Baja (%)
Secopsa Construcciones S.A..	*2.769.742,11*	*0,58*
Elecnor	*2.758.174,14*	*1,00*
Vía Latina S.A.	*2.667.273,43*	*4,26*
Intersa Levante s.a.	*2.368.129,31*	*15,00*
Valcomar s.a.	*2.307.981,50*	*17,16*

Tabla 4: Resultados Apertura Oferta Económico Obra: Repavimentación de calles del Barrio Huerta Nueva y Avda. de Sax en Elda (Alicante) de la Consellería de Infraestructuras. Expte.: 2010/09/0103. Presupuesto Licitación: 1.366.444.98 euros + IVA

Empresa Licitadora	Oferta Económica (euros)	Baja (%)
Electricidad Paquete-Mainco	*1.355.932,21*	*0,77*
Gestaser-Secopsa	*1.332.016,26*	*2,52*
Rover Alcisa	*1.328.000,00*	*2,81*
Mac-puar Servicios Industriales	*1.325.451,63*	*3,00*
Asfaltos Guerola-Symetra	*1.318.619,41*	*3,50*
Assignia, S.A.-Ingeniería Del agua y la energia	*1.309.054,29*	*4,20*
Vaseco-Villegas	*1.298.669,31*	*4,96*
Saico	*1.298.122,72*	*5,00*
Beneaguas-Electrisur	*1.288.782,94*	*5,68*
Construcciones Proyme Alginet	*1.284.458,28*	*6,00*
Edificaciones Castelló-Urbamed	*1.283.775,06*	*6,05*
S.a. Riegos Caminos y Obras	*1.277.659,35*	*6,50*
Renos	*1.258.085,89*	*7,93*
Ezentis Infraestructuras	*1.256.856,09*	*8,02*
Pavasal	*1.250.559,46*	*8,48*
Grupo Generala-Reticulares	*1.249.067,36*	*8,59*
Construcciones Francés	*1.249.019,00*	*8,59*
Cyes Infraestructuras	*1.246.197,82*	*8,80*
BM3 obras y Servi-riegos Vinalopó	*1.241.688,55*	*9,13*
Torrescamara	*1.232.533,37*	*9,80*
Coinger	*1.229.800,48*	*10,00*
Grupo Bertolín-Procumasa	*1.225.154,57*	*10,34*
Ecisa	*1.225.000,00*	*10,35*
Ocide	*1.222.421,68*	*10,54*
Binaria	*1.213.403,14*	*11,20*
Becsa	*1.207.720,72*	*11,62*
Jotsa-Geosa	*1.206.530,97*	*11,70*
Serrano Aznar Obras Públicas	*1.201.378,00*	*12,08*
Dopema-Esclapes e hijos	*1.189.490,36*	*12,95*
Enrique Ortiz e hijos	*1.183.103,45*	*13,42*
Arcion	*1.172.683,08*	*14,18*
Adesval-Electotécnica Morales	*1.168.310,46*	*14,50*
CHM Obras e Infraestructuras	*1.159.291,92*	*15,16*
Intersa Levante	*1.116.802,00*	*18,27*

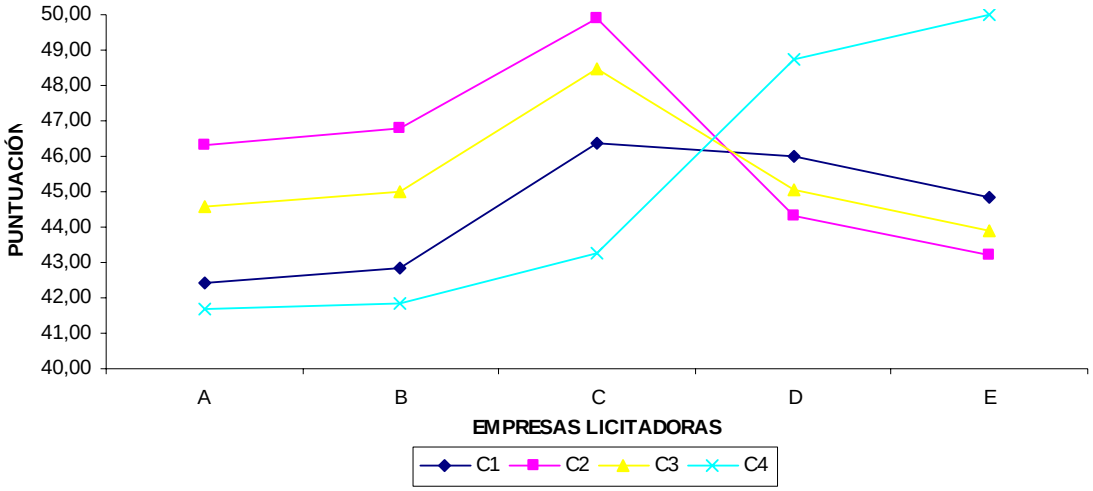
5.- Resultados.

Los resultados obtenidos al aplicar las fórmulas de puntuación del criterio económico sobre los proyectos de Edificación y Obra Civil se muestran en las Figuras 3 y 4 respectivamente.

Los métodos de las media aritmética (C1), media aritmética alta (C2) y media geométrica (C3) tienen un comportamiento muy similar cuando el número de licitadores es bajo, tal y como se puede comprobar en la Figura 3. En el caso de un número elevado de licitadores el máximo de la curva de puntuaciones, es decir la máxima puntuación, se encuentra más desplazado hacia las ofertas con una cuantía económica más alta, es decir el método de la media aritmética alta en primer lugar y el método de la media geométrica en segundo lugar otorga más puntuación a ofertas más conservadoras.

El método del menor valor (C4) es el que se otorga la puntuación a la oferta más económica y al resto de ofertas le otorga una puntuación proporcional. Este método tiene como fundamentos los principios que rigen en las fórmulas del criterio económico de la contratación europea.

Figura 3: Aplicación de las fórmulas de puntuación del criterio económico a los resultados de la apertura del sobre económico de la obra del subsector Edificación. Fuente: Elaboración propia.



La pendiente de la curva de puntuación es uno de los factores que los licitadores tienen en cuenta a la hora de tomar la decisión sobre su oferta definitiva, ya que fuertes pendientes de la curva de puntuación generan la necesidad de ofertar más arriesgadamente para conseguir una mayor puntuación que los distancie de sus competidores, en cambio pendientes suaves en la curva de puntuación pueden generar ofertas menos arriesgadas que puedan ser compensadas en la valoración de otros aspectos (procedimiento técnico, medidas de carácter ambiental, garantías de control de calidad, etc.).

Si se analiza la forma de la curva de puntuación y sus pendientes, tanto en las Figuras 3 y 4 como en las Tablas 3 y 4, se puede comprobar cómo los métodos de las medias (C1 a C3) asemejan su comportamiento a una distribución normal, con mayor o menor asimetría positiva o negativa, obteniendo un intervalo de puntuación más pequeño que el método del menor valor, tanto en una licitación con muchos licitadores como en una licitación con pocos licitadores. Esta situación en un procedimiento cuyo criterio de adjudicación es únicamente el criterio económico (es decir, lo que se ha conocido

tradicionalmente como subasta) no tendría mayor repercusión pero en cambio en un procedimiento con varios criterios de adjudicación (es decir, lo que se ha conocido tradicionalmente como concurso) significa que puntuaciones tan similares suponen que el peso real del criterio económico es inferior al propuesto en los pliegos de contratación, con lo que otros criterios más subjetivos soportan mayor peso en la decisión final.

Figura 4: Aplicación de las fórmulas de puntuación del criterio económico a los resultados de la apertura del sobre económico de la obra del subsector Obra Civil. Fuente: Elaboración propia.

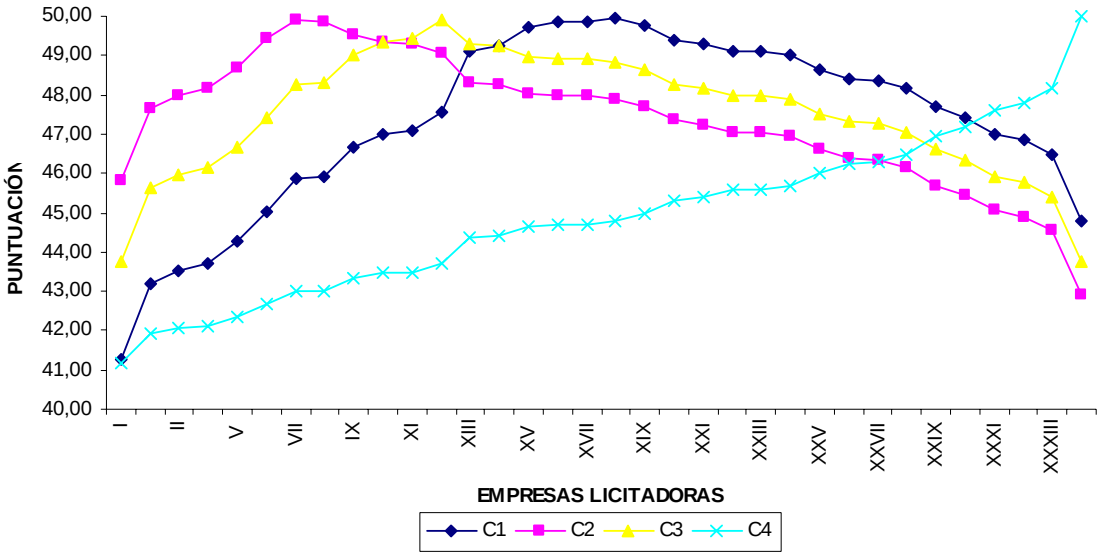


Tabla 3: Tabla-Resumen de aplicación de las fórmulas de puntuación del criterio económico a los resultados de la apertura del sobre económico de la obra del subsector Edificación.

Criterio	*Puntuación Máxima*	*Puntuación Mínima*	*Diferencia Puntuación*	*Diferencia Económica*
C1	*46,39*	*42,41*	*3,98*	*102.468,68*
C2	*49,91*	*43,19*	*6,72*	*359.291,93*
C3	*48,48*	*43,92*	*4,56*	*359.291,93*
C4	*50,00*	*41,66*	*8,34*	*461.760,61*

Tabla 4: Tabla-Resumen de aplicación de las fórmulas de puntuación del criterio económico a los resultados de la apertura del sobre económico de la obra del subsector Obra Civil

Criterio	*Puntuación Máxima*	*Puntuación Mínima*	*Diferencia Puntuación*	*Diferencia Económica*
C1	*49,96*	*41,28*	*8,68*	*109.734,39*
C2	*49,89*	*42,90*	*6,99*	*181.867,31*
C3	*49,42*	*43,75*	*5,67*	*160.857,35*
C4	*50,00*	*41,18*	*8,82*	*239.130,21*

6.- Discusión y Conclusiones.

En la contratación colombiana no hay tanta disparidad de fórmulas de puntuación del criterio económico como en la contratación española. En España se definieron en el estudio realizado por Fuentes y González (2013a) un total de dieciocho tipologías (entre grupos y subgrupos) por los cuatro grupos definidos en los pliegos de la entidad Colombia Compra Eficiente.

Los métodos de las medias (aritmética, aritmética alta y geométrica) definidos en la contratación colombiana no están permitidos en la contratación europea y española, aunque en el estudio realizado en 2013 en España todavía se detectó un 4% de procedimientos donde se utilizaban. Las directrices de las normas europeas y españolas, las recomendaciones de la Juntas Consultivas de Contratación Administrativa y las sentencias de los tribunales dictan que la oferta con mayor puntuación debe ser la oferta más económica y el resto de ofertas deben tener una puntuación proporcional de acuerdo a la fórmula determinada en el pliego de cláusulas del procedimiento.

En el estudio realizado en España en el año 2013 el 38% de las fórmulas de puntuación del criterio económico eran conforme al método del menor valor utilizado en Colombia (o trabajando con las ofertas económicas o con las bajas).

Tanto en España como en Colombia se han comprobado que muchas de las fórmulas utilizadas tienen pendientes de la curva de puntuación muy suaves, es decir que el intervalo de las puntuaciones de todos los licitadores es muy estrecho, por lo que el peso real del criterio económico es menor que el peso que se indica en el pliego de cláusulas administrativas del expediente. Las entidades o poderes de adjudicación deberían seleccionar fórmulas de puntuación con pendientes moderadas o fuertes, en uno o varios tramos, de manera que el peso del criterio económico como criterio de adjudicación fuera el peso objetivo que se le otorga y no un peso menor porque sino los criterios más subjetivos (evaluables mediante un juicio de valor) tendrían un mayor peso en la decisión final.

Finalmente otro de los aspectos a señalar respecto de las fórmulas de contratación en Colombia es la selección de la fórmula a utilizar, mientras que en España y en la Unión Europea se indica en los pliegos una única fórmula, en los pliegos de contratación colombianos se indican cuatro fórmulas de puntuación, con un criterio de selección totalmente aleatorio, lo que no permite a los licitadores estrategias a la hora de elaborar la oferta en función del método de puntuación del criterio económico, porque tal y cómo se ha podido comprobar en el presente estudio el comportamiento de los cuatro métodos es diferente.

8.- Referencias.

Ballesteros-Pérez, P., González-Cruz, M.C., Cañavate-Grimal, A. (2012a). Mathematical relationships between scoring parameters in capped tendering. *International Journal of Project Management,* 30(7), 850-862.

Ballesteros-Pérez, P., González-Cruz, M.C., Pastor-Ferrando, J.P. et al. (2012b). The iso-Score Curve Graph. A new tool for competitive bidding. *Automation in Construction*, 22, 481-490.

Colombia Compra Eficiente [En línea]. Manuales y Documentos Tipo [Consulta 2 de Febrero de 2015]. Disponible en: <http://www.colombiacompra.gov.co/es/colombia-compra-eficiente>.

Colombia. Ley 80/1993, de 28 de Octubre, por la cual se expide el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública. *Diario Oficial de Colombia*, 28 de Octubre de 1993, núm. 41094.

Colombia. Ley 1150/2007, de 16 de Julio, por medio de la cual se introducen medidas para la eficiencia y la transparencia en la Ley 80/1993 y se dictan otras disposiciones generales sobre la contratación con recursos públicos. *Diario Oficial de Colombia*, 16 de Julio de 2007, núm. 46691.

España. Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de Noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos del Sector Público. *Boletín Oficial del Estado*, 16 de Noviembre de 2011, núm. 276, p.117729-117914.

Fuentes-Bargues, J.L. & González-Gaya, C. (2013a). Analysis of the Scoring Formula of Economic Criteria in Public Procurement. *International Journal of Economic Behavior and Organization*, 1(1), 1-12.

Fuentes-Bargues, J.L. & González-Gaya, C. (2013b). Determination of Disproportionate Tenders in Public Procurement. *Journal of Investment and Management*, 2(1), 1-9.

Fuentes-Bargues, J. L., González-Gaya, C., González-Cruz, Mª C. (2015). La contratación pública de obras: situación actual y puntos de mejora. *Informes de la Construcción*, 67(537): e058, doi: http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.130.

Fueyo Bros, M. (2009). Criterios objetivos de valoración versus objetivos de los criterios de adjudicación. *El Consultor de los Ayuntamientos y de los Juzgados,* 15-16, 2196-2280.

Junta Consultiva de Contratación Administrativa (JCCA). Informe 28/95, de 14 de Octubre de 1995. Interpretación y aplicación que debe darse a lo previsto en el artículo 87 de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, referido a los criterios para la adjudicación del concurso.

Martín Seco, J.F. (2003). El Precio como criterio de adjudicación en los concursos. *Cuenta con el IGAE,* 13, 11-26.

Pellicer Armiñana, E., Catalá Alis, J., Sanz Benlloch, A. (2003). Alternativas de colaboración entre las administraciones públicas y las empresas privadas en el proceso proyecto-construcción. *Actas del VII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, AEIPRO, Pamplona, 11-20.

Superintendencia Financiera de Colombia [En línea]. Datos TRM [Consulta 15 de Abril de 2015]. Disponible en: <https://www.superfinanciera.gov.co/jsp/index.jsf>.

02-009

VALORIZATION OF MUSSEL SHELL FOR ITS USE AS AN AGGREGATE IN UNBOUND APPLICATIONS: LIFE-CYCLE SUSTAINABILITY INDICATORS.

Bordello Malde, Lucía; de la Cruz López, M. Pilar; del Caño Gochi, Alfredo Universidade da Coruña

Canneries produce large amounts of mussel shell waste. In addition to the extra cost of its management, this waste can cause a significant environmental impact. This is a major problem in Galicia (Spain), one of the world's largest producers. Other countries like Chile and Korea have similar problems with a variety of bivalve waste. Mussel shell from the canning industry can be transformed into a valuable byproduct, by recycling it as granular material for construction applications. Elimination of organic matter and grinding or milling are required steps for the raw waste to be used as a recycled material. The construction system to which the shell is incorporated will set the specifics of these treatments. The objective of this paper is to analyze the life cycle associated with the valorization of mussel shell for its use as aggregate in the construction sector. The focus is put on its use in unbound applications such as filling material in thermal and acoustic insulation, or correction of gravel in road surfaces. A set of environmental, social and economic indicators that allows the sustainability assessment of these construction systems is also presented.

Keywords: *mussel shell; valorization; sustainability; thermal insulation; acoustic insulation; gravel*

VALORIZACIÓN DE LA CONCHA DE MEJILLÓN COMO AGREGADO EN APLICACIONES NO LIGADAS: INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN EL CICLO DE VIDA.

Las empresas conserveras producen grandes cantidades de residuo de concha de mejillón. Además del sobrecoste de su gestión, este residuo puede llegar a provocar un importante impacto ambiental. Este es un problema especialmente importante en Galicia (España), que es uno de los mayores productores mundiales. Otros países como Chile o Corea tienen problemas similares con bivalvos de diverso tipo. La concha de mejillón procedente de la industria conservera necesita ciertos tratamientos para poder ser empleada como material granular en aplicaciones constructivas, convirtiéndose así en un subproducto. Estos tratamientos se centran en la eliminación de la materia orgánica y en la trituración o molienda, según las exigencias del material o solución constructiva a la que se incorpore la concha. El propósito de esta comunicación es analizar el ciclo de vida asociado a la valorización de la concha de mejillón para su uso como árido en el sector de la construcción. En concreto, se plantea su uso en aplicaciones no ligadas, tales como material de relleno para aislantes térmicos y acústicos, o corrección de zahorra para firmes de carretera. Se presentará una serie de indicadores ambientales, sociales y económicos para la evaluación de la sostenibilidad de estos sistemas constructivos.

Palabras clave: *concha de mejillón; valorización; sostenibilidad; aislamiento térmico; aislamiento acústico; zahorra*

Correspondencia: Alfredo del Caño Gochi alfredo@udc.es

Agradecimientos: This work has been developed within the framework of the project "Valorización de las conchas de bivalvos gallegos en el ámbito de la construcción" (Valorization of Galician bivalve shell in the construction sector; Code 00064742 / ITC-20133094), funded by CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial) under the FEDER-Innterconecta Program, and co-financed with European Union ERDF funds. We wish to express our most sincere thanks to the professors of the Construction Group of the University of A Coruña (GCons) and the professionals of the firms Extraco, Serumano and Galaicontrol.

1. Introduction

Galicia (North-West of Spain) is one of the largest bivalves' producers in the world, and the European leader in the production and export of canned mussels. According to *Consellería do Medio Rural e do Mar* (2012), this industry produces 200,000 t (metric tons) per year of this bivalve and, consequently, more than 80,000 t of mussel shell (hereinafter MS). This waste accumulates in poorly equipped areas, creating an undesirable visual and olfactory effect, with serious damage to environment and tourism.

Recent regulations and strategies on waste (European Commission, 2005; European Union, 2006) open new opportunities for sustainable development, through the management and treatment of waste from aquaculture. They encourage not only the application of environmental technologies, but also the recycling of waste and its possible use as by-product.

Recently, the possibility of adding waste material to non-structural building solutions was investigated. In the United Kingdom scallop shells have been used in the construction of forest ways (Scottish Environment Protection Agency, 2005). In The United States, MS has been recycled as a soil conditioner and fertilizer for the agricultural soils (Cline, McKenna, 1996). In South Korea, Yang et al. (2005) studied the effect of crushed oyster shell as partial replacement of sand in concrete. In Spain, there have been several research projects about the use of bivalve shells with the aim of finding alternatives to the expensive waste management (Barros et al., 2009; Ballester et al., 2007). In many cases, some advantages have been tested, since some of the added binders improve mechanical characteristics against conventional alternatives. However, only mechanical and chemical properties were analyzed. Furthermore there is insufficient research about the contribution of these recycled materials to sustainability.

Even so, most of the produced shells are still not processed. The enormous amount of waste produced by the canning industry must find a niche market. Its use as construction material is a potential solution, since large volumes of material are consumed in this sector. The construction industry is one of the most pollutants, being responsible for 50% of natural resources consumption, 40% of the consumed energy and 50% of total waste generated (Anink, Mak & Boonstra, 1996). Therefore, it has great saving potential for reducing emissions and resource consumption.

For construction applications, MS needs a heating treatment, in order to remove organic matter; then, depending on its application, the MS could need specific milling processes. Iribarren, Moreira & Feijoo (2010) have conducted a research about MS life cycle valorization to produce calcium carbonate (Iribarren, 2010), analyzing specific environmental indicators. The processes for producing calcium carbonate are more demanding and aggressive with the environment than the necessary ones for the uses presented in this paper.

Up to date, there are numerous definitions of sustainable development, depending on the approach. It is commonly accepted the one introduced by the United Nations in the Brundtland Report (United Nations, 1987). This document establishes that sustainable development is the one that "meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs". In turn, as the Declaration of Río on Environment and Development (United Nations, 1992) gathered, human beings "are entitled to a healthy and productive life in harmony with nature". This means the consideration of three sustainability pillars or dimensions: environmental, social and economic.

Construction industry is already involved in activities in relation to sustainability. There is a lively action aimed at the development of sustainability indicators. In the UK, a framework for sustainability indicators has been developed, specifically for metallic, construction and

industrial minerals (Azapagic, 2004). In China, a work identifies thirty key indicators affecting the overall effectiveness of construction and demolition waste management (Yuan, 2013). In Spain, the Structural Concrete Code EHE-08 includes a model for assessing sustainability of structural concrete (*Ministerio de la Presidencia*, 2008).

This general framework is also appropriate for MS valorization. However, the work on indicators is still in its infancy and requires further efforts.

2. Objectives

The first objective of this paper is to analyze the emissions and energy consumption life-cycle associated with MS valorization. For that purpose, the necessary processes on the shell for its use as aggregate in unbound applications are studied.

On the other hand, this study aims proposing a comprehensive set of indicators to assess the sustainability of construction solutions that incorporate bivalve shells from the canning industry. Social, environmental and economic aspects are taken into account. The framework is suitable for sustainability reporting as well as internal use by construction companies. The indicators' set will serve to analyze the improvements produced by recycled materials against conventional solutions.

3. Life Cycle Assessment of MS Valorization: Emissions and Energy.

Life Cycle Assessment (LCA) is a useful tool for evaluating the environmental performance of a product or process by using an integrated approach that takes into account the product life cycle (Lozano et al., 2009).

3.1 Data Information

In Galicia, the industry currently managing MS focuses its activity towards agricultural and livestock sectors, being its facilities adapted to the demands of those sectors. This fact, added to the inability to access industry reports of consumptions and emissions, makes unviable achieving real data. As a result, the study by Iribarren (2010) has been taken as a starting point. In it, LCA methodology is used to assess the production of calcium carbonate ($CaCO_3$) from MS.

Unlike the case of obtaining $CaCO_3$, MS waste need less demanding treatments for the applications considered in this paper. These treatments are focused on the elimination of organic matter and subsequent milling, according to the requirements of the construction solution to which the shell is incorporated.

3.2 Boundaries and Functional Unit

The LCA will be a cradle-gate analysis. Such assessments are often the basis for Environmental Product Declarations (EPD) (Erlandsson, Lindfords & Ryding, 2005).

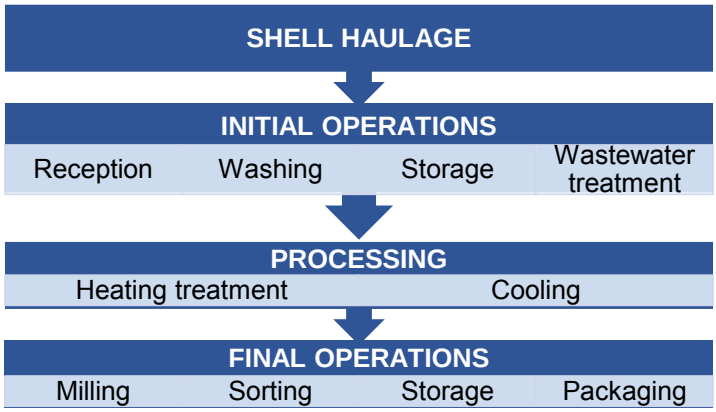
The cradle is located on the canning company, where shells are stripped from mussel. Consequently, transport to the recycling shell factory should be included. The gate is determined by the end of the production process, where the by-product is ready to be sold.

In this paper, the uses for MS are unbound construction applications, such as insulating material, material for correction of graded aggregate, or filler material in drainage channels. According to this, the functional unit is a generic metric ton of MS adapted for its use as an aggregate for construction purposes.

3.3 Life Cycle Stages

Lifecycle for obtaining granular material differs slightly from that required for obtaining calcium carbonate. The process consists of the stages indicated in Figure 1.

Figure 1. Production of gravel, sand and filler by MS valorization.



1. *Shell haulage*. This stage includes haulage from origin (canning companies) to the recycling factory. Considering the location of the main canneries and valorization factories that currently exist in Galicia, 100 km has been taken as an average calculation distance.
2. *Initial Operations*. These steps involve reception, storage and washing of shells. Shells are washed with fresh water to reduce the salt content of the final product, preventing equipment from corrosion. It is considered that the factory incorporates waste water treatment installations.
3. *Processing*. This stage includes drying, heat treatment and subsequent cooling of shells. For obtaining $CaCO_3$ (Iribarren, 2010), the material needs a calcination process, with temperatures of 190 ºC for 18 minutes and 550 °C for 15 minutes. However, according to information provided by suppliers and experts in this field, a simple heat treatment at a temperature of 135 °C for 32 min serves for removing the organic matter of the shells. Moreover, a gas treatment is not necessary (Iribarren, 2010). Compared to calcination, considering the aforementioned factors, and taking into account that the interrelation between treatment temperature and energy consumption (and emissions) is not linear, the potential emissions and energy consumption due to the heat treatment decrease by 75%. Finally, the required cooling process is also reduced. Temperature needs now to be lowered by 75 °C (from 135 ºC to 60 ºC), instead of 490 °C (from 550 ºC to 60 ºC). So it is not necessary to use water spray, but only an air stream (Iribarren, 2010). Thus, the potential impacts due to the cooling process decrease by 90%.
4. *Final Operations*. These involve milling, classification, storage, and packaging. Once cooled, the shell is milled to obtain different grain sizes. Milling consists of three phases: grinding (up to 8 mm; gravel), screening (up to 4 mm; sand) and micronizing (less than 0.063 mm; filler). Thus, an appropriate particle size according to market requirements is provided. In this paper the production of gravel, sand and filler is addressed. Gravel and sand only require grinding and screening. In contrast, filler production demands the three phases. The MS aggregate has a wear resistance and very high impact strength. It presents a Los Angeles coefficient close to 20%.

3.4 Results

Table 1 contains estimations for the main emissions and energy consumption indicators for obtaining gravel, sand, and filler from MS. Due to the previously alluded differences related to the heating and milling treatments, the impacts are much lower than the ones estimated by Iribarren (2010) for obtaining $CaCO_3$.

Table 1. Estimations of emissions and energy consumption for MS aggregate

Functional Unit: 1 metric ton of material	Units	Gravel and Sand	Filler
Abiotic depletion potential (ADP)	kg Sb eq.	8,38E-01	1,02E+00
Global warming potential (GWP)	kg CO_2 eq.	2,42E+02	3,33E+02
Ozone layer depletion potential (ODP)	kg CFC^{-11} eq.	1,38E-05	1,51E-05
Human toxicity potential (HTP)	kg 1,4-DB eq.	2,08E+01	2,49E+01
Fresh water ecotoxicity potential (FETP)	kg 1,4-DB eq.	9,57E+00	1,10E+01
Marine aquatic ecotoxicity potential (METP)	kg 1,4-DB eq.	1,72E+04	2,09E+04
Terrestrial ecotoxicity potential (TETP)	kg 1,4-DB eq.	3,04E+00	3,08E+00
Photochemical oxidant formation potential (POFP)	kg C_2H_4 eq.	5,50E-02	6,29E-02
Acidification potential (AP)	kg SO_2 eq.	1,10E+00	1,31E+00
Eutrophication potential (EP)	kg PO_4^{3-} eq.	1,17E+00	1,18E+00
Energy (E)	MJ	5,17E+02	6,64E+02

3.5 Comparison of MS aggregate versus conventional one

The results obtained in the previous section allow comparing the aforementioned impacts with the ones referred to conventional aggregates, estimated by using the Ecoinvent (2015) Database (Table 2). Without taking into account other environmental indicators (for instance, the positive environmental impact associated with the use of waste, instead of sending it to landfills), the recycled solution has higher environmental impacts than the conventional one. In addition to the processes for removing organic debris, other reasons external to the production process make higher these emissions and the energy consumption. The low number of recycling centers in Galicia often involves long transportation distances. Furthermore, recycling factories have a low production volume, as the main destination of shells is still landfill (only 30,000 t per year of MS are processed compared to 80,000 t generated in Galicia). This situation would improve if most of the shell from canneries were employed after the corresponding recycling process. In that case, an increased activity would lead to higher profitability of recycling plants, and this could allow new investments for expanding those installations and modernizing the technologies employed.

4. Indicators for assessing construction systems incorporating MS

Despite of the previous comparative results, MS aggregate could have global sustainability advantages when compared to conventional aggregate, if additional environmental, social and economic indicators are considered. The authors are currently performing a wider analysis including other indicators that will be referred to here.

Achieving sustainability requires a holistic approach that balances economic (productive life) and environmental (life in harmony with nature) aspects, as well as social concerns (healthy life) (United Nations, 1992; Azapagic, 2003). Sustainability is being incorporated into products and services in many industries and businesses, and the construction industry is not an exception (Fernández-Sánchez & Rodríguez-López, 2010). However, real implementation by companies remains inadequate. Construction projects require application methods and tools for sustainability assessment (Tsai and Chang, 2012), considering wider sets of indicators for the three referred to pillars.

Table 2. Estimation of the main emissions and energy consumption for MS and conventional aggregates

Functional Unit: 1 metric ton of material		*Conventional Aggregate*	*Shell Aggregate*
Global warming potential (GWP)	kg CO_2 eq	6,30E+00	2,42E+02
Ozone layer depletion potential (ODP)	kg CFC11 eq	2,00E-07	1,38E-05
Acidification potential (AP)	kg SO_2 eq	3,80E-02	1,10E+00
Eutrophication potential (EP)	kg $PO4^{3-}$ eq	4,00E-03	1,17E+00
Photochemical oxidant formation potential (POFP)	kg C_2H_4 eq	6,00E-03	5,50E-02
Energy (E)	MJ	1,74E+02	5,17E+02

Sustainability indicators help decision makers to assess sustainable performance and reduce the amount of data (Hourneaux et al., 2014). They serve for translating sustainability issues into quantifiable measures of economic, environmental and social performance. Identification of relevant issues is critical in the development of indicators. Nevertheless, nowadays it can be very difficult or impossible to find real quantitative data related to specific social and even economic indicators. This leads to the consideration of qualitative ones, estimated by experts and normally expressed by means of semantic labels (high, medium, low).

In the following subsections, a set of indicators for assessing sustainability is proposed. This set is useful for construction systems that incorporate MS, regardless of their application. It is structured in three levels. The first one includes the indicators to be assessed. The criteria level organizes and structures the problem. There is an intermediate level (risk level) to facilitate the understanding and organization of the model. The indicators included should take into account not only the issues related to the MS by-product and its use in the construction sector, but also its influence on the canning industry, since its companies are provided with a tool for managing shell waste and saving money.

4.1 Environmental Dimension

Environmental indicators evaluate the status and evolution of certain environmental factors. They allow obtaining and analyzing information with the aim to assess impacts, take measures to prevent them, and monitor their compliance.

This must be done taking as reference environmental indicators commonly accepted by the international scientific community, related to energy and natural resources consumption,

pollution of air, water and earth, emissions directly hazardous to human health, use of natural areas, and waste production, among others.

However, it is necessary to include additional features considering the case study. Construction products require large volumes of aggregate and their production directly involves habitat alteration. Furthermore, large areas for storing are required for these materials.

MS is removed to landfills if not recycled. It also involves land use, which is environmentally harmful due to discharges that may occur. Another peculiarity is the odor the shell can give off during manufacturing and even during a short first part of the product life time. In this regard, two factors must be considered: odor intensity and durability. Table 3 contains sustainable indicators for the environmental dimension.

Table 3. Environmental indicators

Criteria	Risks	Indicators
Resources consumption (C1)	Materials consumption	Materials consumption
	Energy consumption	Total energy
		Renewable energy
Discharges (C2)	Eutrophication	$PO4^{3-}$ Eq. emissions
	Acidification	SO_2 Eq. emissions
Emissions (C3)	Global warming	CO_2 Eq. emissions
	Summer smog	C_2H_4 Eq. emissions
	Ozone layer depletion	CFC11 Eq. emissions
	Acoustic pollution	Noise
	Odor	Odor
Ecosystems (C4)	Habitat alteration	Habitat alteration
Environmental management (C5)	Certification of supplying companies	ISO 9000, ISO 14000 and EMAS certifications
Land use (C6)	Land use	Areas affected by material extraction and accumulation
Waste (C7)	Waste generation	Generation of solid urban waste
	Waste consumption	Use of recycled materials

There are seven criteria. C1 refers to the use of resources, both materials and energy. C2 and C3 refer to discharges and emissions to the air, land and water, generated both in the manufacturing process and the production of raw materials. Ecosystems (C4) involve the reduction of biodiversity rate and disappearance of species due to habitat alteration. Environmental management (C5) is related to the behavior of company in environmental matters. Land use (C6) is based on the necessary area for collection. Finally, the waste criterion (C7) considers the balance between generation and consumption of waste.

4.2 Economic Dimension

In general, the economic pillar considers aspects related to the costs of the life-cycle activities and processes. In this case, maintenance and waste management costs are beyond the scope of the cradle-to-gate analysis under development by the authors. Shell

valorization involves the conversion of a waste material in a product, saving costs associated to waste management. Table 4 includes the economic indicators under study.

Table 4. Economic Indicators

Criteria	Risk	Indicators
Cost (C8)	Direct cost	Price
Value distribution (C9)	Influence on input industry	Reduction in production costs of canneries

Firstly, direct costs (C8) for contractors are considered by means of the sale price of the by-product. As explained above, data has not been found about indirect costs associated with products that incorporate MS. Moreover, a criterion of value distribution (C9) is taken into account. In this way, the cost reduction in canneries, due to the difference between the cost of removing the shell to landfills and the potential income for selling that waste, is taken into account.

4.3 Social Dimension

The social pillar of sustainability considers a number of socio-cultural aspects related to society welfare. It is based on employment generation, equal opportunities and social equality, education and training, culture, defense of social rights, or local wealth, among other issues.

From a social point of view, the mussel-cannery industry is a long-established one in Galicia. It is a clear example of redistribution of income based on small and medium-sized family businesses with an employment generation of 11500 permanent jobs. Women also have a strong role in this industry. All these considerations certainly result in a social gearing contribution in the local context.

In addition, mussel waste accumulation in poorly equipped areas creates an undesirable visual effect with serious damages from an aesthetic and landscape perspective, together with unpleasant smell. It is important to remember that canneries are usually located in tourist areas. Therefore, the by-product alternative can benefit the public image of the cannery sector.

Frequently the social dimension is not adequately approached, due to the lack of analytical and theoretical foundations and, sometimes, to a lack of awareness (Vifell & Soneryd, 2012); and it is indispensable to give it the consideration that deserves. Nevertheless, the current crisis calls for a treatment that goes beyond what has been done so far. Moreover, social issues could establish considerable differences in this project.

Table 5 includes the proposed social indicators. First of all, employment and workers (C10) have been considered. The promotion of women's employment is also a relevant aspect, as the canning industry employs higher percentage of female workers than the construction sector. Employment quality should also be evaluated, taking into account salary levels and casualization of employment. An important indicator, counterproductive for the MS by-product, will be the absence of legislation and regulations for its use (C12). The use of local products (C14) is also taken into account. Finally, this proposal also considers the social indicators established by the Sustainability Appendix of the Spanish Structural Concrete Code (EHE-08; *Ministerio de la Presidencia*, 2008), grouped into the criteria of citizens (C11) and innovation (C14).

Table 5. Social Indicators

Criteria	Risks	Indicators
Employment and employees (C10)	Unemployment	Employment generation
		Promotion of women's employment
	Employment quality	Temporary work
		Salary level
	Workplace accidents	Voluntary health and safety measures
		Accidents at work
	Training	Employee training
Citizens (C11)	Information and interest	Public information website about the project
		Project declared of general interest by Public Administration
Legislation and regulations (C12)	Absence of specific legislation	Laws, regulations, standard codes related to the product
Innovation (C13)	Innovation	Application of innovative methods resulting from R&D projects.
Local wealth (C14)	Local wealth	Use of local materials

5. Conclusions and future work

Recycling activities are commonly shown to have lower environmental impact than the production of the corresponding goods from raw materials. This work presented an emissions and energy consumption LCA for MS valorization. Its results show that the MS aggregate production has higher impacts than those for producing conventional aggregate. However, the decisions should be made bearing in mind a global sustainability view. On the one hand, it is necessary to introduce additional environmental indicators, as depletion of natural resources, waste consumption and generation, habitats alteration, or land use.

On the other hand, the management of mussel waste has been assessed from a mere environmental perspective in other studies, whereas the potential economic and social aspects have not been analyzed. This will give a definitive answer to the question here posed both, from a general sustainability perspective, and from a pure environmental one.

This paper attempts to address this gap by identifying the key indicators related to MS valorization. On the basis of this work, future research can be approached in order to quantitatively assess the effectiveness and adequacy of the use of MS by-products in the construction sector. Methods for integrating different indicators' assessment can be used, such as the Analytic Hierarchy Process (AHP) or the MIVES method (Integrated Value Method for Evaluating Sustainability). It should be considered that there is always some degree of uncertainty about the real values of the proposed indicators. This could be dealt with using probabilistic simulation methods.

6. References

Anink, D., Mak, J. & Boonstra, C. (1996). *Handbook of Sustainable Building. An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment*. London: Earthscan.

Azapagic, A. (2003). Systems approach to corporate sustainability: a general management framework. *Process Safety and Environmental Protection*, *81*(5), 303-316.

Azapagic, A. (2004). Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. *Journal of cleaner production*, *12*(6), 639-662.

Ballester, P., Mármol, I., Morales, J., & Sánchez, L. (2007). Use of limestone obtained from waste of the mussel cannery industry for the production of mortars. *Cement and concrete research*, 37(4), 559-564.

Barros, M. C., Bello, P. M., Bao, M., & Torrado, J. J. (2009). From waste to commodity: transforming shells into high purity calcium carbonate. *Journal of Cleaner Production*, 17(3), 400-407.

Cline JA, McKenna G. (1996) Utilization of zebra mussel shells as a soil conditioner, liming agent and mulch for agricultural soil. In: *Sixth international zebra mussel and other aquatic nuisance species conference.* Dearborn, Michigan.

EcoInvent Center [Internet]. The Ecoinvent Database. Duebendorf, Switzerland: EcoInvent Center. Accessed 2 March 2015. Available from: http://www.ecoinvent.org

Erlandsson, M., Lindfords, L. G., & Ryding, S. O. (2005). Product category rules (PCR) for building products on an international market. *IVL Swedish Environmental Research Institute Report, Stockholm, Sweden*.

European Commission. Communication from the Commission: Taking sustainable use of resources forward: A thematic strategy on the prevention and recycling of waste. COM (2005) 666 final. European Commission, Brussels, Belgium.

European Union. Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on waste. *Official Journal of the European Union* 2006; 114, 9–14.

European Union. Directive 2011/70/Euratom of 19 July 2011 establishing a Community Framework for the Responsible and Safe Management of Spent Fuel and Radioactive Waste. *Official Journal of the European Union;* 199, 48-56

Fernández-Sánchez, G., & Rodríguez-López, F. (2010). A methodology to identify sustainability indicators in construction project management - Application to infrastructure projects in Spain. *Ecological Indicators*, *10*(6), 1193-1201.

Galicia. Consellería do medio rural e do mar. [Internet] Anuario de acuicultura (2012). Consulted 12 November 2014] Available in: http://www.pescadegalicia.com/Publicaciones/AnuarioAcuicultura2012

Hourneaux, F., Hrdlicka, H. A., Gomes, C. M., & Kruglianskas, I. (2014). The use of environmental performance indicators and size effect: A study of industrial companies. *Ecological Indicators*, *36*, 205-212.

Iribarren, D. (2010). Life Cycle Assessment of mussel and turbot aquaculture. Application and insights. Doctoral Thesis. Available in: http://dspace.usc.es/handle/10347/2812.

Iribarren, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2010). Implementing by- product management into the Life Cycle Assessment of the mussel sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(12), 1219-1230.

Lozano, S., Iribarren, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2009). The link between operational efficiency and environmental impacts: a joint application of Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis. *Science of the total environment*, *407*(5), 1744-1754.

Ministerio de la Presidencia (2008), Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-2008). Boletín Oficial del Estado (BOE, Spain) Nº 203, de 22 de agosto de 2008, pp. 35176-8. Anexo 13 de dicha instrucción, pp. 487-504.

Scottish Environment Protection Agency, 2005. Aquaculture Waste Minimization Guide, first ed. Scotland

Tsai, C. Y., & Chang, A. S. (2012). Framework for developing construction sustainability items: the example of highway design. *Journal of Cleaner Production*, *20*(1), 127-136.

Tsai, C. Y., & Chang, A. S. (2012). Framework for developing construction sustainability items: the example of highway design. *Journal of Cleaner Production*, *20*(1), 127-136.

United Nations (1987) “Our Common Future” (Brundtland Report). United Nations World Commission on Environment and Development (WCED).

United Nations (1992) “Rio Declaration on Environment and Development.” *United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)*. Río de Janeiro, Brasil.

Vifell, Å. C., & Soneryd, L. (2012). Organizing matters: how ‘the social dimension ‘gets lost in sustainability projects. *Sustainable Development*, *20*(1), 18-27.

Yang, E-I., Yi, S-T., Leem, Y-M. (2005) Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties. *Cement and Concrete Research*, 35 (11), 2175-2182.

Yuan, H. (2013). Key indicators for assessing the effectiveness of waste management in construction projects. *Ecological Indicators*, *24*, 476-484.

02-010

URBAN AND REGIONAL INNOVATION FROM FINAL DEGREE PROJECTS IN GRANADA

Grindlay Moreno, Alejandro Luis; Molero Melgarejo, Fco. Emilio; Rodríguez Rojas, María Isabel Universidad de Granada

Experience and innovations in urban and regional mater projects developed since final degree projects directed by professors of the Department of Urbanism of the Civil Engineering School of the University of Granada are presented. In addition to traditional Partial Plans and Urbanization Projects, conducted for various areas of Spanish cities, has been a constant move towards new themes and instruments in this area to be developed from the PFC. So one of the most powerful new tools will be used Geographic Information Systems. These will be used to improve the previous studies of construction projects, such as determining the territorial capacity, alternative studies, or to prepare technical reports such as: Impact Studies and Landscape Integration, Hydrologic-Hydraulic, territorial and foresight transformation of accessibility, etc. UAV applications of technology are also studied. We have also developed and considered various thematic reports and / or cooperation projects, studies and projects such as mobility, urban services, etc. They all show finally how the development of final degree projects has been essential for innovation in urban planning and zoning, with the collaboration of the students.

Keywords: *Final Degree Projects; Urban and Regional Planning; GIS*

INNOVACIÓN URBANÍSTICA Y TERRITORIAL DESDE LOS PROYECTOS DE FIN DE CARRERA DE LA E.T.S.I. DE CAMINOS DE GRANADA

Se presentan la experiencia e innovaciones en materia de urbanismo y ordenación territorial desarrolladas desde los Proyectos de Fin de Carrera dirigidos por los profesores del Departamento de Urbanística y O.T. de la E.T.S. de Ingeniería de Caminos, C. y P. de la Universidad de Granada. Además de los tradicionales Planes Parciales y Proyectos de Urbanización, realizados para diversos ámbitos de ciudades españolas, ha sido una constante el avanzar hacia nuevas temáticas e instrumentos en esta materia a desarrollar desde los PFC. Así una de las herramientas novedosas más potentes empleadas serán los Sistemas de Información Geográfica. Estos serán utilizados para mejorar los estudios previos de Proyectos constructivos, como determinar la Capacidad de Acogida, estudios de alternativas, o bien para elaborar Informes Técnicos tales como: Estudios de Impacto e Integración Paisajística, Hidrológico-Hidráulicos, de Transformación y prospectiva territorial, de accesibilidad, etc. También se estudian aplicaciones de la tecnología VANT. Además se han considerado diversas temáticas desarrolladas como Informes y/o Proyectos de Cooperación, tales como estudios y proyectos de movilidad, de servicios urbanos, etc. Todos ellos muestran, finalmente, cómo el desarrollo de PFC han sido elementos esenciales para la innovación en materia de urbanismo y ordenación territorial, con la colaboración del alumnado.

Palabras clave: *PFC; Urbanística y Ordenación Territorial; SIG*

Correspondencia: Alejandro Luis Grindlay grindlay@ugr.es

1. Introducción

El aprendizaje orientado a proyectos (Project Based Learning o PBL), ha sido el tradicionalmente desarrollado en la enseñanza en ingeniería, particularmente en el tradicional Proyecto Fin de Carrera (en adelante PFC) que significa la culminación de los estudios. Esta modalidad metodológica se fundamenta en el aprendizaje vía experiencia personal, con la necesidad que lleva ello consigo de procesos reflexivos por parte de los alumnos, y donde tiene una gran importancia el proceso investigador alrededor de unos puntos de partida, con la finalidad de resolver problemas complejos a partir de soluciones abiertas o abordar temas difíciles que permitan adquirir más conocimientos y habilidades por parte de los estudiantes (De Miguel, 2006).

Entre los aspectos relevantes del aprendizaje orientado al proyecto se puede destacar que es un aprendizaje orientado a la acción, no se trata sólo de aprender “acerca” de algo (como ocurre en el aprendizaje basado en problemas), sino en “hacer” algo, además, el propio enfoque del proyecto obliga al estudiante a acudir a fuentes externas a las tradicionales, generando así la necesidad de poder discriminar la naturaleza, utilidad y veracidad de la documentación encontrada. Finalmente, la obligación de concluir el proceso de aprendizaje con “un proyecto” obliga a los alumnos a concretar, madurar, presentar y defender las distintas soluciones que componen el documento final (De Miguel, 2006).

Por su propia naturaleza, este es el método que más se ha empleado en las sesiones prácticas de las materias del Dpto. de Urbanística y Ordenación del Territorio en la Escuela de Ingeniería de Caminos de Granada sobre los guiones inicialmente preparados por el Prof. Gómez Ordóñez y que, por desarrollarse como trabajos en grupos de alumnos, incluían aspectos del método de aprendizaje cooperativo (Gómez et al., 2003; Hernández & Grindlay, 2004). Además en otras Escuelas se ha empleado igualmente para la renovación de la docencia (Méndez et al., 2007).

Como los definió Thomas (2000) respecto al PBL, los proyectos son “tareas complejas basadas en problemas desafiantes que involucran al alumno en el diseño, la solución de problemas, la toma de decisiones o en actividades de investigación, y que dan la oportunidad a los alumnos de trabajar de manera relativamente autónoma durante periodos de tiempo extensos para culminar productos o presentaciones realistas”. Los problemas utilizados en esta metodología deben ser complejos y no tener solución única. Deben ser flexibles y permitir diferentes aproximaciones. La solución final debe ser alcanzada a través de la discusión, la prueba de diversas alternativas, la corrección y mejora de soluciones previas en lugar de encontrar soluciones de manera directa y única. Naturalmente, los proyectos de ingeniería civil y las prácticas de urbanística y ordenación territorial encajan perfectamente en esta metodología.

Así pues el profesorado del Dpto. de Urbanística y Ordenación del Territorio en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Granada, ha estado comprometido con la innovación en materia de urbanismo y ordenación territorial en el empleo de esta metodología de enseñanza, y siempre en la transición entre docencia e investigación (Canziani, 2012). Precisamente, fruto de este empeño ha sido el desarrollo de un Proyecto de Innovación Docente denominado "Aplicación de las TICs a la enseñanza del urbanismo y la ordenación del territorio en la ingeniería civil" (Rodríguez et al., 2012). Asimismo ha estado implicado en la dirección y tutorización de PFC, tratando de hacer también de estos trabajos elementos de innovación en materia de urbanismo y ordenación territorial, experiencia que se recoge en la presente comunicación.

2. Innovación en materia de urbanismo y ordenación territorial desde de los PFC

Además de los tradicionales Planes Parciales y Proyectos de Urbanización realizados para diversos ámbitos urbanizables de ciudades españolas, ha sido una constante del profesorado de urbanística y ordenación territorial el avanzar hacia nuevas temáticas e instrumentos en esta materia a desarrollar desde los PFC realizados por los estudiantes de ingeniería de caminos, en el marco de los campos de investigación universitaria de este área de conocimiento (Temes, 2009).

No obstante, en aquellos proyectos siempre se ha tratado de añadir algún elemento de complejidad, como la resolución del acceso o el enlace al suelo urbanizable a ordenar y proyectar o, como en el caso del "Estudio de Ordenación y Proyecto de Urbanización de la conexión urbano-portuaria en Motril", incrementar la relación puerto-ciudad.

La amplia temática que las cuestiones en materia de urbanística y ordenación territorial se abordan desde los proyectos de ingeniería de caminos, se pueden englobar en diversos campos temáticos: sobre el uso de los Sistemas de Información Geográfica; en torno al agua y el territorio, y los servicios urbanos; y sobre transportes y movilidad.

2.1. PFC y el uso de los Sistemas de Información Geográfica

Una de las herramientas novedosas más potentes empleadas en el desarrollo de los PFC serán los Sistemas de Información Geográfica (en adelante SIG).

La enseñanza del urbanismo ha estado muy vinculada desde sus orígenes al empleo de diferentes cartografías (topografía, usos del suelo, infraestructuras de comunicación, drenaje y masas de agua, asentamientos urbanos,…) necesarias para llevar a cabo los análisis y diagnósticos territoriales así como las propuestas que conforman los Planes de Ordenación del Territorio.

La utilización generalizada de estas cartografías temáticas 'en papel' ha dado paso en los últimos años a una continua 'digitalización y vectorización' de las mismas generando una cantidad ingente de información cartográfica disponible en diferentes servidores web's y bases de datos. Sin embargo, el acceso a esta información no está carente de dificultades, pues muchas de ellas se encuentran dentro de las web's de organismos oficiales o requieren de peticiones concretas que los estudiantes generalmente no suelen conocer.

Por otro lado, la utilización de esta información requiere de un Software específico, como los SIG, que permita no sólo su visualización sino también su procesamiento, teniendo éste innumerables aplicaciones en la ingeniería en general y en el urbanismo en particular; modelos digitales de terreno, modelos de ocupación del suelo y crecimiento urbanos, análisis de accesibilidad, modelos hidrológicos, etc.

Por todo ello, resulta imprescindible que los estudiantes de Ingeniería conozcan por un lado, las fuentes de información cartográficas digitales más importantes existentes y su modo de acceso, y por otro algunas nociones básicas de los SIG que permitan su procesamiento, con el fin de mejorar su aprendizaje y hacer más eficiente su trabajo, pues el empleo de las TIC supone un ahorro de tiempo considerable que el alumno puede utilizar para realizar un mejor trabajo.

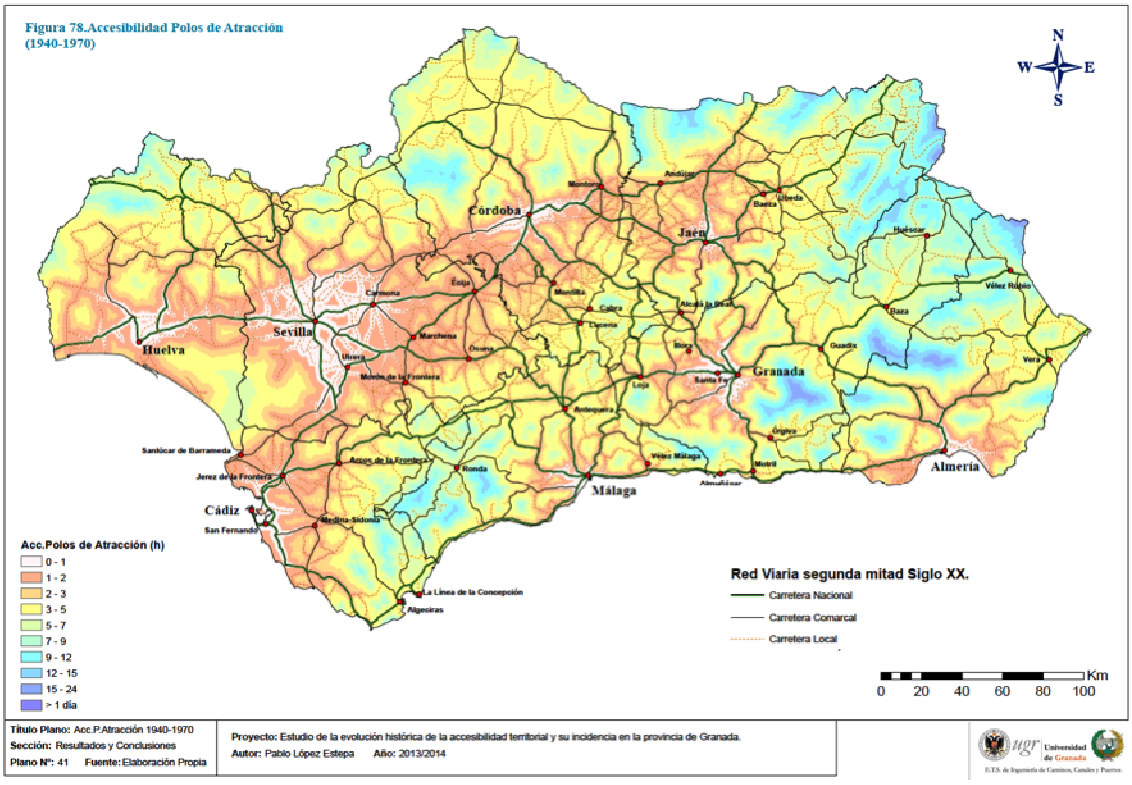
Así, el objetivo principal de esta experiencia docente ha sido proporcionar a los alumnos las TIC'S necesarias para acceder y procesar la información digital cartográfica que permitan mejorar su rendimiento en las asignaturas del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio y en sus PFC, así como proporcionarles las herramientas que se utilizan hoy día en la planificación territorial y que utilizarán a lo largo de su vida profesional (Rodríguez et al., 2012).

En este ámbito el alumnado ha demostrado su pericia en el uso de las herramientas de los SIG, y en sus posibilidades de análisis y de representación gráfica que estos sistemas proporcionan sobre la modelización de procesos relacionados con la planificación territorial y urbanística, tales como la accesibilidad o los flujos hídricos. Particularmente, respecto a la **accesibilidad territorial** y su evolución en el tiempo, el denominado gradiente de accesibilidad, es tratado en varios PFC con el objetivo de poner de manifiesto su influencia en las transformaciones urbanas y territoriales (Molero et al., 2007) (Tabla 1).

Tabla 1. Proyectos sobre 'Modelización de la Accesibilidad Territorial'

Estudio de la evolución histórica de la accesibilidad territorial y su incidencia en la Provincia de Granada
Transformación territorial inducida por la variación de accesibilidad en el ámbito del Valle de Lecrín (Granada)
Transformación territorial inducida por la autovía Badajoz-Córdoba-Granada en el ámbito de Alcalá la Real.
Estudio de las Alternativas de trazado del Cierre del anillo en Granada: Perspectivas territoriales y Urbanísticas
Informe sobre la accesibilidad peatonal a los centros de educación primaria de la ciudad de Granada: Objetivo Five Minutes City

Figura 1: Análisis de Accesibilidad Territorial en Andalucía (centros etapa 1940-1970)

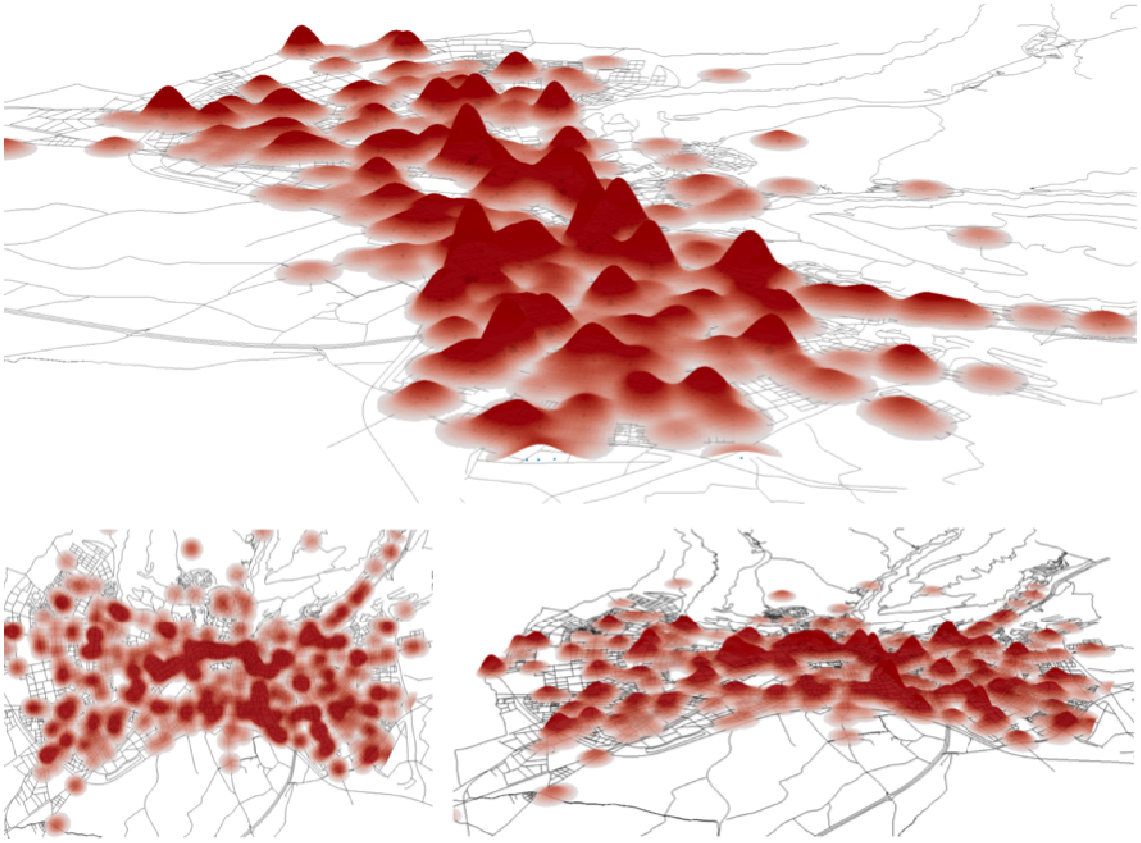


Fuente: López, P. (2014). "Estudio de la evolución histórica de la accesibilidad territorial y su incidencia en la Provincia de Granada".

La generación de novedosos indicadores de accesibilidad ligados a las diferentes "fricciones" del territorio permite, en algunos trabajos que estudian las infraestructuras

viarias existentes desde la antigüedad, evaluar al medio físico como un importante factor limitante en el ámbito andaluz, y condicionante de los diferentes desarrollos y su localización (Grindlay et al., 2014) (Figura 1). Esta modelización de la accesibilidad, conjugada con la visibilidad (cuencas visuales) y otras variables territoriales, permiten evaluar alternativas empleando metodologías de análisis multicriterio como ayuda del proceso de toma de decisiones en los proyectos. Otra línea de trabajos desarrolla la modelización de variables en entornos urbanos, y la generación de cartografías novedosas que permiten diferentes lecturas de la movilidad urbana (Figura 2), o el uso de los modernos drones (tecnología VANT) y sus aplicaciones en la planificación urbanística, territorial e infraestructural.

Figura 2: Cartografías de la densidad de accidentes de tráfico totales en Granada (2011)



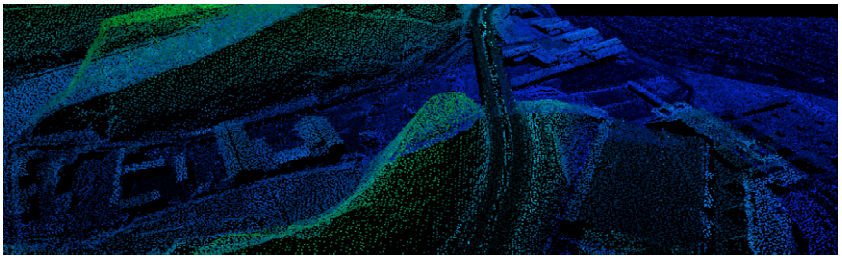
Fuente: Cánovas, A. (2014). “Cartografías de densidad: Nuevas lecturas de la ciudad de Granada para una movilidad sostenible”.

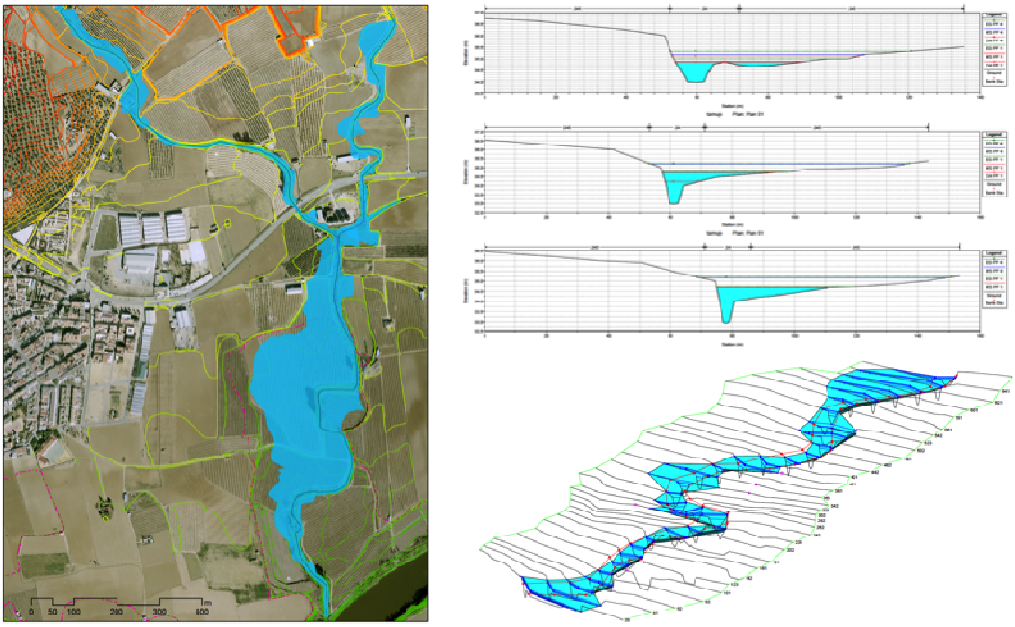
Por otro lado, y también relacionadas con el siguiente apartado, la **modelización fluvial** y la obtención de superficies inundables en entornos urbanos permiten la evaluación de las posibles afecciones urbanísticas en los procesos de planificación con avances en las cartografías de inundabilidad asociadas a los planeamientos urbanísticos (Figura 3), y como elementos para mejorar la integración entre la planificación hídrica y la territorial (Grindlay, 2012). En este sentido, los alumnos manejan variables hidrológicas para la modelización de la escorrentía superficial, estudiando la influencia del cambio de los usos del suelo en la escorrentía superficial en determinadas cuencas, así como algoritmos hidráulicos para obtención de calados sobre Modelos Digitales de Terreno de gran precisión (Lidar), utilizando para ello el software más avanzado de modelización hidráulica (1D y 2D), y valorando la influencia de la resolución de los Modelos de Elevaciones en la misma (Tabla 2).

Tabla 2.Proyectos sobre 'modelización fluvial'

Variación del umbral de escorrentía en la cuenca del Guadalquivir (1956-2013)
Estudio Hidrológico-Hidráulico de los cauces afectados por el planeamiento de Alcolea del río (Sevilla)
Estudio Hidrológico-Hidráulico de los cauces afectados por el planeamiento de Castro del Río (Córdoba)
Avances en las cartografías de Inundabilidad asociadas al planeamiento urbanístico: Influencia de la resolución de los Modelos de Elevaciones en la modelización hidráulica (1D y 2D)

Figura 3: Modelización fluvial en entornos urbanos. Modelo Lidar. Llanura de inundación y secciones transversales





Fuente: Di Martino, A. (2014). Estudio Hidrológico-Hidráulico de los cauces afectados por el planeamiento de Alcolea del Río (Sevilla)

2.2 PFC en torno al agua y el territorio, y los servicios urbanos

Los PFC de temática relativa al agua y el territorio han sido fundamentalmente sobre planificación y protección territorial de espacios fluviales (Tabla 3).

Estos han tenido como objetivo principal formar a los estudiantes en el enfoque innovador de la gestión integrada de espacios fluviales, incorporando la ordenación del territorio como una herramienta fundamental para la protección de inundaciones, pero también como una estrategia para la recuperación y re-naturalización de estos espacios (Rodríguez et al., 2011a y b).

Tabla 3. Proyectos sobre 'Planificación y protección territorial de espacios fluviales'

Planificación y protección territorial del espacio fluvial en el río Genil.
Plan de Ordenación de usos del embalse de los Bermejales.
Planificación de espacios agro-fluviales y restauración del cauce del río Genil en la vega de Granada.
Estudio sobre la ordenación de los espacios agrícolas del delta del río Guadalfeo en Granada.
Ordenación del espacio fluvial del río Palmones.
Planes de ordenación territorial en espacios fluviales: normativas y recomendaciones.
Parque Metropolitano inundable para laminación de avenidas del río Monachil en la Vega Sur de Granada.

Otra temática importante tratada por los PFC dirigidos en el Departamento de Urbanística, ha sido la relacionada con los servicios de bajo coste en el marco de la cooperación al desarrollo (Tabla 4). En este sentido, estos proyectos han pretendido acercar a los alumnos el problema de las ciudades y de sus servicios urbanos en aquellos lugares más desfavorecidos, donde las soluciones tradicionales no son viables, debiendo buscar alternativas de menor coste que sirvan para disminuir la marginalidad y mejorar la calidad de vida de todos los habitantes.

Tabla 4. Proyectos sobre 'servicios de bajo coste en el marco de la cooperación al desarrollo'

Abastecimiento de la comunidad aborigen de San Felipe en el término municipal de Santa Victoria (Argentina).
Plan de rehabilitación y mejora de los terrenos inundables del barrio de San Jerónimo, Cuzco, Perú.
Servicios urbanos de bajo coste en el barrio de San Jerónimo, Cuzco, Perú.
Servicios urbanos de bajo coste y reordenación urbana en el barrio de Olof Palme, Managua, Nicaragua.
Recualificación de la comunidad de Carachimayo (Bolivia) mediante la recuperación de técnicas de origen Inca.

También han sido abordados proyectos relacionados con los nuevos servicios urbanos, en concreto, con los denominados Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Tabla 5). Estos trabajos acercan a los futuros ingenieros el problema de la continua impermeabilización de las ciudades y las inundaciones urbanas que ello ocasiona, analizando soluciones más integradoras en las que el diseño urbano de calles y espacios públicos se está considerando hoy en día como una estrategia eficaz para mejorar la relación entre el agua y las ciudades además de para la regeneración ambiental de las mismas.

Tabla 5. Proyectos sobre 'Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible'

Proyecto de reformas en el sistema de evacuación de aguas de lluvia para la regeneración ambiental de la ciudad de Antequera.
Estudio de Experiencias de aplicación al planeamiento de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en España.
Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en EE.UU. Experiencias y resultados obtenidos.
Desarrollo de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en Reino Unido; casos de aplicación y resultados.
Estudio de indicadores urbanos y sostenibilidad; una herramienta para la planificación urbanística.

2.3 PFC sobre transportes y movilidad

Con relación a la temática sobre transportes y movilidad los PFC dirigidos han estado orientados hacia la movilidad sostenible y la integración urbana de estos modos, con proyectos constructivos sobre modos de transporte sostenible, como implantación de líneas de metros ligeros, redes de vías ciclistas, vías verdes, y caminos naturales. Asimismo, en la modalidad de Informes Técnicos se han abordado planes de movilidad urbana sostenible desde su avance y seguimiento (Lizárraga & Grindlay, 2012), o también el estudio de las posibilidades del transporte ferroviario de mercancías, del Impacto territorial de ese corredor ferroviario, además del papel de la implantación de los sistemas de metro ligero y la renovación urbana, suponiendo todos ellos importantes avances en la mejora de la calidad de ciudades y territorios. (Tabla 6).

Tabla 6. Proyectos sobre 'transportes y movilidad'

Estudio y proyecto para la implantación de una línea de metro ligero en la costa de Granada.
Estudio y Proyecto de la red de carril bici de la ciudad de Granada.
Estudio de la conexión y proyecto del metro ligero Sevilla-Alcalá de Guadaira y su integración en el T.M. de Alcalá de Guadaira (Sevilla).
PP y PU e integración urbana del metro ligero en unidad de actuación (PP-N3) Granada.
Estudio de las posibilidades del transporte ferroviario de mercancías en el Puerto de Motril.
Proyecto de la Vía Verde-Úbeda. Tramo de Begíjar a Villacarrillo.
Proyecto Constructivo de camino natural del Canal de Carlos III y de Bugéjar.
Estudio de la implantación de los sistemas de metro ligero y la renovación urbana en Europa: Análisis y Propuestas para futuros sistemas.
Estudio del Impacto territorial del corredor ferroviario de altas prestaciones en estudio Granada-Puerto de Motril.
Estudio de la movilidad en los Juegos Olímpicos. Valoración de la propuesta de Estambul 2020.
Evaluación y seguimiento del Plan de Movilidad Urbana Sostenible en Granada.
Avance del plan de Movilidad Urbana Sostenible de Santa Fé (Granada).

3. Resultados de la experiencia docente

Los resultados de esta experiencia muestran cómo, desde el punto de vista docente, esta metodología verifica los criterios fundamentales que se han de cumplir para poder considerarla como orientada a proyectos o PBL y que, siguiendo a Thomas (2000), son los siguientes:

- Centralidad. Los proyectos son parte fundamental del currículo, es decir, a través de ellos, los alumnos aprenden conceptos fundamentales. De ahí su carácter de PFC.
- Dirigidos por los problemas. Los proyectos se centran en problemas que conducen a los estudiantes hacia el encuentro de varios de los principios y conceptos básicos de la disciplina. Así, el problema o proyecto a resolver se convierte en el hilo conductor que enlaza conocimientos de diversas áreas de ingeniería como la planificación territorial con el agua o la movilidad.
- Investigación constructiva. El proyecto está orientado hacia objetivos que incluyen la investigación, la construcción del conocimiento, y la resolución del problema. Las actividades centrales del proyecto han debido suponer una dificultad y, para resolverlo, los alumnos han debido "construir" nuevos conocimientos. Por ello ha sido siempre importante huir de la simple aplicación de recetas o soluciones establecidas.
- Dirigidos por los alumnos. Los proyectos deben incorporar una buena dosis de autonomía del estudiante, libertad de elección y toma de decisiones, trabajo no supervisado y responsabilidad por parte del alumno. Aunque evidentemente, el profesor ha estado y está siempre detrás para dar soporte y orientar el proceso, el liderazgo ha de ser de los alumnos.
- Realistas. Los proyectos deben trasmitir una sensación de realidad a los alumnos lo que hace que se involucren más profundamente y los resultados alcanzados sean mejores. En este sentido, lo ideal es, como se ha hecho, trabajar con casos reales, aunque a veces haya sido necesario simplificar el proyecto para hacerlo abarcable para un alumno u otras veces complicarlo para añadirle interés para alcanzar los objetivos de aprendizaje. No obstante, la mayor libertad y flexibilidad que da trabajar en un contexto académico respecto a la realidad profesional permite planteamientos más innovadores y arriesgados.

4. Conclusiones

A modo de síntesis final se puede afirmar que esta experiencia docente desarrollada desde los Proyectos de Fin de Carrera dirigidos por los profesores del Departamento de Urbanística y O.T. de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Granada verifica los criterios fundamentales que se han de cumplir para poder considerarla como aprendizaje orientado a proyectos.

Además de para propia la formación de los futuros ingenieros, los PFC pueden ser elementos para la innovación en materia de urbanismo y ordenación territorial en los campos de investigación de este área de conocimiento, que abordan una variedad muy amplia de cuestiones, tales como:

- La utilización de los Sistemas de Información Geográfica para mejorar los estudios previos de proyectos constructivos, determinando la capacidad de acogida del territorio mediante evaluación multicriterio, en estudios de alternativas de trazado, estudios de Impacto e integración paisajística y visual, estudios hidrológico-hidráulicos de los cauces afectados por el planeamiento, estudios de transformación y prospectiva territorial, de accesibilidad, etc. En este sentido se han producido avances en las cartografías de inundabilidad, valorando la influencia de la resolución

de los Modelos de Elevaciones en la modelización hidráulica, y la influencia del cambio de los usos del suelo en la escorrentía superficial, así como las posibles aplicaciones que ofrecen el uso de las nuevas tecnologías de los drones (VANT).

- Respecto a la gestión integrada de espacios fluviales, incorporando la ordenación del territorio como una herramienta fundamental para la protección de inundaciones, pero también como una estrategia para la recuperación y re-naturalización de estos espacios; otros relacionados con los servicios de bajo coste en el marco de la cooperación al desarrollo, buscando alternativas de menor coste que sirvan para disminuir la marginalidad y mejorar la calidad de vida de los habitantes; o analizando soluciones más integradoras del drenaje urbano en las que el diseño urbano de calles y espacios públicos se está considerando como una estrategia eficaz para mejorar la relación entre el agua y las ciudades, además de lograr la regeneración ambiental de las mismas.
- Respecto a la movilidad y la integración urbana de los modos de transporte sostenibles (líneas de metros ligeros, redes de vías ciclistas, vías verdes, y caminos naturales), el planeamiento de la movilidad urbana sostenible, o las posibilidades del transporte ferroviario de mercancías y el impacto territorial de sus corredores, suponen significativos avances en la mejora de la calidad de ciudades y territorios.

Todos ellos muestran, finalmente, cómo el desarrollo de PFC han sido elementos esenciales para la innovación en materia de urbanismo y ordenación territorial, con la valiosa colaboración del alumnado.

5. Referencias

Canziani, J. (2012). Travesías entre la investigación y la docencia. *En Blanco & Negro. Revista sobre docencia Universitaria 3*, 2, 54-59. Disponible en http://ezproxybib.pucp.edu.pe/index.php/enblancoynegro/article/view/3864

De Miguel Díaz, M. (Coord.) (2006). *Metodologías de enseñanza y aprendizaje para el desarrollo de competencias. Orientaciones para el profesorado universitario ante el espacio europeo de educación superior*. Madrid: Alianza editorial.

Gómez Ordóñez, J.L., Hernández Gómez-Arboleya, E., Ferrer Moreno, P., Grindlay Moreno, A.L. & Valenzuela Montes, L.M. (2003). Una perspectiva urbanístico-territorial de la docencia de ingeniería de caminos. *Congreso Internacional de Enseñanza en Ingeniería Civil*. Universidad de Castilla-la Mancha, Ciudad Real.

Grindlay Moreno, A.L. (2012). Integration of Hydrological and Regional and Urban Planning in Spain. En Burian, J. (Ed.), *Advances in Spatial Planning,* (pp. 331-366), Rijeka: InTech. Obtenido en http://cdn.intechopen.com/pdfs/33258/InTech-Integration_of_hydrological_and_regional_and_urban_planning_in_spain.pdf

Grindlay Moreno, A.L. (Inv. Ppal.) (2014). *El valor de las carreteras provinciales: estudio económico sobre el dominio público viario de la Diputación de Granada*. Granada: Diputación de Granada.

Hernández Gómez-Arboleya, E., & Grindlay Moreno, A.L. (2004). La enseñanza de la Ingeniería Civil, el territorio y el medioambiente, a través de muestra experiencia docente cotidiana. En Actas del II Congreso internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio

Ambiente. Santiago de Compostela. Obtenido de http://www.ciccp.es/biblio_digital/Icitema_II/partes/volumen_III/VI_Comun12.pdf

Lizárraga Mollinedo, C. & Grindlay Moreno, A.L. (2012). Hacia un modelo de movilidad urbana sostenible en Andalucía. *ACTUALIDAD CENTRA* 65, 1-33. Disponible en http://www.centrodeestudiosandaluces.es/index.php?mod=publicaciones&cat=18&id=2665&ida=0&idm=

Méndez Martínez; J.M., Ureña Francés, J.M. & Coronado Tordesillas, J.M. (2007) Experiencias de renovación de los métodos docentes. La Escuela de Caminos de Ciudad Real. En *Actas del V Congreso Nacional de la Ingeniería Civil*, CICCP, Sevilla. Obtenido de http://www.ciccp.es/biblio_digital/V_Congreso/congreso/pdf/030510.pdf

Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A.L., Asensio Rodríguez J.J. (2007). Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 7, 120-147. Obtenido de http://geofocus.rediris.es/2007/Articulo7_2007.pdf

Rodríguez, M.I., Cabrera, D., Cordero, L., Martínez, C., Grindlay, A.L. (2011a). Evolución de los usos del suelo en el espacio fluvial del río Genil en la vega de Granada: oportunidades y riesgos. En *Actas del. VII Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del agua*, Fundación Nueva Cultura del Agua, Talavera de la Reina. Obtenido de http://www.fnca.eu/images/documentos/VII%20C.IBERICO/Comunicaciones/A3/25-Rodriguez.pdf

Rodríguez, M.I., Cabrera, D., Cordero, L., Martínez, C., Grindlay, A.L. (2011b). Protección de los espacios fluviales, corredor del río Genil en la vega de Granada. En *Actas del VII Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del agua.* Fundación Nueva Cultura del Agua, Talavera de la Reina. Obtenido de http://www.fnca.eu/images/documentos/VII%20C.IBERICO/Comunicaciones/A3/26-RodriguezIsa.pdf

Rodríguez Rojas, M.I., Molero Melgarejo, E. & Grindlay Moreno, A.L. (2012). *Aplicación de las TICs a la enseñanza del urbanismo y la ordenación del territorio en la ingeniería civil*. Granada: Universidad de Granada, Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio. Disponible en http://hdl.handle.net/10481/23829

Temes Córdovez, R.R. (2009). *La investigación universitaria en el área de conocimiento "Urbanística y Ordenación del Territorio"*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Disponible en http://hdl.handle.net/10251/11115

Thomas, J.W. (2000). *A review of research on Project Based Learning*. The Autodesk Foundation. Obtenido de http://www.bobpearlman.org/BestPractices/PBL_Research.pdf

02-012

ANALYSIS OF THE USE OF TECHNIQUES AND TOOLS OF PROJECT MANAGEMENT IN CONSULTING FIRMS IN THE VALENCIAN CONSTRUCTION SECTOR

Navarrete Espert, Silvia [1]; Fuentes Bargues, José Luis [2]; González Cruz, Mª Carmen [2]; Ballesteros López, Pablo [3]

[1] Máster Dirección y Gestión de Proyectos. Universitat Politècnica de València, [2] Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universitat Politècnica de València, [3] Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción. Universidad de Talca

The singularity and complexity of construction projects, in both residential and industrial sector have generated that consulting firms have to form multidisciplinary teams to carry out these projects. To coordinate these teams and achieve the project objectives are necessary to apply a series of techniques and tools of project management in each and every phase of projects. In the consulting firms of architecture and engineering, works of various kinds are made, from mere drafting of project documents, passing by the control and management of the contracting process until the integrated management of the whole construction process at turnkey projects. The object of this paper is to analyze the use of the techniques and tools of project management in the consulting firms of the construction sector in Valencian Community.

Keywords: *Project Management; Construction; Valencian Community; Project Management Tools; Consulting Firms*

ANÁLISIS DE LA UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS EN CONSULTORÍAS DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN VALENCIANO

La singularidad y la complejidad de los proyectos del sector construcción, tanto residenciales como industriales, ha generado que las consultorías tengan que formar equipos multidisciplinares para llevar a cabo estos proyectos. Para coordinar estos equipos y conseguir los objetivos de los proyectos es necesario aplicar una serie de técnicas y de herramientas de gestión y dirección en todas y cada una de las fases de los proyectos. En las consultorías, tanto de arquitectura como de ingeniería, se realizan trabajos de diversa índole, desde la mera redacción de los documentos del proyecto, pasando por el control y gestión del proceso de contratación hasta la gestión integral de todo el proceso constructivo en proyectos “llave en mano”. El objeto de esta comunicación es realizar un análisis de la utilización de las técnicas y herramientas de dirección y gestión de proyectos en las consultorías del sector construcción en la Comunidad Valenciana.

Palabras clave: *Project Management; Construcción; Comunidad Valenciana; Herramientas Dirección y Gestión; Consultorías*

Correspondencia: Silvia Navarrete Espert sil.espert@gmail.com

1. Introducción

El sector de la construcción, es un sector muy heterogéneo debido a la multitud de diferentes empresas que lo componen, que comprende desde grandes multinacionales a técnicos en el ejercicio libre de la profesión. Además cabe destacar que tal y como indicaron Arriagada y Alarcón (2012), una de sus principales características es que ningún proyecto es igual a otro realizado con anterioridad, es decir, son exclusivos y de naturaleza compleja.

Por lo tanto, se debe tener claro que se entiende como proyecto para poder aplicarlo al sector de la construcción. Dentro de las múltiples definiciones, se encuentra la dada por la Norma UNE-ISO 21500:2013 (AENOR, 2013), donde se define proyecto como *"un conjunto único de procesos que consta de actividades coordinadas y controladas, con fechas de inicio y fin, que se llevan a cabo para lograr los objetivos del proyecto".*

Hay que destacar que en los últimos años el sector de la construcción en el territorio español y por ende en la Comunidad Valenciana, se ha visto afectado en gran medida por la crisis económica. Para conocer hasta qué punto el sector de la construcción influye en la economía de un país basta con analizar el valor añadido bruto (VAP), que mide el valor añadido generado por el conjunto de productores de un área económica. Si se analizan los datos de la Asociación de Empresas Constructoras de Ámbito Nacional de España (SEOPAN), en su informe económico de 2012, se observa como el VAP del sector de la construcción empieza a descender de forma drástica a partir de 2010, mostrando de esta forma como el sector de la construcción ha sido el sector más afectado por la crisis, tomando el mismo carácter cíclico que la economía española.

Las características asociadas al sector son entre otras, la gran cantidad de accidentes laborales por el escaso valor que se le da a la seguridad y salud (Rubio, López-Arquillos & Pardo,2012), una gestión de riesgos inadecuada (Akintoye & MacLeod, 1997; Shen, Platten & Deng, 2006; Abednego & Ogunlana, 2006; Aminbakhsh, Gunduz & Sonmez,2013;), la existencia de mano de obra no cualificada, la rotación de la misma y el mal uso de los recursos (Ferrada & Serpell, 2014), la heterogeneidad del producto final y la escasa estandarización en la producción, el cambio del lugar de trabajo, la gran diversidad y concentración de empresas que se ubican sector, la gran cantidad de partes involucradas y la gestión de las relaciones que se crean (El-Gohary, Osman & El-Diraby, 2006; Arriagada & Alarcón, 2012; Yang & Zou,2014), los retrasos y sobrecostes (Blomberg, et al., 2014) o la elevada competitividad que aparece debido a que cada vez las empresas juegan con precios más ajustados, hacen del sector, un sector complejo y por lo tanto, interesante de estudiar y analizar.

Aunque hay diferentes tipos de organizaciones que gestionan proyectos, en el presente trabajo, y dado que la mayoría de las empresas que trabajan en el sector de la construcción son despachos de arquitectos y/o ingenierías, se ha establecido como objetivo de la presente comunicación, el estudio y análisis de las técnicas y herramientas empleadas en despachos de arquitectos y/o ingenierías a la hora de gestionar proyectos en el sector de la construcción, en la Comunidad Valenciana.

2. Metodología

La metodología empleada en el estudio se basa en el pase de un formulario on-line de respuesta directa, a los profesionales del sector de la construcción que desarrollan o han desarrollado su actividad profesional en despachos de arquitectura o ingenierías dentro del ámbito de la Comunidad Valenciana. Lo que se pretende con el formulario es obtener el máximo número de respuestas, por lo que el envío del mismo se ha realizado de manera individualizada vía correo electrónico.

El análisis de resultados se realizará a través de figuras, todas ellas elaboradas en base a las respuestas obtenidas. Se analizan varios aspectos del área de la dirección y

gestión de proyectos arquitectónicos y de ingeniería civil. En primer lugar se describe el perfil medio del total de los encuestados y las características generales de las ingenierías y despachos de arquitectura. El siguiente paso es analizar aspectos generales sobre el conocimiento acerca del Project Management y la importancia de esta disciplina dentro del sector de la construcción. Para finalizar con el análisis de áreas más concretas de la dirección y gestión de proyectos, como son la gestión de tiempos, la gestión de costes, la gestión de riesgos, la gestión de comunicaciones y la gestión de recursos e interesados.

2.1 Características del Formulario

El formulario está formado por un total de 40 preguntas. Las preguntas se pueden dividir en tres grandes bloques en función de los aspectos a tratar y de lo que se pretende valorar en cada una de ellas:

- Bloque 1, preguntas enfocadas a conocer el perfil de los encuestados y el de los despachos de arquitectura e ingenierías.
- Bloque 2, preguntas que buscan analizar el grado de conocimiento del Project Management en el sector de la construcción, así como el grado de importancia que dan los profesionales al área de la dirección y gestión de proyectos, abordándolas de forma general.
- Bloque 3, preguntas destinadas a estudiar la implantación de las distintas áreas de conocimiento explicadas por el PMBOK® (PMI, 2014), dentro de la dirección y gestión de proyectos de arquitectura e ingeniería civil.

Tabla 1: Resumen división por bloques del formulario

BLOQUE 1	BLOQUE 2	BLOQUE 3
Conocer perfil de los encuestados.	Grado conocimiento del Project Management	Implantación de las áreas de conocimiento en la dirección y gestión de proyectos en la arquitectura e ingeniería civil
Conocer perfil de la empresa.	Grado de importancia que le otorgan los profesionales al Project Management	

3. Resultados

Una vez finalizada la fase de obtención de respuestas al formulario por cada uno de los encuestados, se procede a estudiarlas de forma que se entrelacen entre si los tres bloques para poder obtener una mayor cantidad de información y con mayor precisión.

El formulario se ha enviado a un total de 208 profesionales del sector, obteniendo 57 respuestas por lo que la tasa de éxito de respuesta ronda entorno al 27,40%.

3.1 Perfil de los encuestados

Tras el análisis de las respuestas obtenidas, se puede determinar el perfil medio de los encuestados. Siendo éste un profesional, hombre o mujer, que desarrolla su experiencia laboral en un despacho de arquitectura o ingeniería, ocupando un cargo de Técnico de Estudios, disponiendo de un título de máster, y con una edad media que ronda aproximadamente los 36 años.

3.2 Perfil de la empresa

Más de la mitad de los participantes, un 52,8%, trabaja o ha trabajado en un despacho de arquitectura o ingeniería cuyo número de empleados está entre dos y cinco. Además el ámbito predominante de la muestra es el sector privado, representando un 63,2% del total, seguidas de aquellas ingenierías o despachos de arquitectura que dirigen y

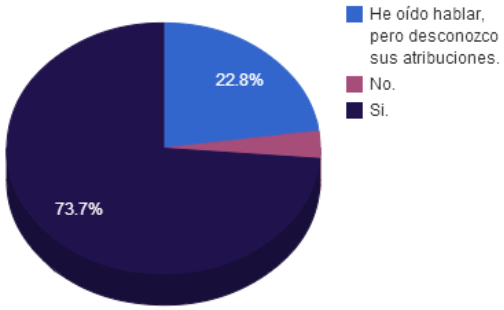
gestionan proyectos tanto en el ámbito público como en el privado, dejando en último lugar a las empresas que cuyo ámbito es únicamente el sector público. Por otro lado, el subsector predominante en la muestra es el de la edificación acaparando un 66,7% del total de las respuestas, seguido por empresas que desarrollan su capacidad laboral tanto realizando proyectos de edificación como proyectos de obra civil con un 28,1% y tan solo un 5,2% se dedican exclusivamente a proyectos de ingeniería u obra civil.

3.3 El Project Management en el Sector de la Construcción: Aspectos Generales

Se busca analizar si los profesionales del sector conocen en qué consiste el Project Management y las atribuciones del Project Manager para valorar el grado de implementación que tiene el área de la dirección y gestión de proyectos en el sector de la construcción valenciana.

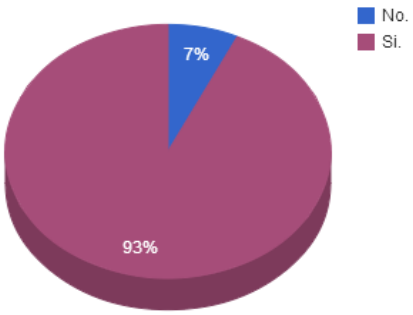
Uno de los primeros aspectos a considerar es si los profesionales del sector conocen cuales son las competencias de un Project Manager a la hora de dirigir y gestionar proyectos de arquitectura o ingeniería civil. Tal y como se observa en la Figura 1, la gran mayoría de los encuestados, un 73,7%, ha afirmado que las conoce. Se trata de un dato positivo ya que demuestra que la disciplina de la dirección y gestión de proyectos es cada vez más conocida dentro del sector de la construcción. Ahora bien, un 22,8% indica que ha oído hablar de la figura de Project Manager pero que desconoce sus atribuciones, esto indica que en muchas ocasiones aunque se conozca o se emplee el término y la figura del Project Manager, sus competencias y atribuciones no quedan del todo claras para los miembros que conforman el equipo del proyecto.

Figura 1: Conocimiento de las competencias de un Project Manager (en %)



Por otro lado se observa en la Figura 2, como casi la totalidad de los encuestados conocen las técnicas y herramientas para dirigir y gestionar proyectos. De este dato se debe considerar que el conocimiento de las técnicas y herramientas disponibles y existentes para gestionar proyectos no es lo mismo que la utilización efectiva de éstas, datos que se valorarán más adelante en este estudio.

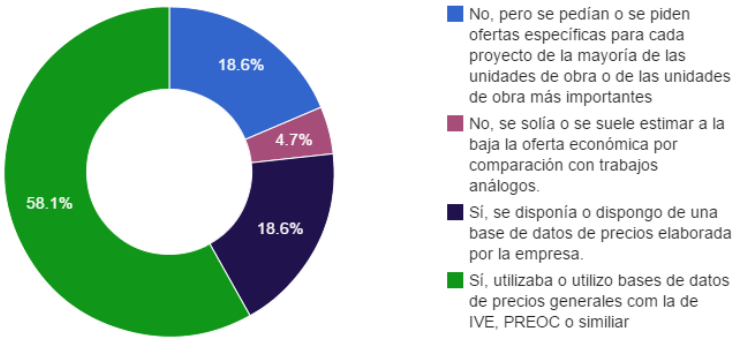
Figura 2: Conocimiento de las técnicas y herramientas para la Dirección y Gestión de Proyectos (en %)



3.4 Gestión de Compras: Elaboración de Ofertas

El primer dato a analizar dentro de la elaboración de ofertas, es la disponibilidad en la empresa de medios específicos para elaborarlas. En la Figura 3, se observa que más de la mitad de los encuestados, en concreto un 58,1%, utilizaba o utiliza bases de datos de precios generales como por ejemplo la base de precios del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE). Tanto disponer de una base de precios elaborada por la propia empresa como pedir ofertas específicas para cada proyecto tiene el mismo porcentaje en base a la totalidad de los encuestados, siendo este de un 18,6%. La respuesta menos representativa es la de estimar los precios a la baja o por comparación de trabajos análogos donde tan solo un 4,7% de los encuestados han elegido esa opción

Figura 3: Disponibilidad de medios específicos para elaborar ofertas (en %)



Otro de los datos a analizar en relación a la elaboración de ofertas es si al elaborarla los técnicos que trabajan en los despachos o ingenierías realizan planificación de tiempos y costes. La tendencia que se sigue de manera general dentro de los despachos de arquitectura e ingenierías, tal y como muestra la Figura 4, es la de realizar la planificación de ambos factores y en función de ellos decidir si se elabora la oferta o no. Tanto la tendencia de no planificar antes de elaborar la oferta como la de planificar únicamente los tiempos están muy a la par. Cabe destacar que podría ser la decisión de no realizar planificación alguna o planificar solo tiempos, lo que da lugar a que se produzcan o bien retrasos y sobrecostes o solo sobrecostes debidos a una mala o nula planificación inicial, que es necesaria para poder realizar el seguimiento y control, en fases del proyecto posteriores.

Figura 4: Realización de la planificación previa a la elaboración de ofertas (en %)

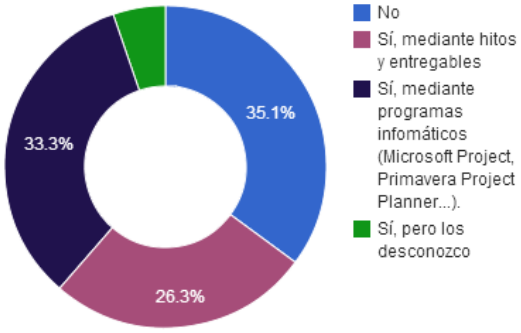
3.5 Gestión de Tiempos

La gestión del tiempo es uno de los aspectos más problemáticos en la dirección y gestión de proyectos de construcción. Es habitual en el sector que los proyectos no terminen en la fecha establecida en la planificación inicial, produciéndose retrasos en la entrega o

puesta en servicio de la infraestructura o edificación al cliente o promotor (Huidrobo et al., 2009; Fuentes, González-Gaya & González-Cruz, 2015).

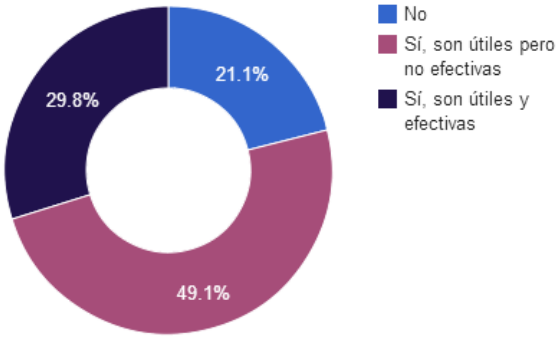
Tal y como se observa en la Figura 5, los profesionales que indican que no se utiliza o utilizaban medios para controlar tiempos suponen un 35,1% de la muestra analizada, dato a considerar ya que suponen más de la tercera parte del total de profesionales que han contestado el formulario. Ahora bien la respuesta mayoritaria es que sí que se utilizaban medios para controlar y gestionar tiempos ya sea mediante hitos y entregables con un 26,3% o mediante la utilización de programas informáticos diseñados para realizar las tareas de planificación, seguimiento y control de tiempos, esta opción la ha elegido un 33,3% de los encuestados. Tan solo un 5,3% de los profesionales afirma que si existían o existen medios en el despacho de arquitectura o ingenierías para gestionar los tiempos del proyecto, ellos los desconocen. De estos datos se puede extraer que tanto la utilización de medios en los despachos de arquitectura o ingenierías como la no utilización, están muy equiparados, ya que un 59,6% ha contestado que sí que los utiliza y un 40,4% ha contestado que no los utiliza o que los desconoce.

Figura 5: Aplicación de medios para controlar y gestionar tiempos (en %)



Tras el análisis de la aplicación de medios para gestionar tiempos se analizó si los profesionales del sector de la construcción consideran que los medios empleados son útiles y efectivos.

Figura 6: Utilidad y efectividad de técnicas disponibles para controlar los plazos (en %)



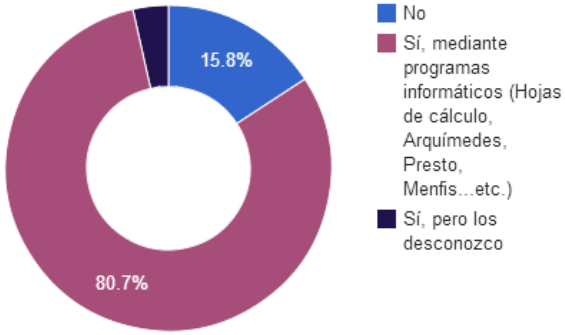
En la Figura 6 se observa que la mayor parte de los encuestados opina que los medios empleados en la gestión de tiempos son útiles pero no efectivos, porque aunque dichos medios muestran donde se producen desviaciones entre el tiempo real y el planificado, si no se establecen una serie de medidas para solventar las desviaciones la efectividad de la herramienta utilizada es nula.

3.6 Gestión Presupuestaria

Al igual que los tiempos, en el sector de la construcción, el coste es una variable importante que influye en el grado de satisfacción de todos los intervinientes en el proceso.

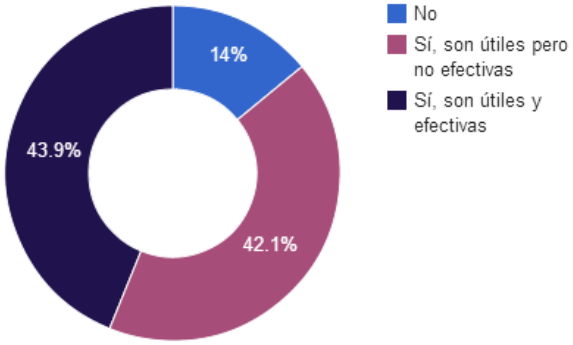
Tal y como se observa en la Figura 7, los profesionales que indican que no se utiliza o utilizaban medios para controlar y gestionar el presupuesto del proyecto suponen un 15,8% del total de encuestados. Por lo tanto, aunque se debe tener en cuenta hay que decir que un 80,7% de los encuestados de la muestra analizada, afirman que utilizan programas informáticos destinados a tal fin, lo que supone un porcentaje muy alto de los encuestados. Tan solo un 3,5% de los encuestados indican que si existen medios para controlar y gestionar el presupuesto del proyecto, ellos los desconocen. Estos datos indican que la utilización de programas informáticos para generar, controlar y gestionar presupuestos de proyectos, es una técnica muy implantada dentro del sector de la construcción, ya que en un sector donde la intervención de multitud de agentes es continua, se deben tener controlados los costes en todo momento del desarrollo del proyecto.

Figura 7: Existencia de medios para el control y la gestión presupuestaria (en %)



Tras analizar la aplicación de medios para la gestión de presupuestos, se pretende saber si para los profesionales del sector de la construcción consideran que los medios utilizados son útiles y efectivos.

Figura 8: Utilidad y efectividad de medios para el control y gestión presupuestaria (en %)



Al igual que ocurre con las herramientas y técnicas empleadas para gestionar tiempos, en la Figura 8 se observa que los medios empleados para gestionar presupuestos no son considerados efectivos en muchas ocasiones, aunque sí útiles. El motivo es muy similar a lo explicado en gestión de tiempos, que una herramienta o técnica determine que hay una variación en costes, si no se ejecutan medidas que controlen esa

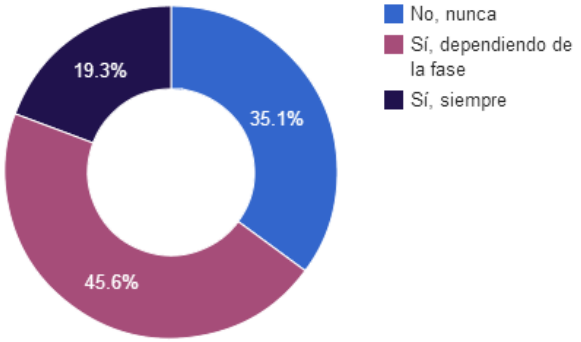
desviación, ésta va a seguir acumulándose lo largo del proyecto dando lugar generalmente a sobrecostes.

3.7 Gestión de Riesgos

Los riesgos en los proyectos, son un factor que en la mayoría de los casos no se tiene en cuenta desde el inicio de proyecto.

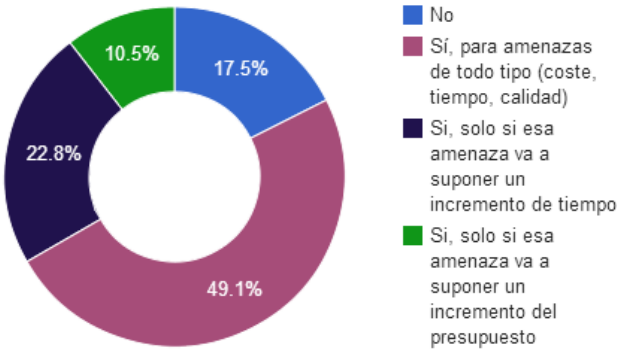
El primer dato a tener en cuenta en lo relativo a la gestión de riesgos, es conocer si se realizan análisis de los mismos. Para ello, se emplea la Figura 9, donde se puede observar que la respuesta más amplia es que se realiza un análisis de riesgos dependiendo de fase del proyecto, representando un 45,6% de los encuestados. Ahora bien se debe tener en cuenta que un 35,1% de los profesionales del sector indica que nunca se realiza un análisis de riesgos y tan solo un 19,3% lo realiza siempre.

Figura 9: Realización de análisis de riesgos (en %)



Tras estos datos, se puede determinar que la gestión de riesgos en proyectos de construcción no se realiza de una forma adecuada ya que un buen análisis de riesgos se debe realizar desde el comienzo del proyecto, para conocer todos los factores que pueden afectar al proyecto de edificación o infraestructura.

Figura 10: Empleo de medidas preventivas y/o correctoras (en %)



Tras estudiar si los despachos de arquitectura o ingenierías realizan el análisis de riesgos de los proyectos de construcción, se busca conocer si una vez detectadas las amenazas se emplean las medidas preventivas y/o correctoras necesarias. Así pues, en la Figura 10, se observa que un 49,1% de los encuestados, es decir, casi la mitad de ellos indican que se emplean medidas para todo tipo de amenazas, ya sean amenazas que afecten al coste, como a la calidad o al tiempo del proyecto. Este dato es positivo ya que una vez se han detectado amenazas, alrededor de la mitad de los encuestados emplea medidas preventivas y/o correctoras para que el riesgo que produce la amenaza no afecte a los objetivos establecidos en el proyecto. También se puede considerar que dentro del sector de la construcción, se utilizan más medidas preventivas y /o

correctoras en amenazas que puedan suponer un incremento del tiempo del proyecto en lugar de para amenazas que supongan un incremento del coste del mismo.

3.8 Gestión de Recursos e Interesados

La dirección y gestión de proyectos de construcción implica gestionar a un gran número de recursos humanos. Además en función de la fase en la que se encuentre el proyecto la gestión de los recursos será más o menos complicada. No es lo mismo gestionar los recursos en la fase de iniciación donde se encuentran el Project Manager, el equipo de diseño y el cliente o promotor, que gestionar los recursos en la fase de ejecución del proyecto, donde el número de agentes intervinientes aumenta de forma considerable, ya que en esta fase intervienen el Project Manager, la Dirección Facultativa, el contratista, las diferentes subcontratas, los diferentes suministradores y los organismos y entidades de control. Por lo tanto se ha decidido analizar este aspecto de forma general analizando si se conocen la jerarquía del despacho de arquitectura o ingeniería donde desarrolla su vida profesional y las responsabilidades de cada miembro de la empresa.

Si se observa la Figura 11, se puede contrastar que la inmensa mayoría de los profesionales encuestados, conoce la jerarquía establecida en el despacho de arquitectura donde trabaja o ha trabajado. Lo mismo ocurre con conocer las responsabilidades de los miembros del equipo, tal y como muestra la Figura 12, donde un 86% de los encuestados ha respondido de forma afirmativa.

Figura 11: Conocer la jerarquía de la empresa (en %)

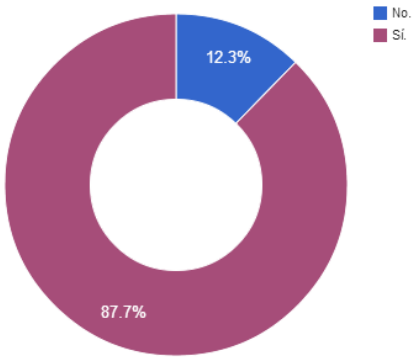
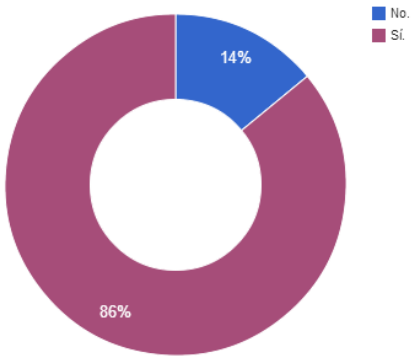


Figura 12: Conocer las responsabilidades de los miembros del equipo (en %)



Conocer tanto la jerarquía de la empresa, como las responsabilidades de cada miembro del equipo del proyecto facilita al Project Management la gestión de los recursos e interesados del proyecto. Si cada miembro del equipo está al tanto de sus funciones y sus responsabilidades, ayuda a conocer cuáles son las tareas o actividades que deben

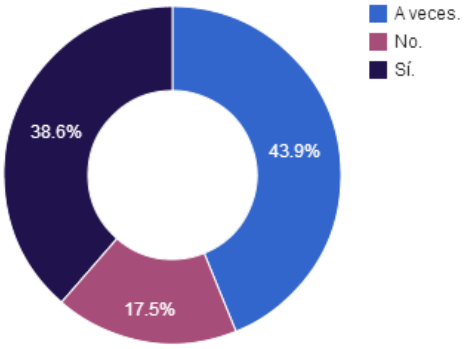
hacer sin interferir en el trabajo de los demás, y por lo tanto, reduciendo la aparición de conflictos.

3.9 Gestión de las Comunicaciones: Reuniones

El último punto a tratar dentro del análisis de resultados es la gestión de comunicaciones dentro del sector de la construcción, para ello se han analizado cuestiones referentes al funcionamiento de las reuniones entre los diferentes miembros que conforman el equipo del proyecto.

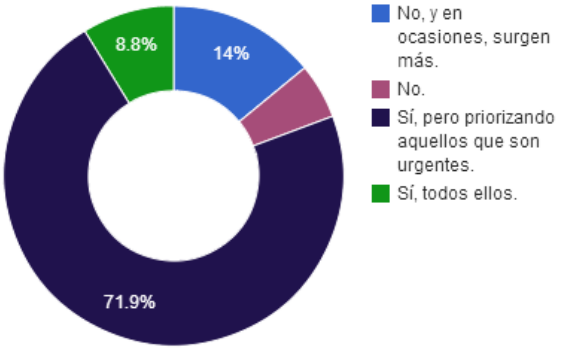
Así pues el primer dato a analizar en este apartado es conocer si todos los asistentes de las reuniones conocían los asuntos a tratar. En la Figura 13, se observa que la respuesta que más porcentaje ha obtenido es "a veces", mientras que un 17,5% ha respondido que no, ambas respuestas indican que las reuniones dentro del sector de la construcción no deben ser muy eficaces, ya que los miembros no suelen estar al tanto de los asuntos a tratar, lo que ocasiona una pérdida de tiempo en explicar cuáles son los temas a abordar en la reunión. Menos de la mitad de los encuestados afirma conocer los asuntos que se van a tratar en las reuniones a las que asiste.

Figura 13: Conocimiento de los asuntos a tratar (en %)



Una vez que se ha determinado si los miembros que asisten a las reuniones convocadas para tratar asuntos referentes al proyecto conocen cuáles son esos asuntos, se busca conocer si las reuniones sirven para resolver los problemas que surgen durante el desarrollo del proyecto. La Figura 14 indica que la tendencia que se sigue en el sector es que en las reuniones se resuelven aquellos problemas que son urgentes, con un peso del 71,9% del total de encuestados. Un 14% de los encuestados indica que en las reuniones en lugar de resolver problemas lo que se consigue es que surjan más, y tan solo un 8,8% afirma que en las reuniones se resuelven todos y cada uno de los problemas.

Figura 14: Resolución de problemas en las reuniones (en %)



4. Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que la gestión y dirección de proyectos en el sector de la construcción valenciano es deficiente, en todas y cada una de las áreas analizadas.

Se puede afirmar que el empleo de técnicas y herramientas para la gestión de tiempos y costes no es eficaz este hecho da lugar a que en la mayoría de proyectos se produzcan retrasos y sobrecostes. Este dato coincide con un estudio realizado por Huidobro et al. en 2009, donde indicaban que no apreciar la particularidad de cada proyecto da lugar a problemas en la realización de los mismos, dando lugar a la detención de trabajos y reparaciones que provocan a su vez gastos adicionales y sobrecostes.

El estudio realizado por Abednego y Ogunlana en 2006, demostró que la gestión de riesgos se basa más en la resolución de problemas que en la realización de estudios previos para aportar medidas preventivas, afirmación que concuerda con nuestros resultados en lo relativo a la gestión de riesgos.

Si se analizan los resultados obtenidos sobre la gestión de las comunicaciones es interesante destacar que al igual que indicaron Arriaga y Alarcón en el año 2012, tanto las reuniones como los documentos que se generan no se gestionan adecuadamente, provocando fallos a la hora de transmitir y gestionar la información del proyecto.

5. Conclusiones

Es habitual dentro del sector de la construcción valenciano que los profesionales asocien la figura del Project Manager al Director de la Obra o al Director de Ejecución de la Obra. Esta circunstancia se debería solventar, ya que una mala concepción de lo que implica ser un Project Manager en proyectos de construcción, da lugar a que tanto la implantación como reconocimiento del Project Management en este campo no se realice de manera adecuada. Además aunque le otorgan importancia a la Dirección y Gestión de proyectos a su vez indican que no conocen de manera amplía cuales son las responsabilidades y competencias de la figura del Project Manager dentro del proceso del desarrollo del proyecto. La falta de información o el desconocimiento puede tener varias lecturas. Entre ellas destaca la resistencia a la evolución en el sector de la construcción español. También se debe destacar que es un sector donde la competitividad entre agentes es habitual, por lo que la aparición de una figura dentro del proceso está cuestionada por los propios profesionales, debido al miedo al intrusismo laboral.

Ahora bien, cada vez es más habitual que los profesionales del sector vean en el Project Management, una nueva oportunidad laboral. Considerándola una disciplina donde pueden desarrollar tanto sus habilidades y conocimientos técnicos como sus habilidades sociales.

Finalmente a modo de resumen, dirigir y gestionar proyectos, en el sector de la construcción no se debería basar solo en gestionar los tiempos y costes del proyecto, tal y como ocurre en la mayoría de los casos, sino que debería centrarse en todas y cada una de las áreas de gestión, para lograr el éxito en el proyecto.

6. Referencias

Abednego, M. P. & Ogunlana, S. O. (2006). Good project governance for proper risk allocation in public–private partnerships in Indonesia. *The International Journal of Project Management, 24*, 622-634.

Akintoye, A. S. & MacLeod, M. J. (1997). Risk analysis and management in construction. *The International Journal of Project Management, 15,* 31-38.

Aminbakhsh, S., Gunduz, M. & Sonmez, R. (2013). Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects. *Journal of Safety Research, 46*, 99-105.

Arriagada, R. & Alarcón, R. (2012). Estilos de organización y acciones clave que facilitan la gestión de conocimiento en un proyecto de construcción. *Revista de la Construcción*, *12* (2), 4-15.

Asociación de Empresas Constructoras de Ámbito Nacional de España (2013). *Informe económico 2012.* Madrid, España: ANCOP.

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Norma UNE-ISO 21500:2013, de 20 de marzo de 2013, Directrices para la dirección y gestión de proyectos.

Blomberg, D., Cotellesso, P., Sitzabee, W. & Thal Jr., A. E. (2014). Discovery of internal and external factors causing military construction cost premiums. *Journal of Construction Engineering and Managemet*, *140* (3), 0401306. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000810.

El-Gohary, N., Osman, H. & El-Diraby, T. (2006). Stakeholder management for public private partnerships. *The Internacional Journal of Project Management, 24*, 595-604.

España. Ley 3/2004, de 30 de junio, de Ordenación y Fomento de la Calidad de la Edificación. *Boletín Oficial del Estado*, 20 de julio 2004, núm.180, pp.26282-26294.

Ferrada, X. & Serpell, S. (2014). Selección de los métodos de construcción en proyectos: un problema de conocimiento. *Journal of Construction and Engineering Managemen, 140* (4), C4014002. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000706.

Fuentes-Bargues, J. L., González-Gaya, C., González-Cruz, Mª C. (2015). La contratación pública de obras: situación actual y puntos de mejora. *Informes de la Construcción*, 67(537): e058, doi: http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.130.

Huidrobo, J., Heredia, B., Salmona, M. & Alvarado, L. (2009). Inclusión de la gestión de riesgos en el estudio de ofertas para licitaciones de proyectos de construcción. *Revista de la Construcción, 8* (2), 27-37.

López del Puerto, C. & Shane, J. S. (2014). Claves del éxito en la gestión de megaproyectos en México y los Estados Unidos: un estudio de casos. *Journal of Construction Engineering and Managemet*, *140* (4), C5013001. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000692.

Project Management Institute (2014) *Guía de los Fundamentos Para la Dirección de Proyectos.* Newtown Square, Pensilvania: Project Management Institute.

Rubio, J. C., López-Arquillos, A. & Pardo, M. C. (2012). La investigación en materia de seguridad y salud en el sector de la construcción. Estado del arte. *6th Internacional Conference on Industrial Engineering and Industrial Management* (pp 1049-1056)

Shen, L., Platten, A. & Deng, X. P. (2006). Role of public private partnerships to manage risks in public sector projects in Hong Kong. *The International Journal of Project Management, 24*, 587-594.

Yang, R. J. & Zou, P. X. W. (2014). Stakeholder-associated risks and their interactions in complex green building projects: a social network model. *Building and Environment, 73,* 208-222.

02-014

CONTROL AND STANDARDIZATION PROCEDURES FOR STRATEGIC PLANS OF A BIG CONSTRUCTION COMPANY, BASED ON THE STANDARD ISO 21500 METHODOLOGY.

Lecanda Ispizua, Fernando [1]; Muñoz Hernández, José Ignacio [2]; Otegi Olaso, Jose Ramón [3] [1] NH HOTELES, [2] UCLM, [3] UPV-EHU

This work aims to develop some useful ideas and tools for monitoring and controlling the strategic plan of a big construction company, such as sanitary or hospitality companies, chain restaurants or large hotel brands. The research is based on the standard ISO 21500, the guidance of project management, to start from an internationally accepted methodological basis. Control tools are responsible for control scope, change, risks, cost, time or resources. Also ad-hoc solutions for various works are searched according to its scope as a project and its valued within the strategic plan, so this will make easier future management in works with similar scope. There are lots of strategies to carry out a repositioning plan and attain the company being visible in a higher level; marketing, publicity, political affairs, construction… In this study, we will focus in construction as the most important part in the company for the change we are looking for. Construction is one of the most important methods to reactivate the economy during years, and if it is correctly used could generate lot of development opportunity. Urban planning, new construction or refurbishment could generate jobs opportunities or possibility of expansion for companies.

Keywords: *Project Control; Strategic Plan; ISO21500.*

PROCEDIMIENTOS DE CONTROL Y ESTANDARIZACIÓN DE PLANES ESTRATÉGICOS EN UNA EMPRESA DE CONSTRUCCIÓN, BASADOS EN LA ISO 21500

El presente trabajo pretende investigar y aportar ideas en el campo de control en obras de construcción dependientes del plan estratégico de una empresa. Las obras de construcción serán los proyectos centrales que se han de realizar en una empresa para reposicionarse o revalorizarse. Este tipo de plan es típico en empresas hospitalarias, hoteleras, cadenas de restaurantes o grandes marcas que viven de sus inmuebles o de lo que de ellos producen. Por tanto, un plan de obras y apertura de nuevos locales bien gestionado será fundamental de cara a los objetivos de expansión. Dicha investigación estará apoyada en la norma ISO 21500 para partir de una base metodológica internacionalmente aceptada. Las herramientas de control se encargan de controlar, el alcance, el cambio, los riesgos, los costos, tiempos, recursos... Además se buscarán soluciones AdHoc para las distintas obras según su alcance como proyecto y su valor dentro del plan estratégico que facilitarán la gestión futura de obras de alcances similares. Con esta investigación se pretende descubrir nuevas herramientas para abordar y gestionar los planes de negocio basados en proyectos de construcción.

Palabras clave: *Control de Proyectos; Plan Estratégico; ISO-21500.*

Correspondencia: José Ignacio Muñoz Hernández joseignacio.munoz@uclm.es

1. Introduction

This work aims to develop some useful ideas and tools for monitoring and controlling the strategic plan of a big construction company, such as sanitary or hospitality companies, chain restaurants or large hotel brands.

The research is based on the standard ISO 21500, the guidance of project management, to start from an internationally accepted methodological basis. Control tools are responsible for control scope, change, risks, cost, time or resources. Also ad-hoc solutions for various works are searched according to its scope as a project and its valued within the strategic plan, so this will make easier future management in works with similar scope.

When we talk about repositioning, we refer to the strategic plan developed by different companies to recover or improve the position or value they had in global market. The mentioned plan aims to improve the perception of the stakeholders. Generally, this kind of plan try to revalue the company and respond to all the investments made by the company or by 3rd party (property or investors).

There are lots of strategies to carry out a repositioning plan and attain the company being visible in a higher level; marketing, publicity, political affairs, construction… In this study, we will focus in construction as the most important part in the company for the change we are looking for.

Construction is one of the most important methods to reactivate the economy during years, and if it is correctly used could generate lot of development opportunity. Urban planning, new construction or refurbishment could generate jobs opportunities or possibility of expansion for companies.

Same happens in other Project Management areas such as IT, product development or consulting, construction must be equilibrated in three aspects: Scope, Cost & Timing. These three points should be aligned with strategic plan so that, if any problem appears in any project, the plan maintains its own criteria.

The project management in this case is applied to two levels: level 1, strategic plan or portfolio of projects and level 2, the proper project. Having these two levels aligned is the most important issue when a perfect control is needed.

Figure 1: Risk color code.

Good and fast is NOT CHEAP, Cheap and Good is NOT FAST, Fast and cheap is NOT GOOD. Having those three aspects balanced means good Project Management.

A real example will be presented, where all the control processes for construction projects are represented. Between others, the study looks for a way to compare and contrast possible crossing between different aspects of projects and could advice if any risk appears during the course of construction. Risks are the most important issue to detect, so the project and general plan must be controlled.

Tools will be presented in the following chapter. As we will see, tools are centered in strategic plans with different projects that are carried out at the same time or, if they are not simultaneously, they will be responding to the same philosophy. Attending to this criterion for standardization of cost, time & scope, workload will be reduced and methodologies will be controlled because suppliers will be grouped and there will be the know-how of previous projects. Obviously the reduction in workload will increase the quality, and will increase the attendance to the project and will reduce budget in a very important way.

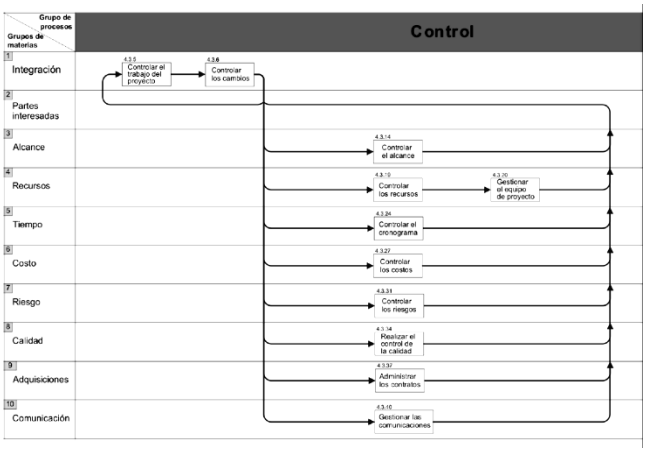
Generally, for this kind of projects in this kind of plan, the most important thing for the company is not to exceed the time-limit and not to increase the budget, so the solution will be changing the scope and thinking about solutions that could fit with the proposed projects. Therefore, change in projects should not directly affect in any case to the global strategic plan. The scope, in the case of lack of control, can be adjusted easily varying budget or time, finding alternative solutions. A valuation of the point to be adjusted will be done depending on the nature of the problem and the impact that the solution adopted cloud make. Of course, accepting the solution adopted which causes the least impact on the strategic plan.

2. Control tools for projects in construction

2.1 ISO21500: Context

Control methodologies will be supported by the ISO 21500, and will be focused on the chapter that refers to control.

Figure 2: ISO21500 Control



Developed methodologies will have relationship with inputs and outputs of each one of the points that are part of the ISO21500. Control for projects is focused on detecting and taking corrective actions in the way the project follows the course that should be taken as planned.

Below the purpose of each control type, are presented their inputs and outputs, as well as the way how it is applied to the example presented.

2.1.1 Control the works of the project

Purpose: complete the project activities in a way that is integrated into the plans of the project, the entire project should be performed.

Inputs: plans project, project data, measures of control quality, risks and problem register.

Outputs: change request, progress reports, and project completion reports.

How it is applied: control the work, the attention is focused in level 1 where a global vision of the plan could be taken into account through all data and information on different projects. That level could visualize the progress of works and change requests affecting to the global plan. It will be reflected in the first part of the monitoring phase, the one centered in level 2, project, and also in level 1, portfolio planning.

2.1.2 Change control

Purpose: It is necessary to register requests for change throughout the project.

Inputs: project plan and change request

Outputs: change approval and change register.

How it is applied: Changes should be controlled during the whole project and a change approval folder should be design, included level 1, with a compilation of change requests, and a document where changes are perfectly registered including the ones that are not realized for any reason. Changes will be controlled by the project directors in level 2. If this works, directors and by extension his team, will never be unnoticed of any change made during the project process.

2.1.3 Scope Control

Purpose: Maximize the positive impacts and minimizing the negatives ones.

Inputs: progress, defining the scope data, work breakdown structure, list of activities.

Outputs: change request

How it is applied: At level 2, project, scope will be studied and appropriate solutions would be taken to solve problems arising during the project. This is the vertex that most will vary, if time and cost do not change.

2.1.4 Resources control

Purpose: make sure that resources required to carry out the project and also that are suitable to bump into the requirements of the project.

Inputs: project plans, designations of team members, availability of resources, progress information, resources requirements

Outputs: change request and corrective actions.

How it is applied: choice of good resources will be essential to avoid threats. In addition to this, it is really important to delegate and trust the team so that PM or director does not have to be forced to care about all aspects of the project. In construction projects there will be a

responsible for resources control, usually Faculty Direction, Site Supervisor & Safety supervisor

2.1.5 Time control

Purpose: Track changes in the schedule and take appropriate corrective actions

Input: Planning, Progress information and Project plan.

Outputs: Change request and Corrective actions.

How it is applied: At the project level, level 2, timing will be studied and different solutions could be taken to solve the problems of deadlines that may appear during the project. Usually can be solved through change of scope or budget.

2.1.6 Cost control

Purpose: track variations in costs and take appropriate actions.

Inputs: Details of progress, project planning & budget plans

Outputs: Actual costs, estimated costs, change request, corrective action

How it is applied: In level 2, the project budgets will be previously studied in a deep way to ensure that there are not major changes that could occur. PM will attempt to have contingencies as well as reserves in the global plan and in each project to control possible deviations. If the economic changes are too many, the Team Director should decide to stop the corresponding project in level 2, so that this does not affect to level 1, the repositioning plan. The paralyzed work will be moved to another time-window until problems are solved.

2.1.7 Risk control

Purpose: minimize the problematic of the project determining risks. If the answer to the risk has been well executed, the desire effect will be achieved.

Inputs: Register of risks, progress information, Project plan & Risk response plans.

Outputs: Change request and corrective actions.

How it is applied: Project level risks will be studied and will be detected in the global plan. The alignment between level 1 and 2 must be perfectly controlled and coordinated. Many risks affect to both level, and sometimes one risk can be critical in level 2 but not in level 1, and that is the reason why risk management is crucial.

2.1.8 Quality Control

Purpose: determine if the objectives of the project, the quality requirements and standards are being met, and identify the causes or methods to eliminate the unsatisfactory part.

Inputs: progress data, deliverables, quality plan.

Outputs: control measures of quality deliverables verified, inspection reports, change requests, corrective actions.

How it is applied: It does not apply during the project. The quality criteria is established when contract with suppliers or contractors is closed. The contracted part is the one who take responsibility in case of lack of quality.

2.1.9 Contracts administration

Purpose: Managing buyer-supplier relations.

Inputs: Contracts and purchase orders, project plans, approved changes & inspection reports.

Outputs: Change request & corrective actions.

How it is applied: Does not apply in the project process in level 2. It is only applied at the time of bidding and contracts with suppliers. Is better to establish this administration and contracts only in level 1 to reduce costs.

2.1.10 Communication management

Purpose: ensure that the communication needs of the project stakeholders are satisfied and solve the problems of communication as soon as possible when they arise.

Inputs: communication plan and distributed information.

Outputs: accurate information, corrective action.

How it is applied: good overview of the organizational chart of the company and pre-project established communications.

2.2 Application of the ISO 21500 acquired tools

Taking into account the inputs and outputs that are offered in the ISO 21500, a chart in which documents are crossed with other information is proposed. In this chart the documentation and information is controlled by the PM, and we can have access to it easily, and it is easy to report executives or committees.

These documents are used to control the processes of work proposed and those templates based on ISO21500 are also used to follow the project in which we are working. In the mentioned templates, weighted values are given to difference aspects of the project and also could cross information or rate data that in a glance are impossible to be compared. The weights of these weightings will be given by the PM in charge of the strategic plan, who will define every aspect and every possible risk or change.

These methodologies will be applied in both, level 1 and 2, and will be studied differently depending on the type of project.

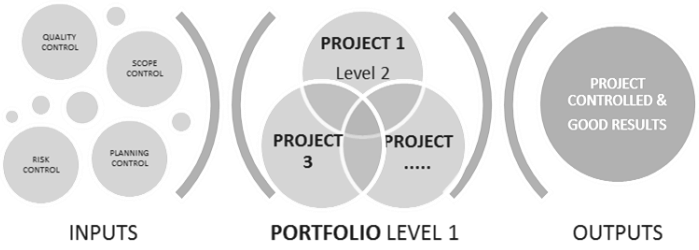


Figure 3: ISO21500 Control

2.3 Control for different sizes of projects methodology

Three groups of projects are defined to control ad-hoc solutions: small, large and special projects. In any case, regardless of the strategic plan, this differentiation into types of project it is important to be carried out. Criteria of typology will be defined pending in the goals and resources. The following proposal could be modified if it is suitable for the rest of the plan.

2.3.1 Methodologies of control for small-scale projects

We define small scale projects those projects of less than 5.000.000€. For these projects we need to balance the quality triangle; the weighting strategy will be committed by the consulting team or the corresponding equipment working on the strategic plan. In the ones considered as small scale, more than 3 or 4 team members are not needed. The main works of control in this kind of projects is the interlocution between the technician onsite and the team in charge of the repositioning. The main risk is a bad reporting of the works status and communication between headquarters and site. For small projects the services from the PMO are not necessary. So it is important to follow procedures on time and it is important to have quick resolution with change request and corrective actions.

2.3.2 Methodologies of control for large-scale projects

All projects that exceed 5.000.000€ are considered as large-scale projects. If a project of more than 5MM€ is also key in the strategic plan, it will be analyzed as special project. Most of the projects will be considered as large-scale projects. These kind of projects need more attention in terms of organizing, it is a good idea to contract a PMO or a big team may be considered. If we delegate PM services, there will be more time to invest in organizing and monitoring. Many times in these kind of projects we will need resources exclusively dedicated to them.

2.3.3 Methodologies of control for special projects

We categorize as special projects those who have great importance in the repositioning plan. And those that in case of chaos will directly affect the course of the strategic plan. PM will need to be extremely careful about monitoring the project and he should give feedback and report any potential risk. For this kind of project extra procedures will be included, those procedures

will control those aspects of the project in its wholeness. In this case, level 2 affects directly to level 1.

3. Analyzing and monitoring construction projects.

3.1. Repositioning Plan Control

For a good control of the construction plan, there is a control at two levels, firstly at the level of portfolio, level 1, and secondly, the project, level 2.

Table 1: Color code for control tables

RISK			SCHEDULE		TIPOLOGY		
Cost Risk	Scope Risk	Planning Risk	Planned	Finished	*Small	**Large	SP (special)

In project level 2 is important to control with different reports how the three aspects of the project are controlled. In addition, various active participants of the process will be assessed: Suppliers, Contractor & PM services, in this way, all the responsibilities will be clarified. The intention with this standardization of processes of control is to achieve a methodology easy to fill, to read, to understand and to approve, and this will make decisions really easy and can reactivate the project progress quickly if there is any problem. Projects defined as risky projects in any of the three vertex of the triangle of quality, will have an individual tab to control those points in particular. It is very important to take those risks into account:

Contractors report: Contractor will be evaluated for schedule, quality, cost, existence service coordination, safety & health, construction team, documentation, change management and installations. Each project will have one report with those points previously agreed in tendering. The strategy team or the one who design the portfolio will decide the weights he wants to give to each point. The average score will give the PM one number 1 to 5 and automatically is going to be considered in the cover as acceptable or not.

Suppliers report: Supplier´s report is the easiest one, it consist in a valuation for each supplier with the weights that are interesting in different scenarios. Overall and delivery date are the two ideas proposed to control as critical.

Project Management Services (if needed): If a project is defined as special project, external services of project management could be contracted, for this situation two more templates are proposed. PM services group the works for the project. Scope, Project, PM Service, Design Team/ Third Part, Project progress (terms) and other issues; those are the points to be checked, the template works the same as the others.

Project Management Office (if needed): A template is also proposed for the Project Management Office contracted to accomplish special projects. The valuation will consider Scope, Procedures, Repositioning affection and other issues agreed in the contract established in tendering.

Cover/Main control: With all these control tools a new report can be created and we can see oin it which part of the project is not working just in a glance. If something is not working

(acceptable 3 out of 5) we just have to see the report of the one that is not working. This procedure makes much easier the recognition of bad works.

Table 2: Valuation of reports in level 2

Contractor's Report	Supplier's Report	PMS Report	PMO Report	**Overall**
3,2	**2,3**	**4,1**	**3,2**	**2,8**

It is important that the tabs (the ones responding to requirements of the company or the ones that are necessary for the strategic plan) are weighted before the start of works. This is a method to achieve alignment between level 1 and 2. The most important part of this procedure needs is to be reliable between different projects so it will facilitate decision-making while detection of risks.

3.2. AD-Hoc solutions for different scales of projects, alignment between different levels

There are three types of problems (cost, scope and term) and three types of projects in which we have classified our works, i.e. 9 scenarios. Solutions to be adopted may be discussed and we will try to normalize these solutions so that, at the time of taking results, there is no major problem, so there is no delay or increment in the price.

The most important part of these reporting procedures is the way these two different levels are aligned. To achieve a good alignment is important to optimize different aspects of control, categorize in different typologies and organizing good standards for inputs and outputs.

The most important part of this alignment is how human resources are organized, how the know-how management is carried out and how leaders manage their teams and establish rules and procedures.

4. Case study: complete implementation of 10 industrial naves for supermarket chain and control of one project in repositioning plan.

A medium scale supermarket chain from Madrid wants to improve its services and make an expansion plan where they want to invest in ten different projects all over the country and if it is possible open another one in UK. The company has prepared a plan with a prepared schedule and budget. We will apply the method previously presented to optimize resources, time and cost. Level 1 is defined with the strategic plan, the global vision of the company, a picture where cost, time and scope are totally controlled.

Table 3: Planning Level 1

REPOSITIONING STATUS 2015	IMP	RISK	2015												2016	2017
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
BUY Madrid Sur	*															
BUY Madrid	**	-														
BUY Toledo	*															
BUY Bilbao	**	-														
BUY Barcelona	SP															
BUY Santander	*	-														
BUY Sevilla	**	-														
BUY Valencia	**	-														
BUY London	SP															
BUY Madrid Norte	*	-														
Projects Reserve																

TOTAL FINISHED	!!!!	0			3	4	5	6			7			9				10	

Table 4: Cost Planning Level 1

REPOSITIONING STATUS 2015	CURRENT INVESTMENT 2015	2015			2014-2015	2014	2015	2014-15
		Extra 3rd Party	Contracted	PROGRESS (***)	PROGRESS ACCUMULATED	INVOICED	INVOICED	INVOICED ACCUMULATED
BUY Madrid Sur	4,8		3,5	1,5	2,5	1,3	0	1,3
BUY Madrid	12,6	+ 2,1	7,5	2,3	2,3	1,2	0	1,2
BUY Toledo	4,4		1,0	0,0	0,0	0	0	0
BUY Bilbao	12,0	+ 4,3	2,0	0,0	0,0	0	0	0
BUY Barcelona	12,3		12,3	0,0	0,0	0	0	0
BUY Santander	3,5		3,5	2,1	3,1	3,1	1,1	4,2
BUY Sevilla	5,5		4,5	0,1	0,1	2,0	0	2,0
BUY Valencia	7,6		3,5	0,5	0,5	0	1,9	1,9
BUY London	25,0		0,0	0,0	0,0	0	0	0
BUY Madrid Norte	4,8		1,5	3,6	3,6	0,9	0	0,9
Projects Reserve	7,5					0	0	0
TOTAL Millions €	100,0	6,4	38,3	10,1	12,1	8,5	3,0	11,5

Level One: As we can see in the previous chart, we have 4 projects with potential risks in level 1. In addition, table 3 gives us a lot of information such as typology of project, planning and progress. Last row indicates when the end of works is planned and when a new supermarket is opened. To have a good cost control is important always having in mind the Cost control, the whole plan pretend to invest 100MM€ and there is not too much margin. Is not possible to exceed it, changes must be mainly focused in scope.

Suppliers will have double control, level one and level two. In level one we will look for a general vision and level two will score more specific information.

Table 5: Suppliers' Report Level 1

SUPPLIER	OVERALL	CONTACT	PROJECT 1 DELIVERY DATE	PROJECT 2 DELIVERY DATE	PROJECTO 3 DELIVERY DATE	References
James' Furniture	Good	676789833	15/01/12**Delay**	15/02/03 **OK**	Non defined	
Porcelanosa	Very good	675849302	On date	12/02/15 OK	13/04/15Delay	Previous projects
Supplier 3						
Supplier 4						
Supplier 5						
Supplier 6						
Supplier 7						
Supplier 8						

Level Two: As we have said before, level two is the one in charge of the project. Topics mentioned in ISO21500 and Project Management team are the ones that define how these procedures are going to be.

Table 6: Valuation of reports in level 2. Resume

CONTROL REPORT	BUY Bilbao	Date	09/09/2015
		PM	-

Adress	
Contact	
Hotel	BUY Bilbao
Scope (Brief description)	
Contract (€)	

FINAL SCORE	
Final score	2,817

The reporter should define in this gap the priorities that are going to be scored.

SCORE	GRADE	RESULT
More than 4.4 points	Excelent	OK
3.8 - 4.4 points	Good	
3.0 - 3.8 points	Regular	
Less than 3.0 points	CHECK	CHECK

CONTRACTOR	ONLY PROJECT MANAGER
Final score	1,028

The reporter should define in this gap the priorities that are going to be scored.

SCORE	GRADE	RESULT
More than 4.4 points	Excelent	OK
3.8 - 4.4 points	Good	
3.0 - 3.8 points	Regular	
Less than 3.0 points	CHECK	CHECK

SUPPLIER	ONLY PROJECT MANAGER
Final score	3,500

The reporter should define in this gap the priorities that are going to be scored.

SCORE	GRADE	RESULT
More than 4.4 points	Excelent	OK
3.8 - 4.4 points	Good	
3.0 - 3.8 points	Regular	
Less than 3.0 points	CHECK	CHECK

PM Service	ONLY PROJECT MANAGER
Final score	3,184

The reporter should define in this gap the priorities that are going to be scored.

SCORE	GRADE	RESULT
More than 4.4 points	Excelent	OK
3.8 - 4.4 points	Good	
3.0 - 3.8 points	Regular	
Less than 3.0 points	CHECK	CHECK

PMO	ONLY CLIENT
Final score	3,555

The reporter should define in this gap the priorities that are going to be scored.

SCORE	GRADE	RESULT
More than 4.4 points	Excelent	OK
3.8 - 4.4 points	Good	
3.0 - 3.8 points	Regular	
Less than 3.0 points	CHECK	CHECK

As we can see problem in level 2 for BUY Bilbao is just with the contractor but it is critical, action must be taken. The procedure is the sum of different control aspects previously agreed between different parts, templates are set out below.

Table 7: Valuation of reports in level 2.

Contractor´s Report	
Rank of priorities/Scoring	
Schedule	
Start Date	0
Expected due date	3
Delivery date	2
Accumulated delay	0
Scoring	1,3
Quality	
Materials	0
Material withdrawal	2
Construction order	0
Used means	0
Scoring	0,5
Cost	
Estimated budget	2
Deviation	0
Scoring	1,0
Existance service coordination	
Noise	0
Annoyance	0
Dust	2
Affection	0
Scoring	0,5
Safety & Health	
Incidences	2
Personal injouries	0
Scoring	1,0
Construction Team	
Site manager	0
Technical office	2
Production Manager	0
Prevention expert	0
Scoring	0,5
Documentation	
Licences	0
Processes	2
Building book	0
Plans	0
Scoring	0,5
Change management	
Alternative search	2
Adversarial procedure	2
Technical proposals	2
Scoring	2,0
Installations	
General valuation	2
Coordination with external	2
Scoring	2,0
FINAL Score (out of 5)	**1,0**
PM Valuation (the process could be avoided because a serious error in this valuation)	

Supplier´s Report	
Rank of priorities/Scoring	
Supplier	
Overall	3
Delivery Date	4
Scoring	3,5
supplier	
Overall	3
Delivery Date	4
Scoring	3,5
supplier	
Overall	3
Delivery Date	4
Scoring	3,5
supplier	
Overall	3
Delivery Date	4
Scoring	3,5
supplier	
Overall	3
Delivery Date	4
Scoring	3,5
supplier	
Overall	3
Delivery Date	4
Scoring	3,5
supplier	
Overall	3
Delivery Date	4
Scoring	3,5
supplier	
Overall	3
Delivery Date	4
Scoring	3,5
Comments	
FINAL Score (out of 5)	**3,5**
PM Valuation (the process could be avoided because a serious error in this valuation)	

PM Services	
Rank of priorities/Scoring	
Scope	
Scope expected/done	4
Budget	3
Suppliers control	4
Scoring	3,7
Project	
Project Design	4
Project Cost/Planning	3
Design Management	2
Scoring	3,0
PM Service	
Project Manager (PM)	3
Cost&Planning Manager (C	4
Design Manager (DM)	4
MEP Manager (MEP)	5
Construction Manager (CM	4
Site Supervisor (SM)	4
Safety Supervisor (SC)	2
Scoring	3,7
Design Team / Third Part	
Senior Architect	4
Senior Engineer	4
Faculty Office	3
Scoring	3,7
Project progress (terms)	
Preliminary Valuation (Che	4
Look and Feel	5
Concept Design	3
Bidding Package	3
Start Execution of Works	4
Overall quality control	3
Delivery	3
Scoring	3,6
Other	
Online platform use	3
Scoring	3,0
Comments	
Final score (out of 5)	**2,9**
PM Valuation (the process could be avoided because a serious error in this valuation)	

PMO Report	
Rank of priorities/Scoring	
Scope	
Cost	4
Deadline	3
Quality	4
Completion	2
Scoring	3,3
Initial procedures	
Stakeholders management	3
Initial valuation (Check)	4
Validation of the scope with BU	3
Feasibility	3
Coordination between PM	3
Coordination with Client	3
Confirming of PoR (If applie	3
Scoring	3,1
Repositioning	
Complete repositioning	3
Individual Cost Plan	4
Coordinates with Client	4
Scoring	3,7
Permits management	2
Right team for project	2
Centralized Design Developme	2
Follow us	3
PM Service Control	4
Procedure of improvements control established (ADR,Revpar,	4
Online platform use Centra	3
Penalties	4
Scoring	3,0
Comments	
Final score (out of 5)	**3,3**
PM Valuation (the process could be avoided because a serious error in this valuation)	

5. Conclusion

The main objective of this article is to provide tools that make the project processes more effective, with which taking control of the three vertex of the quality triangle. To achieve the goal of controlled projects and plans, the study is made in two different levels, one for project and the other one for portfolio of projects.

It is said that construction is one of the most important part of change in a company so we focus in projects of construction. Is not easy trying to reduce all kind of projects of construction just into three types, so all the previously presented tools should be modify by the project management department reliant to what is interesting for control.

As we have studied the change management or the control procedures for construction, we could say that is mainly about control of the scope and monitoring the procedures during the execution. It is also about how suppliers work, how contractors work and how we can control all the stakeholders involved in the construction phase. Scope is the hardest part to control but it is also the most important one. On the other hand, time or cost could be critical if we decide it or if it is mandatory. Although, the main actions with the proposed tools are corrective action based in common sense.

Although tools for construction projects in strategic plans are based in ISO21500 or other standard internationally accepted, the “Control tools” proposed should be defined in each plan by the team. A clear strategy of alignment should be defined to achieve the requirements of the company. Once defined, ad-hoc solutions will be made much easier with the control and monitoring, and will facilitate future management of works with similar scope in similar strategic plans.

Level 1 and 2 should be coordinate; if any risk is detected in level 2 should be reflected in level 1 and vice versa. If projects are controlled deeply and if also the project plan is controlled, is quite easy to improve the association with contractors, suppliers & all the stakeholders involved and also is a good point to reduce cost. A PM should be in charge to control this connection between levels and to exchange requests, deliveries and with all those, inform change requests or budget rise.

Standardization of control tools works, it is a fact. Procedures or what we have defined “standardization of tools”, is a way to have the know-how of the company or team written down. So in fact, standardization is installing as know-how in the company, a really positive topic and an improvement for the company.

To conclude, the proposed procedure could work. However, it is key to have a good team and good project leaders to organize and to define the strategy and the ways of working.

6. Bibliography

Books

PMI (2012): *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (5ª Ed)*. Newtown Square, Pennsylvania, EE.UU.: PMI.

AEIPRO (2009): *NCB-AEIPRO Bases para la Competencia en Dirección de Proyectos V 3.1* Valencia, España: AEIPRO.

AENOR (2013): *Norma UNE-ISO 21500:2013 "Directrices para la dirección y gestión de proyectos"*. Madrid, Spain.

ISO (2012): *Norma ISO 21500:2012*. Geneva, Switzerland

Websites

AEIPRO (2013). Valencia, Spain. Extracted from: http://www.aeipro.com

AENOR (2013). Madrid, Spain. Extracted from: http://www.aenor.es

IPMA (2013). Nijkerk, Netherlands. Extracted from: http://www.ipma.ch

PMI (2013). Newtown Square, Pennsylvania, EE.UU. Extracted from: http://www.pmi.org

Articles

"*Potential Strategies For Improving The Efficiency In The Management Of Construction Projects Developed By The Spanish Civil Service. A Risk-Oriented Approach"* M.P. de la Cruz(p), A. del Caño, E. de la Cruz.
X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (2006 Valencia).

"Standardizing The Innovation In The Spanish Construction Industry". Víctor Yepes(p), Eugenio Pellicer, Christian L. Correa.
X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (2006 Valencia).

"Construction Risk Management: Application And Education". El-Dash, K.
XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (2008 Zaragoza).

"Selection Method for construction equipment- other aspects to consider". Miquel Casals Casanova, Fernando Peñaranda Casasnovas. VI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos (2002 Barcelona).

02-015

SOCIAL AND CULTURAL IMPACT ON CIVIL ENGINEERING PROJECTS

González Vázquez, Xesus Pablo; Marey Pérez, Manuel; Lamosa Quinteiro, Santiago; Barrasa Rioja, Martin
Escuela Politécnica Superior de Lugo. USC

From engineering the point of view, environment means those that affect and condition in the short or long term to every living human being. This includes the natural, social and cultural values in the study area. There are different standard methods to evaluate environmental impacts, however frequently focused on the "natural" valuation, leaving aside the "social" and especially the "cultural" valuation. In this communication we describe a new methodology developed for evaluating these (social and cultural) civil engineering impacts. The methodology is based on the use of indicators, together with the definition of multicriteria coefficients and aggregation equations. Results in each engineering project numerical coefficients for each alternative evaluated. Also, as a aditional result, this metodology returns a "to-do" list with the minimization and correction actions to improve, as well as its magnitude.

Keywords: *evaluation; impact; environment; social; cultural*

EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIAL Y CULTURAL DE LOS PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

Desde el punto de vista de la ingeniería se entiende el medio ambiente como el entorno que afecta y condiciona a corto o largo plazo a los seres vivos en general y a las personas en particular. Esto comprende los valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar, potencialmente afectados por un determinado proyecto. Existen distintas metodologías de aplicación para la realización de estos estudios, sin embargo es frecuente que se centren en la valoración "natural", dejando de lado la valoración "social" y sobre todo la "cultural". En la presente comunicación se describe una metodología desarrollada para la evaluación de dichos impactos (social y cultural) producidos por los proyectos de ingeniería civil. La metodología se basa en la utilización de indicadores, junto con la definición de coeficientes multicriterio y ecuaciones de agregación. El resultado final, para cada proyecto evaluado, es un coeficiente numérico tanto para la alternativa cero (situación sin proyecto), como para las distintas alternativas. Además, como resultado de su aplicación, en función de la alternativa seleccionada, la metodología devuelve los aspectos socioculturales en los cuales las medidas de minimización y corrección de impactos del proyecto deben incidir, así como su magnitud.

Palabras clave: *evaluación; impacto; ambiente; social; cultural*

Correspondencia: Martín Barrasa Rioja martin.barrasa@usc.es

1. Introducción

El medio ambiente, desde el punto de vista de la ingeniería es el entorno que afecta y condiciona a corto o largo plazo a los seres vivos en general y a las personas en particular. Esto comprende los valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar, potencialmente afectados por un determinado proyecto.

Desde hace muchos años, los proyectistas han incluido en los proyectos de ingeniería civil distintos estudios ambientales. Sin embargo es frecuente que se centren en la valoración "natural", dejando de lado la valoración "social" y sobre todo la "cultural".

En la presente comunicación se describe una metodología basada en el análisis multicriterio para la evaluación de dichos impactos (social y cultural) producidos por los proyectos de ingeniería civil.

El Análisis Multicriterio, desarrollado en la década de los 60, comprende a su vez una serie de metodologías que se caracterizan principalmente por su capacidad de manejar problemas de toma de decisiones donde existen múltiples objetivos, criterios, participantes y alternativas. En los últimos años ha existido un creciente interés en Europa por su aplicación a la evaluación de la sostenibilidad ambiental (Cardín y Álvarez, 2011, 2012).

La elección de la metodología multicriterio para este estudio se basa en la necesidad de una metodología que logre combinar las distintas dimensiones, objetivos, actores y escalas que se hallan envueltos en el proceso de toma de decisiones, sin sacrificar la calidad, confiabilidad y consenso en los resultados.

Una de las características principales de las metodologías multicriterio es la diversidad de factores que se logran integrar en el proceso de evaluación. La particularidad de la metodología multicriterio está en la forma de transformar las mediciones y percepciones en una escala única, de modo que se pueden comparar los elementos y establecer ordenes de prioridad.

2. Objetivos

La puesta en práctica de esta metodología para la evaluación de impactos sociales y turísticos está enfocada fundamentalmente sobre la eficiencia, en bienes y servicios repercutidos sobre la sociedad.

Uno de los riesgos que se corre con el uso de este método es que la tendencia a cuantificar dichos efectos sobreenfatice aquellos que son valorizables, aún cuando otros efectos intangibles no cuantificados pueden ser tanto o más importantes.

Por este motivo se le presta especial atención a aquellos criterios (indicadores) subjetivos y por eso se introducen técnicas prospectivas, como las técnicas Delphi, en el propio establecimiento de criterios.

El objetivo de este estudio, por lo tanto es la utilización de indicadores, junto con la definición de coeficientes multicriterio y ecuaciones de agregación; para conseguir, en cada proyecto evaluado, un coeficiente numérico tanto para la alternativa cero (situación sin proyecto), como para las distintas alternativas. Este coeficiente numérico debe permitir evaluar desde el punto de vista social y turístico el impacto del proyecto en el entorno.

Además, se pretende que esta metodología ponga de manifiesto tambien los aspectos socioculturales en los cuales las medidas de minimización y corrección de impactos de los proyectos deben incidir, así como su magnitud.

3. Metodología

Tal y como se puede deducir del epígrafe anterior, la aplicación del análisis multicriterio al presente estudio comprende en realidad un conjunto de técnicas, modelos y herramientas de apoyo a la toma de decisiones (Belton y Stewart, 2002).

Desde el punto de vista de la evaluación de impactos sociales y turísticos, la metodología ideal sería aquella que permita incorporar todos los efectos del proyecto (Rodríguez-Couso, Teijido, Alvarez, 2006). Dado que esto no siempre es posible (hay factores que no son medibles), se suele agregar a la función multicriterio un listado de "beneficios" y "costes" no cuantificables, por ejemplo: efecto en la descentralización, impactos ambientales no mensurables, efectos redistributivos, etc.

De este modo, el modelo multicriterio aplicado a este proyecto (Figura 1) permitirá agregar los efectos del proyecto bajo una métrica común. Para ello se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Definir el alcance territorial de la evaluación.
2. Se deben definir los criterios, en términos de indicadores intermedios, y sus respectivas restricciones.
3. Si se opta interpolar datos para algunos indicadores se deben definir los métodos de cálculo.
4. Utilización técnicas prospectivas para la valoración de determinados criterios; por ejemplo técnicas Delphi.
5. Modelización de las preferencias.
6. Definición del catálogo de metadatos asociado a estos indicadores
7. Representación de los resultados
8. Propuesta de medidas correctoras y de minimización de impactos en función de los resultados anteriores

3.1 Unidad territorial considerada

La metodología se ha diseñado para utilizar como unidad territorial el Municipio. Siguiendo la nomenclatura NUTS, corresponde con el nivel NUTS-5 o LAU-2.

La utilización del NUTS-5 como unidad territorial para esta metodología proporciona una serie de ventajas, determinantes para su elección:

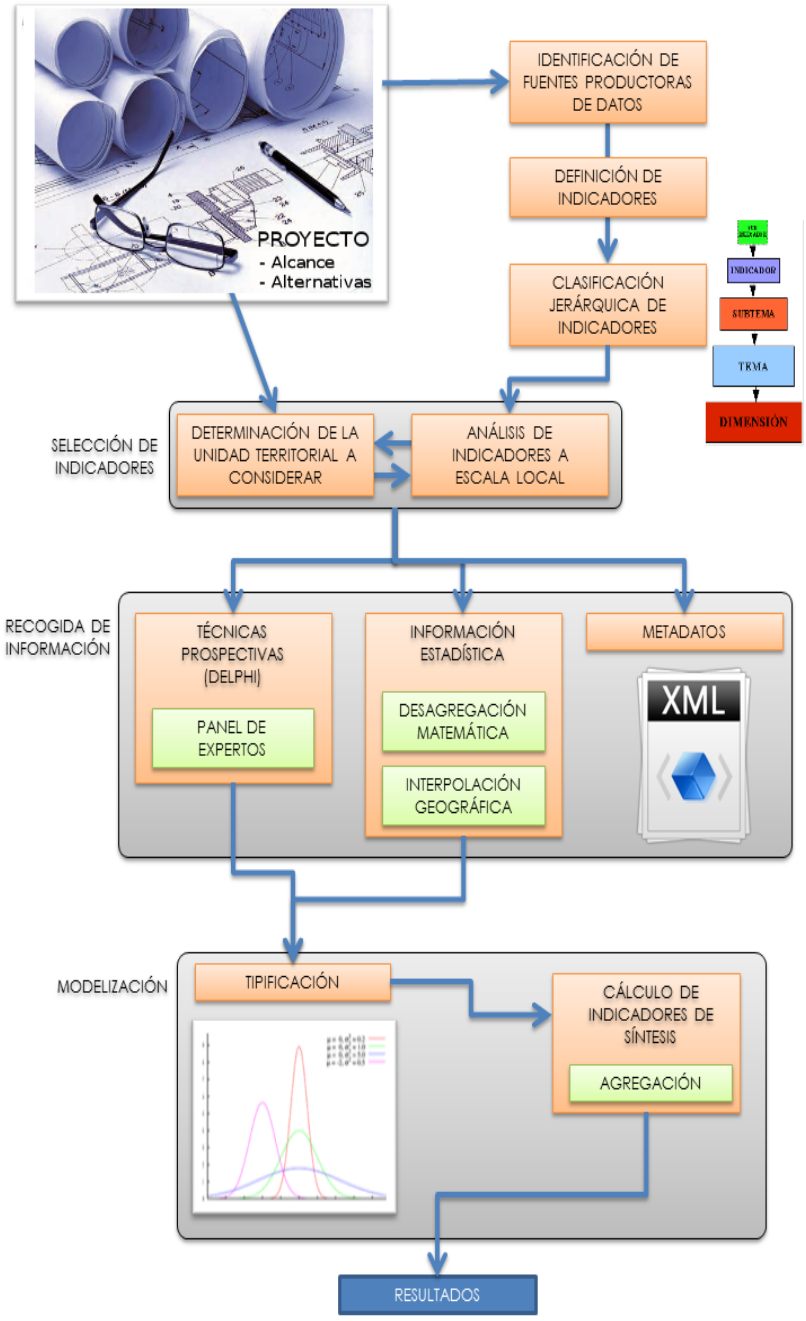
- Escenario de importantes relaciones funcionales (industria, servicios, etc.).
- Tamaño de población considerable (generalmente > 1000 habitantes) y con centralidad urbana.
- Compuesta por los límites municipales, que son base de numerosas operaciones estadísticas del INE, IGE, etc..

Entre los inconvenientes más destacables están:

- En numerosas ocasiones la ubicación de las obras de ingeniería civil está en las divisorias intermunicipales, por lo que los efectos/impactos de los mismos son compartidos por más de un municipio.
- Algunos efectos positivos de las obras de ingeniería civil, como son las repercusiones económicas (directas) por el valor del suelo son aún más localizados que el propio

municipio, redundando en unos propietarios afectados puntuales. Otros efectos económicos positivos son indirectos y sus beneficiarios están dispersos.

Figura 1: Esquema metodológico



3.2 Determinación de indicadores

En el contexto de los objetivos de este trabajo, los indicadores son los representantes más fieles de la realidad para evaluar si las regiones son más o menos sensibles a determinados impactos causados por los parques eólicos. Además, constituyen una guía para definir las políticas territoriales, útiles en la determinación de las medidas de minimización y corrección de impactos.

Por lo tanto, no es difícil comprender la magnitud de la importancia de los indicadores y el éxito de los sistemas de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad de las regiones en general y de los proyectos en particular.

Las principales ventajas que poseen los indicadores son la capacidad que tienen de transformar la información cualitativa sobre la sociedad y el turismo, en información cuantitativa útil para evaluar el territorio, a la vez que presentan de forma sintética las transformaciones territoriales y las interrelaciones entre diversas dimensiones.

Además de que los indicadores sean visualmente atractivos, fácilmente accesibles, y concluyentes de la realidad del territorio (Roy, 1990), nuestra experiencia nos muestra que los sistemas de indicadores deben tener además otras restricciones y límites relacionados con los principios básicos de los indicadores, tales como:

- Disponibilidad y temporalidad de la información.
- Comparabilidad entre escalas espaciales.
- Cuáles y cuántos indicadores son necesarios para la mejor demostración del estado del territorio.

En relación a este último aspecto, un número elevado de indicadores ofrece una visión más completa de la realidad, pero en general, la información se pierde en detalles de menor importancia, al mismo tiempo que medir individualmente todos los diferentes elementos del territorio puede no ser decisivo para determinar si una determinada actuación se mueve hacia la sostenibilidad o no.

Es conveniente, por lo tanto, para resumir en unas pocas líneas, y sobre la base de la literatura y nuestras experiencias, cuales son aquellos elementos que definen la calidad de un indicador. Así, un buen indicador es, por lo tanto, aquel que:

- Se calcula en base a una fórmula o un algoritmo, o bien se refiere a datos disponibles.
- Es fácil de interpretar, es decir, es sintético.
- Permite evaluar las tendencias globales, es decir, es representativo.
- Refleja las modificaciones (buen nivel de sensibilidad).
- Le permite comparar diferentes objetivos y límites, en un contexto local, municipal o regional.

En general, los indicadores tradicionales, como las tasas de empleo, el crecimiento económico, la delincuencia o la contaminación del aire miden tan sólo los cambios producidos en un sector de la sociedad, sin mostrar ninguna relación entre todos los temas relacionados con la sostenibilidad. Así que cuando se presentan de forma individual los aspectos económicos y sociales, existe el riesgo de que los problemas identificados dentro de cada esfera sean tratados de forma aislada. Este punto de vista conduce a un enfoque viciado de los problemas: se limitan a resolver el problema de forma particular sin considerar sus relaciones con el sistema global, pudiendo la resolución de un problema empeorar otro problema inherente. También existe el vicio, a veces político, a veces técnico, de dar prioridad a una perspectiva a corto plazo, en lugar de una perspectiva a largo plazo, que no es más que un aplazamiento de la responsabilidad y de la solución final del problema.

3.3 Técnicas prospectivas

Para aquellos indicadores de los que no se puede extraer información estadística que cumpla las características prefijadas, es necesario aplicar otras técnicas de obtención de información. En concreto los esfuerzos se deben centrar en el método Delphi, del que se constatan numerosas experiencias positivas.

El método Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro. Las estimaciones de los expertos por lo general, son llevadas a cabo de manera anónima, en sucesivas rondas con el objeto de conseguir el máximo consenso tratando al mismo tiempo de lograr la máxima autonomía por parte de los participantes en las dimensiones que comprende la investigación.

De esta manera, la realización de este método, comprende la aplicación de cuestionarios sucesivos con el fin de poner de manifiesto la convergencia de opiniones y deducir eventuales consensos. En su conjunto el método permitirá, por medio del juicio intuitivo emitido por los expertos, determinar la percepción que se tiene de la situación actual y prever las transformaciones más importantes que se deberían dar en el transcurso de los próximos años en el caso de llevarse a cabo la implantación de un parque eólico en el municipio estudiado.

3.4 Modelización

Una vez recogida toda la información necesaria para cada indicador, y manipulada convenientemente, según las reglas descritas en los epígrafes anteriores, llega el momento de modelizar las preferencias, esto quiere decir, aplicar los múltiples criterios para la obtención de resultados.

Los resultados se valoraron desde dos puntos de vista distintos:

- En primer lugar, se analiza el valor de los indicadores de forma individual. Para ello, aunque no es imprescindible, sí es recomendable, realizar un procedimiento previo de tipificación. La tipificación consiste en la homogenización de los valores de todos los indicadores a una escala que se encuentra entre 0 y 1.
- En segundo lugar se calcularán indicadores de síntesis, mediante la agregación ponderada de una serie de indicadores (Diaz, Marey, Riveiro, Alvarez, 2010).

3.5 Metadatos

Una vez finalizada la recopilación y manipulación de los datos, cabe ahora dar el enfoque necesario a los datos, es decir, a la información que contiene los indicadores. Para tal objeto, se determinan los campos de información asociados a los datos, denominados genéricamente “metadatos”.

La aplicación de los estándares nacionales e internacionales es fundamental hoy en día cuando se documenta la información levantada, por lo que se deben seguir las normas marcadas, sobre todo la directiva INSPIRE, sobre la información geográfica.

Idealmente, las estructuras y definiciones de metadatos deben tener su referencia en un estándar. Un beneficio de los estándares es que se han generado a través de un proceso de consulta (con otros “expertos”) y ofrecen una base a partir de la cual pueden desarrollarse perfiles nacionales u orientados de acuerdo a determinadas materias. Existen dos estándares de metadatos que son amplios en su alcance y uso, y proveen detalle para todos los niveles de metadatos antes mencionados:

- La ISO 19115 “Metadata” define el estándar de metadatos con el objetivo de que todos los datos se puedan compartir y ser leídos tanto por los generadores como los los usuarios. El fin de la ISO 19115 es desarrollar una estructura específica que defina los datos geográficos. El desarrollo de perfiles nacionales de ISO 19115, orientados hacia materias concretas, falicitará el intercambio de información, usando una semántica común. Describe el perfil de los elementos que van a formar parte de los metadatos.

- La ISO 19139 es la norma que define cómo se deben codificar los metadatos que vienen determinados por la ISO 19115. Tal codificación debe debe realizarse sobre XML, formato que permitirá una correcta exportación y lectura de los metadatos. XML es una metodología de codificación ampliamente aceptada, con soporte internacioal de "software". Incluye un lenguaje de refuerzo con reglas estructurales consolidadas por medio de un archivo de control para validar la estructura del documento. Por otro lado, el uso de XML, junto con hojas de estilo para producir presentaciones estandarizadas de contenido, permite un formato de intercambio estructurado y una presentación flexible.

Otra norma a destacar en materia de metadatos es la ISO 15836:2003 "The Dublin Core Metadata Element Set" en la cual también se definen una serie de elementos que deberán formar parte de los metadatos referidos a información.

4. Caso de estudio

Como ejemplo de aplicación de la metodología anterior, se ha utilizado el Concello de Paradela.

El ayuntamiento de Paradela tiene una extensión de 121,1 km^2 y se sitúa al suroeste de la provincia de Lugo. En dicho municipio se estudia el proyecto de construcción de un parque eólico.

Para la presentación de los resultados de la metodología descrita anteriormente se ha optado por la elaboración de gráficas en tres niveles distintos:

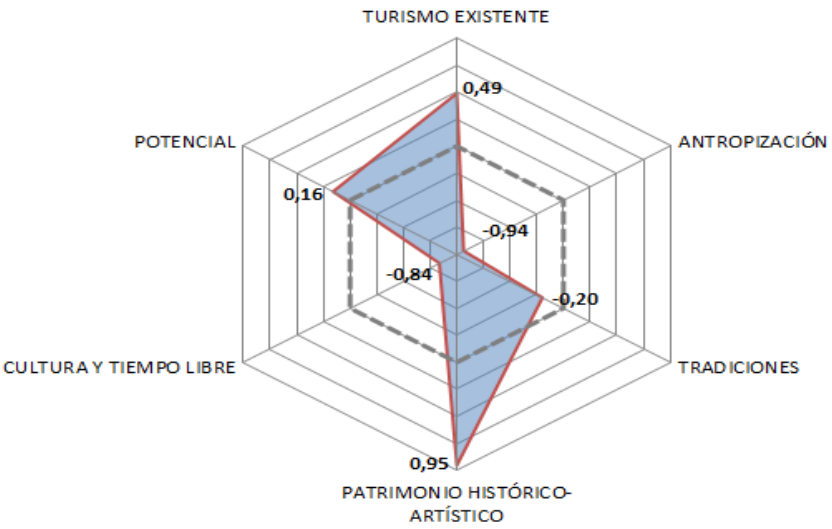
- Gráficas radiales para la caracterización del proyecto. En dichas gráficas se representan las puntuaciones (tipificadas) de los indicadores. Sirven para ver el perfil o la sensibilidad del territorio frente al impacto del nuevo proyecto.
- Gráfica de barras verticales para representar el impacto del proyecto en el territorio. Para ello se calculan dos indicadores temáticos.
- Gráfica de barras horizontales para representar comparativamente las medidas correctoras que se deben aplicar.

4.1 Sensibilidad

El gráfico radial presenta desde el origen de coordenadas la posición alcanzada por las distintas variables. A partir de ese origen, se pueden establecer radios cuya lejanía del centro de coordenadas dependen del valor del indicador de síntesis considerado para el caso de estudio. De esta forma se pueden determinar los grados de concentración o dispersión de las variables que lo contienen.

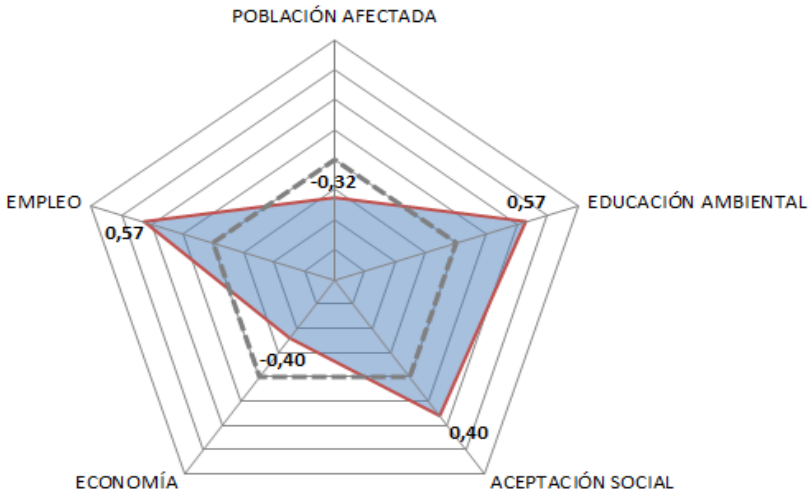
En la Figura 2 se muestra la representación gráfica de la sensibilidad frente al impacto turístico, indicando con la linea a trazos el valor medio para los municipios limítrofes al estudiado, y la escala corresponde con una desviación de ±0,25 sobre la media.

Figura 2: Sensibilidad frente al impacto turístico



Sin entrar en mayor detalle, la Figura 2 muestra que la zona de estudio presenta mayor turismo que el entorno, además, es un turismo sensible por la naturaleza y las carcáterísticas propias del turismo rural, con poca antropización. Sin embargo, paradógicamente, aunque la zona de estudio está bajo el amparo de diferentes indicaciones geográficas protegidas, celebra muy pocas fiestas y romerías populares, manifestándose un valor para el indicador de síntesis del tema “tradiciones” inferior al entorno. El indicador de síntesis de “patrimonio” es muy significativo respecto al entorno. Para la elaboración de este gráfico se han considerado 50 indicadores.

Figura 3: Sensibilidad frente al impacto social



Los indicadores de impacto social, tipificados, puntuados y agrupados en los cinco temas que se muestran en la Figura 3 arrojan como resultado la baja sensibilidad frente a este impacto, por ser un número bajo de población afectada, por poseer educación ambiental superior a la media de la región, predisposición/aceptación del proyecto y repercusión en el

empleo. Por el contrario la ejecución del proyecto podría producir una devaluación económica.

4.2 Valoración del impacto

Para la valoración del impacto se agregan los indicadores temáticos en cada una de las dimensiones, realizando su correspondiente ponderación, al tiempo que se considera su contribución positiva (+) o negativa (-) en el indicador de síntesis de cada dimensión (Snyder, 2003).

Así, la función multicriterio para cada una de las dimensiones es:

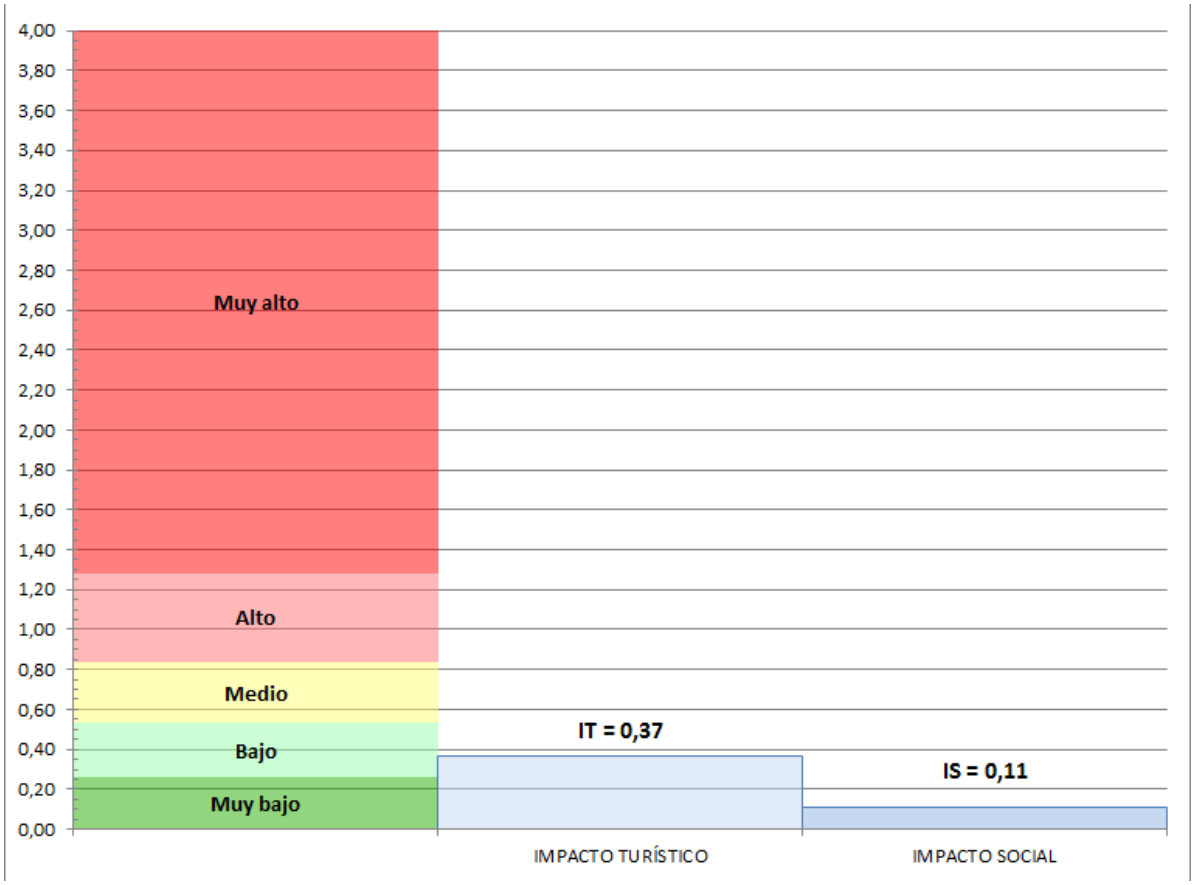
(1)

Donde:

- IS_{Di} Indicador de síntesis para cada dimensión
- C_j Coeficiente (+) o (-) para ponderar cada indicador temático
- IS_j Puntuación para cada indicador temático

En la Figura 4 se muestra gráficamente el resultado de los impactos en cada una de las dos dimensiones.

Figura 4: Cuantificación de los impactos



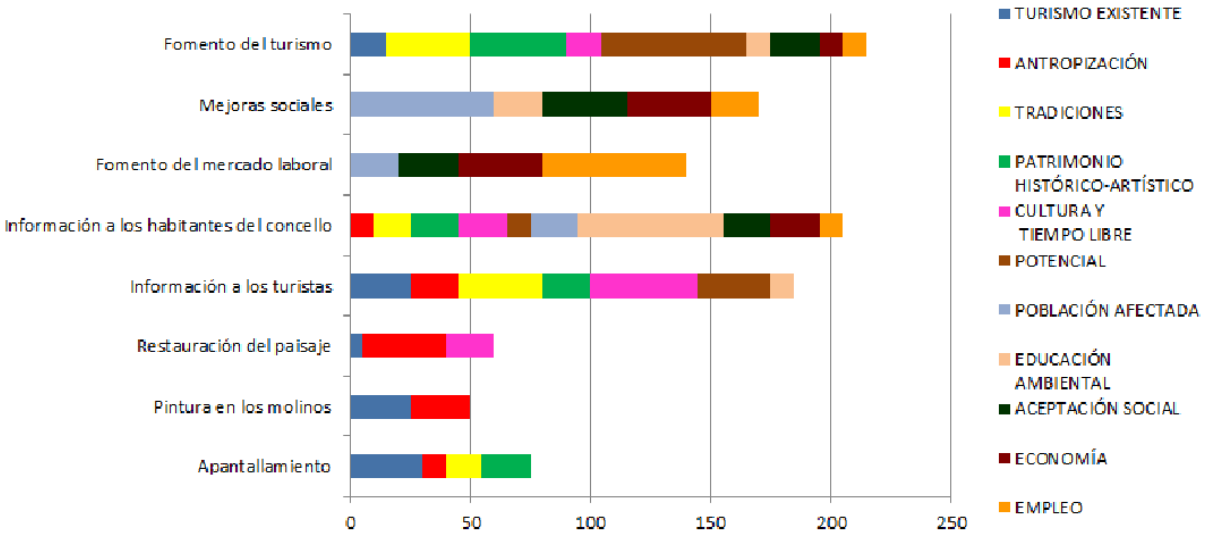
A partir de la gráfica anterior se deduce la escasa incidencia que tendría la construcción del parque eólico desde el punto de vista social y turístico.

Esta valoración del impacto permitiría en un futuro establecer una asignación presupuestaria dedicada a la ejecución de medidas correctoras y de minimización de impactos.

4.3 Medidas correctoras y de minimización

En base al resultado emanado de los indicadores temáticos, se puede construir la gráfica de la Figura 5, en donde se muestra la contribución de cada impacto a cada una de las medidas correctoras que se deben llevar a cabo.

Figura 5: Cuantificación de los impactos



En la Figura 5, la magnitud de cada medida correctora se valora en puntos básicos con el único objetivo de poder establecer prioridades comparativas entre las distintas actuaciones. La cuantía económica que se debe invertir en las medidas correctoras en su conjunto se determinaría por la magnitud del impacto, determinado en el epígrafe anterior.

5. Conclusiones

A continuación se indican las conclusiones del presente estudio:

- La metodología empleada, basada en el análisis multicriterio, se muestra apta para este tipo de estudios, con buena sensibilidad a cambios y alto poder discriminante.
- La bondad de los resultados es proporcional a la calidad de los indicadores que entran a formar parte de la evaluación, por lo que se considera ésta la fase más crítica de su aplicación.
- El método Delphi se considera adecuado para la prospección de información, sin necesidad de ejecutar un análisis cuantitativo mucho más costoso y difícil de ejecutar.
- La representación de resultados mediante indicadores de síntesis y diagramas radiales permiten un acceso inmediato a la caracterización, y por lo tanto facilita el análisis y agregación de la información.
- La metodología es aplicable a diferentes ámbitos territoriales y a otras zonas geográficas.

6. Referencias

Santa María Beneyto, M.J. (1999). *Medio Ambiente en Europa*. Retos para un desarrollo sostenible. Publ. Univ. Alicante.

Belton, V., Stewart, T., 2002. Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach. Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.

Cardín, M., Álvarez, C.J. (2011). Criterios e indicadores de sostenibilidad para el desarrollo rural. Spanish Journal of Rural Development: 2(2), 81-96

Cardín, M., Álvarez, C.J.(2012). Model for Decision-Making in Agricultural Production Planning. Computers and Electronics in Agriculture 82, 87-95

Diaz ER, Marey MF, Riveiro JA, Alvarez CJ (2010) Preservation of Spatial Information in Rasterization Processes: A Practical Approach Using Real Categorical Data and Landscape Metrics Giscience & Remote sensing 47(3), 425-442

Rodríguez-Couso, M., Teijido, M., Alvarez, C.J., 2006. Rural Development in Galicia (North–West Spain). Outlook on Agriculture 35 (3), 183–189.

Roy, B., 1990. Decision-aid and decision making. European Journal of Operational Research 45 (2–3), 324–331.

Snyder, K., 2003. Tools for community design and decision-making. In: Geertman, S., Stillwell, J. (Eds.), Planning Support Systems in Practice. Springer-Verlag, Berlin, pp. 99–120.

02-016

CRITICAL ANALYSIS OF DRAINAGE REGULATIONS IN FORCE APPLIED TO HYDROLOGY.

García Conde, Antonio Jesús [1]; Cortés Pérez, Juan Pedro [2]; López Rodríguez, Fernando [2]; Moral Gracía, Francisco Jesús [2]

[1] Universidad Extremadura/ Diputación Badajoz, [2] Universidad de Extremadura

The rules 5.1 IC and 5.2 IC of drainage constitute the framework for the calculation of flood flow for a period of return on hydrological studies in Spain. These rules were adopted some time ago and faced of the inevitable progress of science and the search for greater precision in the calculations have revealed that should make deep reflection of that legislation. Therefore, there are certain subjective conditions, one of which is the paradigmatic threshold runoff, which make the decision depending on the designer to estimate them throw different results. It is true that the rule makes an effort for fit it, but it fails if you want to set the calculation requirements established for modern times. In this way it aims to make a critical analysis of these regulations, describing these subjective parameters and not quantitatively determined to be taken by the designer and discuss the rules with a calculation of real situations to justify hydrological calculations in sensitive projects such as urban or other civil engineering works

Keywords: *Regulation; hydrology; civil engineering; urban planning*

ANÁLISIS CRÍTICO DE LA NORMATIVA DE DRENAJE EN VIGOR APLICADA A LA HIDROLOGÍA

Las normas 5.1 IC y 5.2 IC de drenaje constituyen el marco de referencia para el cálculo del caudal de avenida para un periodo de retorno determinado en los estudios hidrológicos realizados en España. Estas normas se aprobaron hace bastante tiempo e inevitable el avance de la ciencia y la búsqueda de mayor precisión en los cálculos han puesto de manifiesto que se debe hacer profunda reflexión de la citada normativa. Por esto, existen ciertos condicionantes subjetivos, unos de los cuales es el paradigmático umbral de escorrentía, que hacen que dependiendo de la decisión del proyectista al estimarlos arrojen resultados dispares. Es cierto que la norma hace un esfuerzo por objetivizarlos, pero no lo consigue si se quieren establecer las exigencias de cálculo establecidas para los tiempos actuales. De esta forma se pretende hacer un análisis crítico de las citadas normativas, describiendo estos parámetros subjetivos y no determinados cuantitativamente que debe tomar el proyectista y analizar la normativa con un cálculo de situaciones reales para justificar los cálculos hidrológicos en proyectos tan sensibles como los urbanos u otras obras de ingeniería civil.

Palabras clave: *normativa;hidrología; ingeniería civil; urbanismo.*

Correspondencia: Antonio Jesús García Conde coligarcia@gmail.com

1. Introducción

Las Instrucciones 5.2 de Drenaje de carreteras y la parcialmente derogada 5.1 de Drenaje Superficial son los instrumentos normativos utilizados para el desagüe y drenaje de las carreteras, pero no solo se utilizan en este campo, las mencionadas instrucciones se utilizan para todo tipo de estudios hidrológicos en España. Es por esto que se han convertido en el marco de referencia en toda suerte de estudios e informes dedicados a calcular la máxima avenida que puede ocurrir en un punto concreto de la geografía española para un periodo de retorno (T) establecido.

Ante la mencionada situación y debido al avance de la ciencia es insoslayable advertir que las Instrucciones de Drenaje 5.1 y 5.2 IC se publicaron en el año 1965 y 1999 respectivamente por lo que irremediablemente adolecen de ciertas indefiniciones.

Estas indefiniciones se corresponden fundamentalmente con decisiones que son necesarias tomar para estimar ciertos parámetros - de tal forma que la norma no acota de una manera cuantitativa, objetiva y taxativa- por lo deja cierto margen de subjetividad al proyectista.

Estas indefiniciones o insuficiencias de las normas influyen enormemente en el cálculo del caudal esperado y por lo tanto puede resultar un caudal de agua que no sea el correcto, tanto mayor como menor, con la consiguiente utilización de los recursos económicos necesarios que hay que destinar y el peligro que supone para las vidas humanas.

El objeto del presente artículo es dar a conocer las mencionadas subjetividades, de este modo se logrará que se proyecte el caudal esperado para un periodo de retorno elegido considerando estas insuficiencias y poder así evaluar de una manera cuantitativa la importancia de la toma de estas decisiones técnicas subjetivas que necesariamente se deben tomar para estimar el caudal de cálculo de la avenida a estudiar.

2. Objetivos

Se pretende en el presente texto poner en conocimiento de los redactores de estudios hidrológicos ciertos vicios subjetivos que la normativa actual aboga y que pueden pasar desapercibidos en el cálculo del caudal.

De esta manera el proyectista tendrá una visión más amplia de las normas y de las consecuencias de las decisiones no acotadas cuantitativamente que tiene que tomar y que son decisiones que pueden dar lugar a una importante variación del caudal final dependiendo del criterio adoptado.

3. Estado actual del conocimiento

La instrucción 5.2 IC de Drenaje Superficial (Ministerio de Obras Públicas, 1990) y la parcialmente derogada 5.1 de Drenaje de carreteras (Ministerio de Obras Públicas, 1964) en lo que concierne a drenaje superficial dictaminan de manera específica como se debe proceder para averiguar la intensidad máxima de lluvia para un periodo de retorno concreto, , en adelante T.

De esta manera en la mencionada la normativa se establece el método Racional para de manera general para calcular el caudal para un determinado T, y cuya formulación es la que sigue:

$$Q_c = \frac{C * I_{t_c}^T * S}{K} \quad (1)$$

donde:

Qc es el caudal de cálculo para el período de retorno considerado,

$I_{t_c}^T$ es la intensidad de lluvia máxima para una duración de aguacero igual al tiempo de concentración de la cuenca, para el periodo de retorno considerado,

S es la superficie de la cuenca en estudio, y

K es un coeficiente que mayora el caudal en un 20% para prever posibles puntas de precipitación. Su valor es 3 si se quiere obtener Qc en m3/sg, introduciendo S en Km2 y $I_{t_c}^T$ en mm/h.

El tiempo de concentración que establece la Instrucción 5.2-IC se define como el tiempo que tarda la lluvia en llegar desde el punto más alejado de la cuenca al punto de estudio. Su fórmula en minutos es la siguiente:

$$t_c = 0{,}3\left[\left(\frac{L}{j^{\frac{1}{4}}}\right)^{0.76}\right] \quad (2)$$

Donde:

L: Longitud de la cuenca en Km.
j: Pendiente media en m/m.

También se requieren los datos de la cuenca afluente que se está estudiando. Estos datos son la relación $\left(\frac{I_1}{I_d}\right)$ que se extrae del mapa correspondiente de la Instrucción 5.2-IC, el área o superficie de la cuenca en Km^2 y por último según la localización de la zona de estudio el umbral de escorrentía P_0 de la cuenca, el cual se calcula multiplicando el valor inicial a extraer de las tablas 2.1 y 2.2 de la Instrucción 5.2-IC en función del tipo de suelo de la cuenca, por el coeficiente corrector que se obtiene del mapa correspondiente de la mencionada Instrucción.

El coeficiente de escorrentía se obtiene por la fórmula:

$$C = \frac{\left[\frac{P_{24}^T}{P_0} - 1\right] * \left[\frac{P_{24}^T}{P_0} + 23\right]}{\left[\frac{P_{24}^T}{P_0} + 11\right]^2} \quad (3)$$

Si la razón P_{24}^T/P_0 fuera inferior a la unidad, el coeficiente C de escorrentía podrá considerarse nulo. En caso contrario el valor de C podrá obtenerse mediante la expresión indicada (96).

Las cuencas heterogéneas deberán dividirse en áreas parciales cuyos coeficientes de escorrentía se calcularán por separado, reemplazando luego el término C*S de la fórmula de cálculo (94) por sumatorio de (C*S).

La intensidad de lluvia en mm para un aguacero que dure el tiempo de concentración de la cuenca y para el periodo de retorno considerado viene dada por la expresión:

$$I_{t_c}^T = I_d^T \left[\frac{I_1}{I_d} \right]^{\frac{28^{0,1} - t_c^{0,1}}{28^{0,1} - 1}} \quad (4)$$

Donde:

t_c es el tiempo de concentración de la cuenca en horas.

$\frac{I_1}{I_d}$ es la relación obtenida de la Instrucción 5.2-IC.

I_d^T es la intensidad máxima diaria para el periodo de retorno considerado igual a $P_{24}^T / 24$ en mm/h.

Con todos estos datos se obtiene el valor del caudal de cálculo Q_c en m^3/sg correspondiente al período de retorno deseado y al tiempo de concentración de la cuenca afluente mediante la fórmula expuesta (4).

Para cuencas mayores de 1 km^2 y de hasta 3.000 km^2 o para tiempos de concentración superiores a seis horas, se aconseja utilizar el Método Racional Modificado (Témez, 1991) y (Ferrer, 1993). Este método es igual al anterior pero introduciendo tres coeficientes correctores:

- Elimina la mayoración del caudal del 20% al dividir por 3,6 en vez de 3 quedando la fórmula para el cálculo del caudal con la siguiente expresión:

$$Q_c = \frac{C * I_{t_c}^T * S}{3,6} * K \quad (5)$$

- Un coeficiente de uniformidad K, que corrige el hecho de que la lluvia no es uniforme en el tiempo. Se aplica al final para mayorar el caudal resultante Q_c:

$$K = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14} \quad (6)$$

Con t_c en horas

- Un coeficiente reductor por área, ARF, que corrige el hecho de que la lluvia no es uniforme geográficamente. Se aplicar al principio minorando el valor de P_{24}^{T} con lo que minora el valor del coeficiente de escorrentía y de la intensidad de lluvia correspondiente:

$$ARF = 1 - \frac{\log[S]}{15} \quad (7)$$

Con *S* en km^2.

Así mismo, está disponible un método para el cálculo de la intensidad máxima para distintas duraciones de lluvia y períodos de retorno y se elaboró un mapa de isolíneas. Dicho trabajo se realizó en las estaciones que contaban con pluviógrafo por lo que elaboró el mapa de isolíneas para adaptarlo al resto de España. Esta metodología se recoge posteriormente en la Instrucción 5.2-IC, y en ella incorpora como novedad un mapa actualizado de isolíneas.

Por esto, los datos que se están utilizando actualmente son los mismos que se dedujeron a partir de un análisis “local” de las 21 estaciones existentes por todo el territorio Español, con los datos existentes de las 21 estaciones hasta los años setenta, y ajustándolos posteriormente mediante la distribución de (Gumbel, 1960).

Algunos autores (Salas, 2008) plantea una profunda revisión del método e incorpora las nuevas series que se han producido, utiliza nuevas funciones de distribución ya que parece que en suelo mediterráneo la distribución de Gumbel produce valores por defecto, y además aplica el análisis “regional” al estudio de esta variable utilizando los 63 estaciones con pluviógrafo repartidos actualmente en España, metodología que permite mejorar la fiabilidad de los resultados.

En la formulación propuesta por Salas las fórmulas empleadas se detallan a continuación:

$$I_t = I_{24}\left(\frac{I_1}{I_{24}}\right)^{\frac{24^a - t^a}{24^a - 1}} * h(T) \quad (8)$$

Donde:

I_t = Intensidad media en el periodo t, (la I_{tc}^{T} del método racional)

I_{24} = intensidad media diaria = $P_{24}^{T} / 24$

I_1 = Intensidad media en la hora más lluviosa de ese día

$\frac{I_1}{I_{24}}$ Se obtiene directamente del mapa nº 1 de la Fig. 21

t = periodo de tiempo (horas) para el que se quiere evaluar la intensidad, coincidente con el tiempo de concentración de la cuenca de los otros métodos expuestos.
T = periodo de retorno al que se refiere la intensidad diaria I_{24}

a = valor que se obtiene de los mapas que acompañan a la formulación y que no se exponen en el presente artículo.

h(T) = función que se calcula con las fórmulas que se indican más abajo.

El valor de *h(T)* se obtiene según la siguiente formulación:

• Para t< 1 hora, punto situado en Zona 1 de los mapas

$$h(T) = -0{,}0004 * (Ln(T))^2 + 0{,}0092 * Ln(T) + 1{,}0044 \quad (9)$$

• Para t < 1 hora, punto situado en Zona 2 de los mapas.

$$h(T) = -0{,}007 * (Ln(T))^2 + 0{,}1066 * Ln(T) + 0{,}9086 \quad (10)$$

• Para t > 1 hora, punto situado en Zona 1 de los mapas.

$$h(T) = 0{,}0012 * (Ln(T))^2 - 0{,}0136 * Ln(T) + 1{,}0218 \quad (11)$$

• Para t>1 hora, punto situado en Zona 2 de los mapas.

$$h(T) = -0{,}0037 * (Ln(T))^2 + 0{,}055 * Ln(T) + 0{,}9536 \quad (12)$$

El caudal de cálculo se obtiene mediante una fórmula similar a la empleada en la Instrucción 5.2-IC:

$$Q_c = \frac{C * I_t * S}{3} \quad (13)$$

Existe información publicada con posterioridad a las Instrucciones 5.1 y 5.2 IC para lograr una mejor catalogación del suelo y que sin llegar a resolver del todo el problema planteado si que puede limitar significativamente la estimación.

La tabla 1 proporciona la estimación del Umbral de escorrentía P_0 de **(**Surendra& Singh, 2003) que proporciona límites cuantitativos con la humedad previa del suelo

Tabla 1: Humedad previa del suelo

	Precipitación total en los 5 días anteriores	
Humedad previa	Plantas en periodo latente	Plantas en periodo de crecimiento
I (seco)	Menos de 13 mm	menos de 35 mm
II (normal)	De 13 a 32 mm	De 35 a 52 mm
III (húmedo)	Más de 32 mm	Más de 52 mm

Nota: Humedad previa del suelo en los cinco días anteriores para el estudio de la precipitación.

Para la estimación del Umbral de escorrentía proporcionado por las tablas de la Instrucción 5.2-IC a las condiciones de humedad I ó III se usan tablas numéricas de (Singh, 1992)

Se han elaborado (Sánchez San Román, 2008) las siguientes relaciones, que proporcionan unos resultados muy similares a las tablas:

$$(P0\ I) = (P0\ II) \cdot 2{,}31 \qquad (14)$$

$$(P0\ III) = (P0\ II) \cdot 0{,}43 \quad (\text{para } (P0\ II)>35) \qquad (15)$$

$$(P0\ III) = (P0\ II)2 \cdot 0{,}0072 + (P0\ II) \cdot 0{,}167 \quad (\text{para } (P0\ II)<35) \qquad (16)$$

(P0 II) = P0 calculado para condiciones de humedad previa II
(P0 I) = P0 para condiciones de humedad previa I
(P0 III) = P0 para condiciones de humedad previa III

Por lo tanto, las tablas de la Instrucción siempre proporcionan un valor para un estado de humedad intermedio o normal (grado II) por lo que su exactitud parece ser poca ya que no considera si la región es históricamente seca o húmeda, simplemente se limita a aplicar un factor corrector proporcionado por la Fig. 2.5 de la Instrucción 5.2-IC para considerar una humedad previa seca, siendo este factor claramente inexacto y claramente desfasado para una instrucción que modela todo un desarrollo tan importante como es el caudal de cálculo para el análisis de llanuras de inundación.

Existe así mismo la Tabla de (López Alonso, 2001) cuantificando la tasa de infiltración.

Tabla 2: Tasa de infiltración

SUELO	CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN CON HUMEDAD ELEVADA	TASA DE INFILTRACIÓN ($mm \cdot h^{-1}$)	PROFUNDIDAD	TEXTURA	DRENAJE
A	Alta	7,62-11,43	Elevada	Arenosa Areno-limosa	Excesivo
B	Moderada	3,81-7,62	Mediana a elevada	Franca-arenosa Franca Franco-arcillo-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Escasa	1,27-3,81	Mediana a pequeña	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy escasa	0-1,27	Con horizontes arcillosos. Litosuelos. Suelos con nivel freático permanentemente alto	Arenosa	Pobre o muy pobre

Nota: Tabla de López Alonso para cuantificar la tasa de infiltración

Del mismo modo, se debe recurrir a los mapas forestales publicados por el Ministerio donde se dispone de información sobre la vegetación arbórea del MF-2005 y clasifica en tres grandes usos del parámetro del umbral de escorrentía:

Masas forestales: bosque o cuando es una plantación de aprovechamiento regular con una fracción de cabida cubierta total de como mínimo 65%.

Plantaciones de aprovechamiento regular: bosque de plantación.

Praderas: dehesa.

La caracterización de cada uno de estos usos se ha realizado a partir de los datos de la fracción de cabida cubierta según las normas de equivalencias que se muestran en la tabla 3 (Monserrat & Blanco & Ramírez, 2005).

Tabla 3: Humedad previa del suelo

Uso de suelo según P_0	Estructura en MF-2005	Tipo	Reglas de definición
Pradera	Dehesa	Media	fccarb ≤ 30
		Buena	fccarb > 30
Plantación regular de aprovechamiento forestal	Bosque de plantación	Pobre	fcct < 25%
		Media	25 ≤ fcct < 65
Masa forestal	Bosque o bosque de plantación con fcct ≤ 65%	Muy clara	fcct ≤ 10%
		Clara	10 < fcct ≤ 30
		Media	30 < fcct ≤ 65
		Espesa	65 < fcct ≤ 90
		Muy espesa	fcct > 90

Nota: Definición de las masas forestales y las plantaciones regulares de aprovechamiento forestal para el establecimiento de la condición hidrológica de los suelos. Donde Fccarb es la fracción de cabida cubierta de la masa arbórea y Fcct es la fracción de cabida cubierta total

4. Materiales y métodos

Se ha estudiado la influencia de varios factores que quedan a la buena estimación y decisión del proyectista a la hora de aplicar método Racional expresado en las Instrucciones 5.1 y 5.2 IC de drenaje de carreteras.

Por esto, un estudio hidrológico puede variar enormemente dependiendo de las decisiones que el ingeniero redactor tome. Ya que queda al arbitrio técnico del Proyectista- dentro de unos límites- valorar ciertos parámetros que entran en la formulación del Método racional. En concreto el primer dato que se debe estimar es el Umbral de escorrentía que es la cantidad de lluvia a partir de la cual se produce escorrentía superficial debido a que la instrucción supone que hasta que el terreno no está saturado de agua el agua de lluvia caída se infiltra en el terreno.
Como es lógico este Umbral de Escorrentía, P_0, depende del tipo del terreno existente, así la Instrucción 5.1 IC expresa en su tabla 2.1 el Umbral de Escorrentía en función del tipo de terreno , y es aquí donde el caudal finalmente a calcular puede variar dependiendo de la elección del Proyectista.

La citada tabla 2.1 depende de cuatro factores:

- El uso de la tierra
- Pendiente
- Características hidrológicas

· Grupo de suelo

A su vez, el grupo de suelo se obtiene por la tabla 2.2 de la Instrucción 5.2-IC.

A su vez, esta última tabla depende de otros cuatro factores:

1. Infiltración
2. Potencia
3. Textura
4. Drenaje

En efecto, la mencionada tabla 2.1 clasifica los terrenos en térreos en Barbecho, cultivos en hilera, Cereales de invierno, rotación de cultivos pobres, rotación de cultivos densos, praderas, Plantaciones regulares aprovechamiento forestal y Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.). Depende del buen criterio del proyectista elegir un tipo de terreno u otro y dado que una cuenca no es homogénea y más en las cuencas grandes, no se puede marcar un punto exacto del paso de un tipo de terreno a otro. Es más, entre la elección de un tipo de terreno u otro, por ejemplo entre la elección de un terreno en rotación de cultivos pobres y otro en rotación de cultivos densos existe el albedrío acotado del proyectista. ¿Dónde se marca la diferencia que no explica la 5.1 IC?. El segundo parámetro de la tabla es la pendiente ya que diferencia entre terrenos de más del 3% y menos del 3% pero, ¿Qué ocurre en terrenos con una pendiente del 3% exactamente o muy próxima?, ¿varían mucho los resultados entre la elección de una pendiente u otra en este caso concreto?. Estas respuestas se deben resolver en el presente artículo.

El proyectista también debe estimar las características hidrológicas del suelo en N o R en los cinco primeros grupos de terreno es decir, Barbecho, cultivos en hilera, Cereales de invierno, rotación de cultivos pobres, rotación de cultivos densos, donde N denota cultivo según las curvas de nivel y R denota cultivo según la línea de máxima pendiente.

Debe clasificar también el tipo de terreno en pobre, medio, bueno y muy bueno en las praderas y en plantaciones regulares aprovechamiento forestal. Y por último según las características hidrológicas debe clasificar las masas forestales (bosques, monte bajo, etc.) en media, clara, muy clara ,espesa o muy espesa.

Finalmente, se debe estimar también el grupo de suelo en A, B, C o D, siendo A un suelo con una infiltración Rápida, una potencia grande, una textura arenosa-limosa y un drenaje perfecto. Un grupo de suelo B es aquel con una infiltración moderada, una potencia de media a grande, una textura franco-arenosa y un drenaje de buena a moderada. Un suelo C consiste en una infiltración lenta, una potencia de media a pequeña, una textura Franco-arcillosa Franco-arcillo -limosa Arcillo-arenosa y un drenaje imperfecto. Y un suelo D tiene una infiltración muy lenta, una potencia pequeño (litosuelo) u horizontes de arcilla, una textura arcillosa y un drenaje pobre o muy pobre.

Como se apuntaba, todos estos parámetros son parámetros que se deben estimar ya que la instrucción no define cuantitativamente cuando un suelo tiene por ejemplo una masa forestal densa, muy densa o clara. También se debe estimar cuando un suelo tiene una característica hidrológica buena, pobre o media o cuando un terreno presenta un drenaje bueno, muy bueno, pobre o imperfecto.

También deja a la elección subjetiva del proyectista la textura del suelo, si es arenoso, franco arenoso, franco-arenoso-limoso, etc.

Es indudable a la vista de lo expuesto que la Instrucción 5.2 IC no es muy precisa en la estimación de estos parámetros ya que no fija criterios cuantitativos para catalogar un terreno y la estimación de los indicadores mencionados dependen de criterios cualitativos sometidos a la buena técnica y criterio del proyectista. Es por esto que se puede- siempre dentro de la lógica- catalogar un mismo terreno en dos clasificaciones diferentes, pudiendo ambas catalogaciones ser válidas y argumentarse técnicamente pero de una manera subjetiva.

Queda fuera de toda duda que para acotar estos márgenes de discrecionalidad y poder ofrecer un caudal de cálculo fidedigno y fiable se deben adoptar criterios cuantitativos en vez de cualitativos, y de esta manera delimitar de una manera eficaz el margen de discrecionalidad existente en la actualidad en los parámetros mencionados.

Por esto se deben establecer límites numéricos (cuantitativos) a los parámetros para catalogar un suelo y así establecer su umbral de escorrentía. Se debe definir, por ejemplo, a partir de cuantos mm se considera que un suelo presenta un drenaje muy bueno o a partir de cuantos mm el drenaje debe considerarse como pobre. Del mismo modo se deben establecer criterios numéricos en función de la densidad de la vegetación para catalogar un suelo como masa forestal densa, muy densa o clara, por ejemplo. Y así con todos los parámetros citados que se subordinan a un arbitrio del autor del estudio.

Además de todo lo anotado anteriormente, la Instrucción 5.1 IC presupone para todos los cálculos se realizan sobre un suelo húmedo existente, es decir, las tablas que proporcionan el valor del Umbral de escorrentía presuponen un grado medio de humedad (Sánchez San Román, 2008). Si en los días que anteceden a la precipitación estudiada para el período de retorno se produjeron lluvias fuertes el grado de infiltración del suelo será menor, por lo que el valor real de P_0 tendrá que ser corregido a la baja. En el caso extremo contrario, si los días anteriores no se ha producido precipitación, el grado de humedad del suelo será nulo y la capacidad de infiltración del suelo será mayor, por lo que hay que corregir el Umbral de escorrentía al alza.

Se toma como ejemplo la localidad de Manchita. Con sus datos de lluvias máximos anuales se obtienen los siguientes datos, en concreto la intensidad de máxima diaria para diferentes periodos de retorno.

En la Tabla 4 podemos observar los valores de la Precipitación en mm para diferentes periodos de retorno.

Tabla 4: Precipitación máxima diaria para un periodo de retorno.

Período de Retorno T	Frecuencia F(x)=1-(1/T)	Precipitacion maxima diaria P_{24}^T (mm)	Intensidad media diaria máxima $I_d^T = P_{24}^T/24$ (mm/h)	Intensidad máx. horaria $I_{60}^T = I_d^T * (I_1/I_d)^{\wedge(exp=t)}$ (mm/h)	Precipitacion maxima diaria P_{24}^T (mm)	**Frecuencia** (probabilidad de que se produzca el caudal en el próximo año)	**Riesgo de fallo** (probabilidad de que se produzca el caudal en el T)	**Riesgo de fallo en 30años** (probabilidad de que se produzca el caudal en 30 años)
2	0,5	38,68	1,61	16,12	38,68	50,00%	75,00%	100%
5	0,8	49,02	2,04	20,42	49,02	20,00%	67,23%	99,88%
10	0,9	55,87	2,33	23,28	55,87	10,00%	65,13%	95,76%
20	0,95	62,43	2,60	26,01	62,43	5,00%	64,15%	78,54%
25	0,96	64,52	2,69	26,88	64,52	4,00%	63,96%	70,61%
50	0,98	70,93	2,96	29,56	70,93	2,00%	63,58%	45,45%
100	0,99	77,30	3,22	32,21	77,30	1,00%	63,40%	26,03%
500	0,998	92,03	3,83	38,34	92,03	0,20%	63,25%	5,83%

Nota: Cálculo de la precipitación máxima diaria para un periodo de retorno, y otros valores a destacar.

El umbral de escorrentía Po se obtiene de la tabla 2.1 de la instrucción multiplicando los valores en ella contenidos por el coeficiente corrector correspondiente, en este caso 2,5.

De una manera correcta, pero sin lograr eliminar cierta subjetividad personal, se estima que el terreno existente se clasifica como Pradera con una característica hidrológica pobre y grupo de suelo C. Con estos parámetros obtenemos un umbral de escorrentía P_0 de 30 mm según se indica en la tabla 5.

Tabla 5: Umbral de escorrentía

CUENCA	
Relación I_1/I_d:	10
Area (Km^2)	1,125
Longitud (Km)	1,8
Pend.media (m/m)	0,07
Umbral escorrentía (Po)	30

Nota: Umbral de escorrentía y otros parámetros.

Como se puede comprobar en la Tabla 5 el umbral de escorrentía P_0 obtenido es de 30 mm.

En la Tabla 6 se puede observar el caudal Q_c para un Periodo de Retorno T de 500 años.

Tabla 6: Precipitación máxima diaria para un periodo de retorno.

Para T=500 años:

Precipitacion maxima diaria P_{24}^T (mm)	92,03
Tc (minutos)	46,63
Coef. Escorrentía	0,272344455

Duración aguacero = tiempo concentración (min)	Int. Lluvia $I_{tc}^T = I_d^T * (I_1/I_d)^{exp}$ (mm/h)	exponente	CAUDAL m3/sg
5	138,06	1,56	14,10035225
10	99,66	1,41	10,17811300
20	70,27	1,26	7,177019554
30	56,63	1,17	5,783523742
40	48,33	1,10	4,935501585
50	42,60	1,05	4,350481490
60	38,34	1,00	3,916073294
70	35,03	0,96	3,57740591
80	32,35	0,93	3,304054298
90	30,13	0,90	3,077602107
100	28,26	0,87	2,886160325
110	26,65	0,84	2,72166482
120	25,25	0,82	2,578427113
46,63	**44,32**	1,06	**4,526656819**

Nota: Estimación del caudal para un T y Tc= D.

En la Tabla 6 se puede comprobar que el Caudal Q_c para un periodo de retorno T= 500 años y una duración del aguacero D igual al tiempo de concentración de la cuenca es 4,526 m^3/s.

Al no haber límites cuantitativos podemos variar los parámetros de las características del mismo suelo sin caer en ningún error técnico, simplemente variamos nuestro grado de apreciación del terreno (subjetivad) y clasificar el terreno como pradera con característica hidrológica media y grupo C, obteniéndose un umbral de escorrentía P_0 de 42.5 mm, un 41,6% más.

El Caudal de cálculo se obtiene de la tabla 7.

Tabla 7: Caudal de cálculo

Para T=500 años:

Precipitacion maxima diaria P_{24}^T (mm)	92,03
Tc (minutos)	46,63
Coef. Escorrentía	0,16919472

Duración aguacero = tiempo concentración (min)	Int. Lluvia $I_{tc}^T = I_d^T * (I_1/I_d)^{exp}$ (mm/h)	exponente	CAUDAL m3/sg
5	138,06	1,56	8,75988153
10	99,66	1,41	6,32317991
20	70,27	1,26	4,458742584
30	56,63	1,17	3,593029585
40	48,33	1,10	3,066193553
50	42,60	1,05	2,702748256
60	38,34	1,00	2,432871002
70	35,03	0,96	2,222472985
80	32,35	0,93	2,052652565
90	30,13	0,90	1,911968536
100	28,26	0,87	1,793034817
110	26,65	0,84	1,690841545
120	25,25	0,82	1,601854737
46,63	**44,32**	1,06	**2,81219765**

Nota: Tabla Caudal de cálculo variando la características del terreno.

Como se puede examinar en la tabla 7, el caudal Q_c obtenido es de 2,812 m^3/s, es decir, un 37,87 % menos. Lógico ya que anteriormente había aumentado el umbral de escorrentía P_0.

5. Resultados

En el presente artículo se han realizados varios cálculos donde se realizan distintas clasificaciones razonadas del terreno para un mismo suelo, siempre estando dentro de la lógica y jugando con el arbitrio que permiten las normas la norma 5.1 y 5.2 IC. Así, dentro de estos criterios lógicos se han ido variando los distintos parámetros y se puede observar la variación del Umbral de escorrentía y por lo tanto del caudal de cálculo final en función de dichos parámetros.

De este modo, se pretende dar un resultado de la proporción de cuánto puede variar el resultado (P_0, Q_c) de un estudio hidrológico en función de las arbitrariedades "razonadas" que permite la normativa al no acotar cuantitativamente y con valor numérico los parámetros anteriormente mencionados.

En el presente estudio se puede comprobar que se pasa de un umbral de escorrentía P_0 de 30 mm y un caudal Q_c de 4,526 m3/s a un umbral de escorrentía P_0 de 42,5 mm, un 41,6% más, y a un caudal Q_c de 2,812 m3/s, un 37,87 % menos.

Se ha estudiado, a modo de ejemplo, una localidad y una variación de los parámetros descritos, pero se han realizado más simulaciones y se constata que que una pequeña variación en la estimación subjetiva de uno de los parámetros de clasificación del suelo y de sus características pueden variar de una manera muy significativa el umbral de escorrentía y por tanto el caudal para un periodo de retorno considerado. Por lo tanto, la elección de estos parámetros influye enormemente en los resultados de los estudios hidrológicos y por tanto en la estimación de las crecidas de los ríos y en los drenajes de las distintas obras aplicadas a la ingeniería civil.

Así mismo, es necesario acentuar que existen otros factores que influyen enormemente en los resultados, como el grado de humedad del suelo en los días anteriores o la potencia del suelo clasificado, factores que son imprevisibles y que alterar profundamente el caudal estimado.

Por último, como se ha apuntado anteriormente, es imprescindible destacar que existen datos ajenos a la mencionada normativa que pueden ayudar a la hora de estimar con mejor precisión el tipo de terreno y sus características para la evaluación del caudal de cálculo de una determinada avenida.

BIBLIOGRAFÍA

Instrucción de Carreteras, Norma 5.2-IC de Drenaje Superficial. Orden de 14 de mayo de 1990. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. BOE núm. 123 de 23 de mayo de 1990.

Instrucción 5.1-IC Drenaje. (1965). Marid. BOE de 21 de junio de 1965.

Gumbel, E. J. (1960). Multivariate Extremal Distributions. Bull. Inst. Internat. de Statistique.

López Alonso, R. (2001). Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método del número de curva del SCS. Montes.

Ministerio de Fomento. (1999) Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular. Madrid. Fomento.

Montserrat Ferrer J., Javier Blanco, J.(2005). Tecnosylva Pol.Ind. León CEEI, 24231 Onzonilla.

Salas Regalado, L; Carretero Díez, L. (2008). Regionalización de leyes IDF para el uso de modelos hidrometeorológicos de estimación de caudales. Universidad Politécnica de Madrid EUIT. Forestal U.D. Hidráulica e Hidrología.

http://web.usal.es/~javisan/hidro/ Sánchez San Román, F.J. Hidrología e hidrogeología Disponible en Universidad de Salamanca. Consultada por primera vez el 20 de junio de 2008.

Singh, V.P. (1992). Elementary Hydrology. Prentice Hall. New York. USA.

Surendra Kumar, M., Singh, V.(2003). Soil Conservation Service (SCS) Curve number methodology. Water science and Technology Library. New York.

Témez, J.R. (1991). Extended and improved rational method. Version of the highways administration of Spain". Madrid. XXIV Congreso Internacional de la IAHR.

02-017

DEFORMATION INFLUENCE IN THE CALCULUS OF STRAIGHT BEAMS UNDER TRACTION-COMPRESSION EFFORT

Gimena Ramos, Faustino N. [1]; Gonzaga Vélez, Pedro [1]; Goñi Garatea, Mikel [1]; Sarría Pueyo, Fernando [2]; Gimena Ramos, Lázaro [1]

[1] Universidad Pública de Navarra, [2] Dpto. I+D. FSESTRUCTURAS

To approach the influence of the deformation in the calculus of beams, the Intrinsic Structural Calculus Method is used. This method of calculus is a model of analysis of structures composed by linear resistant elements that permits to solve the formulation of the effect in the section (differential equation obtained when equilibrium, kinematics and compatibility laws are applied) through analytic, numeric and graphical procedures. In this model, supports of the beam are assimilated to the boundary conditions of the mathematical problem in the resolution procedure. In this communication, it is presented the study of straight beams under actions that generate traction-compression. Efforts and deformation are determined, been considered the action that acts gradually over the straight beam. Therefore, in this study, a nonlinear analysis of the structural element is exposed.

Keywords: *"Structural calculus methods"; "resolution procedures" ; "efforts" ; "deformations" ; "traction-compression" ; "nonlinear analysis"*

INFLUENCIA DE LA DEFORMACIÓN EN EL CÁLCULO DE PIEZAS RECTAS SOMETIDAS A TRACCIÓN-COMPRESIÓN

Para abordar la influencia de la deformación en el cálculo de piezas se utiliza el Método Intrínseco de Cálculo de Estructuras. Este método de cálculo es un modelo de análisis de estructuras conformadas por elementos resistentes lineales, que permite resolver la formulación del efecto en la sección (ecuación diferencial obtenida al aplicar las leyes de equilibrio, comportamiento y compatibilidad) mediante procedimientos analíticos, numéricos y gráficos. En este modelo, las sustentaciones de la pieza se asimilan en los procedimientos de resolución de la formulación a las condiciones de contorno del problema matemático. En esta comunicación, se presenta el estudio de piezas rectas sometidas a acciones que generan tracción-compresión. Se determina la solicitación y deformación al considerar que la acción que la genera actúa progresivamente sobre la pieza recta. Por tanto, en este estudio, se expone un análisis no lineal del elemento estructural.

Palabras clave: *"Métodos de cálculo estructural"; "procedimientos de resolución" ; "solicitaciones" ; "deformaciones" ; "tracción-compresión" ; "análisis no lineal"*

Correspondencia: Faustino N. Gimena Ramos faustino@unavarra.es

1. Introducción

Se define Análisis Estructural (Gimena, Gonzaga & Gimena 1998) como la parte del proceso de proyecto que comprende el diseño, cálculo y comprobación de la estructura. Es esta una disciplina técnica y científica, un conjunto de teorías y técnicas, que permite establecer las condiciones de idoneidad de la estructura, respecto a su cometido o finalidad constructiva. Por tanto, el Análisis Estructural tiene establecido su objeto en la estructura y su finalidad en el cálculo como comprobación de lo diseñado.

Al proyectar, la comprobación de la seguridad, rigidez y durabilidad exigibles a cada elemento resistente de una estructura, debiera ser precisa, inmediata y sencilla. No deben ser necesarios durante el cálculo más datos que los derivados de las condiciones formales y materiales del diseño, junto a las consideraciones estadísticas y normativas propias del sistema de acción y del material. A su vez, tanto los conocimientos técnicos y científicos, como los instrumentos necesarios para abordar el cálculo no deben suponer un esfuerzo intelectual o formativo añadido al proceso de diseño. La idoneidad de los procedimientos a emplear debe traducirse en exactitud, programabilidad informática e inmediatez de comunicación. En definitiva, el método de análisis y cálculo estructural que se emplee debe ser capaz de integrarse como una parte más de la actividad creativa y compleja de proyecto sin interferirlo. Esta visión ideal del cálculo estructural será posible si se organiza de forma sistemática la información previa a manejar (datos), si los principios e hipótesis simplificadores son capaces de traducirse en un modelo de comportamiento mecánico (formulación), y si se pueden extraer de dicho modelo valores útiles para el dimensionado (resultados).

El Método Intrínseco de Cálculo de Estructuras (Gonzaga & Gimena, 1998) es un modelo de análisis de estructuras conformadas por elementos resistentes lineales, que permite resolver la formulación del efecto en la sección (ecuación diferencial obtenida al aplicar las leyes de equilibrio, comportamiento y compatibilidad) mediante procedimientos analíticos, numéricos y gráficos. En este modelo, las sustentaciones de la pieza se asimilan en los procedimientos de resolución de la formulación a las condiciones de contorno del problema matemático.

En esta comunicación se aborda, con este método de cálculo, la influencia de la deformación en el cálculo de elementos resistentes lineales. Se determina la solicitación y deformación al considerar que la acción que la genera actúa progresivamente sobre la pieza recta. Se expone un análisis no lineal del elemento estructural. Se presenta el estudio de barras sometidas a acciones que generan tracción-compresión.

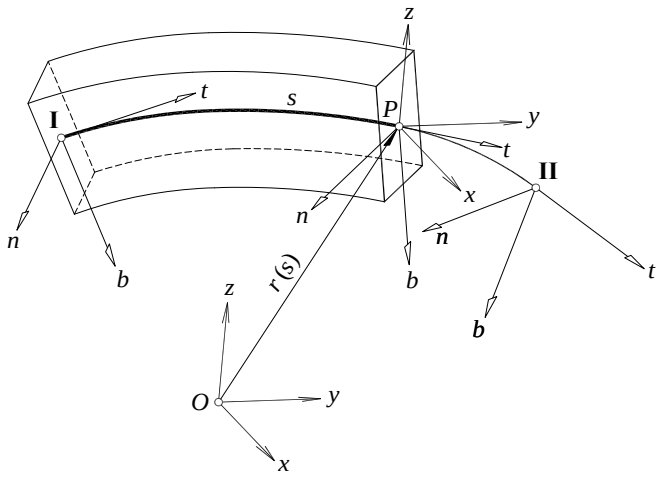
2. Pieza curva

En Resistencia de Materiales (Love, 1944; Parcel & Moorman, (1955); Timoshenko 1957) es común definir el elemento resistente unidimensional, como aquel que se genera cuando el baricentro de su sección plana recorre perpendicularmente los puntos de una línea directriz. Para comenzar la notación del problema estructural de la pieza curva, se parte del vector de posición de los puntos P de su directriz respecto a un origen O, como se puede observar en la figura 1. Dicho vector se expresa en función de la longitud de arco s, como:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(s) \tag{1}$$

Todo punto de la directriz puede expresarse en un sistema de coordenadas globales o cartesianas P_{xyz} cuyos vectores unitarios son i, j, y k, o mediante el sistema de referencia natural P_{tnb} (Sokolnikoff & Redeffer 1958).

Figura 1: Pieza curva y sus sistemas de referencia.



En este último sistema de referencia, los vectores unitarios son:

$$\mathbf{t} = D\mathbf{r}\ ;\ \mathbf{n} = D^2\mathbf{r} \Big/ \left|D^2\mathbf{r}\right|\ ;\ \mathbf{b} = \mathbf{t} \wedge \mathbf{n} \tag{2}$$

donde $D = d/ds$ es el operador de derivación respecto a la longitud de arco s.

Para referir las variables del problema estructural a uno u otro sistema de referencia, es necesario conocer la relación que se establece entre ambos, cuya expresión es:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n} \\ \mathbf{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \upsilon_{tx} & \upsilon_{ty} & \upsilon_{tz} \\ \upsilon_{nx} & \upsilon_{ny} & \upsilon_{nz} \\ \upsilon_{bx} & \upsilon_{by} & \upsilon_{bz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{i} \\ \mathbf{j} \\ \mathbf{k} \end{bmatrix} \tag{3}$$

La matriz de cambio de sistema de referencia anterior se compone mediante los cosenos directores de los vectores unitarios.

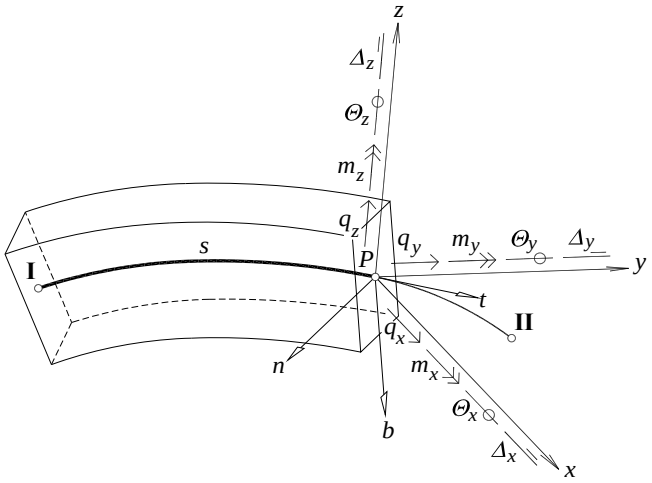
Establecida la posición de la directriz de la pieza en el espacio, las características geométricas de la sección, área $A(s)$, coeficientes de cortadura $\alpha_n(s)$, $\alpha_{nb}(s)$, $\alpha_b(s)$, y momentos de inercia $I_t(s)$, $I_n(s)$, $I_b(s)$, $I_{nb}(s)$, se anotan como funciones de la longitud de arco s. Lo mismo sucede respecto a las características del material, cuando se anotan los módulos de elasticidad longitudinal $E(s)$ y transversal $G(s)$.

La acción, sea de tipo fuerza $\mathbf{q}$, momento $\mathbf{m}$, giro $\boldsymbol{\Theta}$ o desplazamiento $\boldsymbol{\Delta}$, proyectada en las tres direcciones del espacio según los sistemas de coordenadas globales o naturales, y aplicada en la directriz, se anota vectorialmente en ese orden, como:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{q} \\ \mathbf{m} \\ \boldsymbol{\Theta} \\ \boldsymbol{\Delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -q_x & -q_y & -q_z \\ -m_x & -m_y & -m_z \\ \Theta_x & \Theta_y & \Theta_z \\ \Delta_x & \Delta_y & \Delta_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{i} \\ \mathbf{j} \\ \mathbf{k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -q_t & -q_n & -q_b \\ -m_t & -m_n & -m_b \\ \Theta_t & \Theta_n & \Theta_b \\ \Delta_t & \Delta_n & \Delta_b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n} \\ \mathbf{b} \end{bmatrix} \tag{4}$$

En la figura 2 se representa el vector acción proyectado en las tres direcciones del sistema de referencia global.

Figura 2: Representación del vector acción en coordenadas globales.



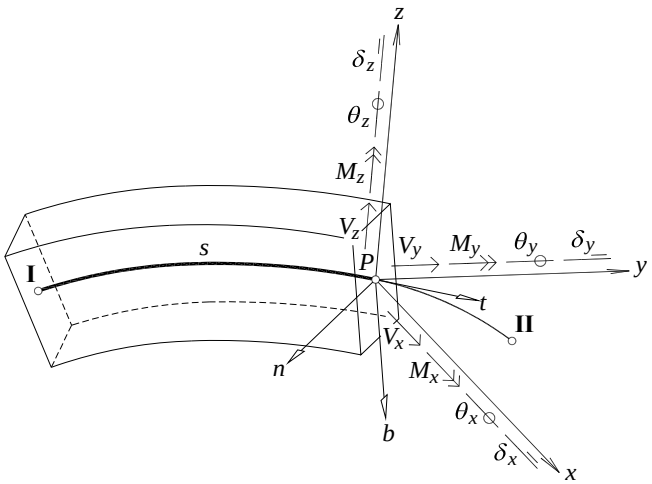
Asumiendo los principios e hipótesis habituales de la resistencia de materiales y considerando la tensión $\boldsymbol{\tau}(\sigma,\tau_n,\tau_b)$ asociada a la sección normal en cualquier punto P_{tnb} de la directriz, los efectos de tipo fuerza $\mathbf{V}$, momento $\mathbf{M}$, giro $\boldsymbol{\theta}$ y desplazamiento $\boldsymbol{\delta}$ son:

$$\begin{bmatrix}\mathbf{V}\\ \mathbf{M}\\ \boldsymbol{\theta}\\ \boldsymbol{\delta}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}V_x & V_y & V_z\\ M_x & M_y & M_z\\ \theta_x & \theta_y & \theta_z\\ \delta_x & \delta_y & \delta_z\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{i}\\ \mathbf{j}\\ \mathbf{k}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}N & V_n & V_b\\ T & M_n & M_b\\ \phi & \theta_n & \theta_b\\ u & v & w\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{t}\\ \mathbf{n}\\ \mathbf{b}\end{bmatrix} \tag{5}$$

donde $\mathbf{V}=\int_A \sigma\, dA\,\mathbf{t}+\int_A \tau_n\, dA\,\mathbf{n}+\int_A \tau_b\, dA\,\mathbf{b}$ es la solicitación de tipo fuerza y $\mathbf{M}=\int_A\left(\tau_b n-\tau_n b\right)dA\,\mathbf{t}+\int_A \sigma b\, dA\,\mathbf{n}-\int_A \sigma n\, dA\,\mathbf{b}$ es la solicitación de tipo momento.

En la figura 3 se representa el vector efecto proyectado en las tres direcciones del sistema de referencia global.

Figura 3: Representación del vector efecto en coordenadas globales.



Aplicando las leyes de equilibrio, comportamiento y compatibilidad, se relacionan acciones y efectos, obteniéndose el siguiente sistema diferencial, que representa el comportamiento estructural de la pieza curva (Gimena, Gimena & Gonzaga 2008).

$$
\begin{array}{cccccccccccc}
DV_x & & & & & & & & & & + q_x = 0 \\
 & DV_y & & & & & & & & & + q_y = 0 \\
 & & DV_z & & & & & & & & + q_z = 0 \\
 & & + \upsilon_{ty} V_z & + DM_x & & & & & & & + m_x = 0 \\
 & & - \upsilon_{tx} V_z & & + DM_y & & & & & & + m_y = 0 \\
- \upsilon_{ty} V_x & + \upsilon_{tx} V_y & & & & + DM_z & & & & & + m_z = 0 \\
 & & - \gamma_{xx} M_x & - \gamma_{yx} M_y & - \gamma_{zx} M_z & & + D\theta_x & & & & - \Theta_x = 0 \\
 & & - \gamma_{xy} M_x & - \gamma_{yy} M_y & - \gamma_{zy} M_z & & & + D\theta_y & & & - \Theta_y = 0 \\
 & & - \gamma_{xz} M_x & - \gamma_{yz} M_y & - \gamma_{zz} M_z & & & & + D\theta_z & & - \Theta_z = 0 \\
- \varepsilon_{xx} V_x & - \varepsilon_{yx} V_y & - \varepsilon_{zx} V_z & & & & & & + \upsilon_{ty} \theta_z & + D\delta_x & - \Delta_x = 0 \\
- \varepsilon_{xy} V_x & - \varepsilon_{yy} V_y & - \varepsilon_{zy} V_z & & & & & & - \upsilon_{tx} \theta_z & + D\delta_y & - \Delta_y = 0 \\
- \varepsilon_{xz} V_x & - \varepsilon_{yz} V_y & - \varepsilon_{zz} V_z & & & - \upsilon_{ty} \theta_x & + \upsilon_{tx} \theta_y & & & + D\delta_z & - \Delta_z = 0
\end{array}
\tag{6}
$$

donde los coeficientes de los momentos que producen giros unitarios son:

$$\gamma_{xx} = \frac{\upsilon_{tx}^2}{GI_t} + \frac{\upsilon_{nx}^2 I_b + 2\upsilon_{nx}\upsilon_{bx} I_{nb} + \upsilon_{bx}^2 I_n}{E(I_n I_b - I_{nb}^2)}; \gamma_{xy} = \gamma_{yx} = \frac{\upsilon_{tx}\upsilon_{ty}}{GI_t} + \frac{\upsilon_{nx}\upsilon_{ny} I_b + (\upsilon_{nx}\upsilon_{by} + \upsilon_{bx}\upsilon_{ny}) I_{nb} + \upsilon_{bx}\upsilon_{by} I_n}{E(I_n I_b - I_{nb}^2)};$$

$$\gamma_{yy} = \frac{\upsilon_{ty}^2}{GI_t} + \frac{\upsilon_{ny}^2 I_b + 2\upsilon_{ny}\upsilon_{by} I_{nb} + \upsilon_{by}^2 I_n}{E(I_n I_b - I_{nb}^2)}; \gamma_{xz} = \gamma_{zx} = \frac{\upsilon_{tx}\upsilon_{tz}}{GI_t} + \frac{\upsilon_{nx}\upsilon_{nz} I_b + (\upsilon_{nx}\upsilon_{bz} + \upsilon_{bx}\upsilon_{nz}) I_{nb} + \upsilon_{bx}\upsilon_{bz} I_n}{E(I_n I_b - I_{nb}^2)};$$

$$\gamma_{zz} = \frac{\upsilon_{tz}^2}{GI_t} + \frac{\upsilon_{nz}^2 I_b + 2\upsilon_{nz}\upsilon_{bz} I_{nb} + \upsilon_{bz}^2 I_n}{E(I_n I_b - I_{nb}^2)}; \gamma_{yz} = \gamma_{zy} = \frac{\upsilon_{ty}\upsilon_{tz}}{GI_t} + \frac{\upsilon_{ny}\upsilon_{nz} I_b + (\upsilon_{ny}\upsilon_{bz} + \upsilon_{by}\upsilon_{nz}) I_{nb} + \upsilon_{by}\upsilon_{bz} I_n}{E(I_n I_b - I_{nb}^2)};$$

y los coeficientes de las fuerzas que producen desplazamientos unitarios son:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\upsilon_{tx}^2}{EA} + \frac{\upsilon_{nx}^2 \alpha_n + 2\upsilon_{nx}\upsilon_{bx}\alpha_{nb} + \upsilon_{bx}^2 \alpha_b}{GA}; \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{\upsilon_{tx}\upsilon_{ty}}{EA} + \frac{\upsilon_{nx}\upsilon_{ny}\alpha_n + (\upsilon_{nx}\upsilon_{by} + \upsilon_{bx}\upsilon_{ny})\alpha_{nb} + \upsilon_{bx}\upsilon_{by}\alpha_b}{GA};$$

$$\varepsilon_{yy} = \frac{\upsilon_{ty}^2}{EA} + \frac{\upsilon_{ny}^2 \alpha_n + 2\upsilon_{ny}\upsilon_{by}\alpha_{nb} + \upsilon_{by}^2 \alpha_b}{GA}; \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx} = \frac{\upsilon_{tx}\upsilon_{tz}}{EA} + \frac{\upsilon_{nx}\upsilon_{nz}\alpha_n + (\upsilon_{nx}\upsilon_{bz} + \upsilon_{bx}\upsilon_{nz})\alpha_{nb} + \upsilon_{bx}\upsilon_{bz}\alpha_b}{GA};$$

$$\varepsilon_{zz} = \frac{\upsilon_{tz}^2}{EA} + \frac{\upsilon_{nz}^2 \alpha_n + 2\upsilon_{nz}\upsilon_{bz}\alpha_{nb} + \upsilon_{bz}^2 \alpha_b}{GA}; \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} = \frac{\upsilon_{ty}\upsilon_{tz}}{EA} + \frac{\upsilon_{ny}\upsilon_{nz}\alpha_n + (\upsilon_{ny}\upsilon_{bz} + \upsilon_{by}\upsilon_{nz})\alpha_{nb} + \upsilon_{by}\upsilon_{bz}\alpha_b}{GA};$$

Lógicamente, la solución al problema estructural general representado por la ecuación diferencial (6) se realiza por integración analítica o numérica.

Admitiendo la simplificación de despreciar las deformaciones producidas por los esfuerzos cortantes (nulidad de los desplazamientos producidos por el esfuerzo cortante) y suponiendo coincidentes los ejes de la sección con principales de inercia (momento de inercia centrífugo nulo $I_{nb} = 0$) el sistema del efecto de doce ecuaciones (6) se desacopla en dos subsistemas de seis ecuaciones cada uno.

Sistema del efecto en la sección osculante para la pieza curva plana

$$\begin{array}{cccccc} DV_x & & & & & +q_x=0 \\ & DV_y & & & & +q_y=0 \\ \upsilon_{ty}V_x & \upsilon_{tx}V_y & DM_z & & & +m_z=0 \\ & & -\gamma_{zz}M_z & +D\theta_z & & -\Theta_z=0 \\ -\varepsilon_{xx}V_x & -\varepsilon_{yx}V_y & & +\upsilon_{ty}\theta_z & +D\delta_x & -\Delta_x=0 \\ -\varepsilon_{xy}V_x & -\varepsilon_{yy}V_y & & -\upsilon_{tx}\theta_z & +D\delta_y & -\Delta_y=0 \end{array} \tag{7}$$

donde:

$$\gamma_{zz}=\frac{\upsilon_{nz}^2 I_b+I_n}{EI_nI_b}\ ;\ \varepsilon_{xx}=\frac{\upsilon_{tx}^2}{EA}\ ;\ \varepsilon_{xy}=\varepsilon_{yx}=\frac{\upsilon_{tx}\upsilon_{ty}}{EA}\ ;\ \varepsilon_{yy}=\frac{\upsilon_{ty}^2}{EA}\ ;$$

Sistema del efecto en la sección binormal para la pieza curva plana

$$\begin{array}{cccccc} DV_z & & & & & +q_z=0 \\ +\upsilon_{ty}V_z & +DM_x & & & & +m_x=0 \\ -\upsilon_{tx}V_z & & +DM_y & & & +m_y=0 \\ & -\gamma_{xx}M_x & -\gamma_{yx}M_y & +D\theta_x & & -\Theta_x=0 \\ & -\gamma_{xy}M_x & -\gamma_{yy}M_y & & +D\theta_y & -\Theta_y=0 \\ & & & -\upsilon_{ty}\theta_x & +\upsilon_{tx}\theta_z+D\delta_z & -\Delta_z=0 \end{array} \tag{8}$$

donde:

$$\gamma_{xx}=\frac{\upsilon_{tx}^2}{GI_t}+\frac{\upsilon_{nx}^2}{EI_n}\ ;\ \gamma_{xy}=\gamma_{yx}=\frac{\upsilon_{tx}\upsilon_{ty}}{GI_t}+\frac{\upsilon_{nx}\upsilon_{ny}}{EI_n}\ ;\ \gamma_{yy}=\frac{\upsilon_{ty}^2}{GI_t}+\frac{\upsilon_{ny}^2}{EI_n}\ ;$$

Estas expresiones permiten abarcar el cálculo de la pieza curva plana independientemente de que exista acción en cualquier dirección, pudiendo descomponerse la misma en el plano de la pieza (osculante), y perpendicularmente al este (binormal), para poder emplear independientemente y por superposición, ambos subsistemas.

De la misma forma puede analizarse el caso de la barra como particularización del caso de la pieza plana, obteniéndose unas nuevas formulaciones independientes entre ellas, que agrupan las componentes del efecto dependiendo del tipo de acción que se considere. Esto permite resolver subsistemas independientes, en vez de abordar la ecuación general.

Para el caso de la barra con producto de inercia nulo y despreciando la deformación producida por el esfuerzo cortante, los subsistemas son cuatro.

Sistema del efecto en la sección osculante tangencial (barra traccionada-comprimida)

$$\begin{array}{cc} DN & +q_x=0 \\ -\frac{N}{EA} & +Du-\Delta_x=0 \end{array} \tag{9}$$

Sistema del efecto en la sección osculante normal (barra flectada)

$$\begin{aligned} DV_y \qquad\qquad &+q_y=0 \\ +V_y+DM_z \qquad\quad &+m_z=0 \\ -\frac{M_z}{EI_z}+D\theta_z \qquad &-\Theta_z=0 \\ -\theta_z+Dv \qquad &-\Delta_y=0 \end{aligned} \tag{10}$$

Sistema del efecto en la sección binormal tangencial (barra torsionada)

$$\begin{aligned} DT \qquad &+m_x=0 \\ -\frac{T}{GI_t}+D\phi \qquad &-\Theta_x=0 \end{aligned} \tag{11}$$

Sistema del efecto en la sección binormal normal (barra flectada)

$$\begin{aligned} DV_z \qquad\qquad &+q_z=0 \\ -V_z+DM_y \qquad\quad &+m_y=0 \\ -\frac{M_y}{EI_y}+D\theta_y \qquad &-\Theta_y=0 \\ +\theta_y+Dw \qquad &-\Delta_z=0 \end{aligned} \tag{12}$$

Se trata de la formulación habitual de la barra propia de la bibliografía al uso de Resistencia de Materiales, uniendo la formulación de fuerzas y momentos con la formulación de giros y desplazamientos.

3. Barra a tracción-compresión con acción puntual centrada.

En este apartado se analiza la respuesta de una barra empotrada-libre sometida a una acción puntual aplicada en el extremo libre (ver figura 4).

Se presenta dos casos diferentes que son:

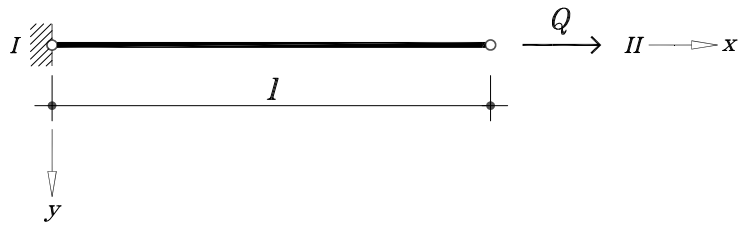
Caso 1. Barra de acero de sección tubular ($d_{ext}=25\ \text{cm}$ y $d_{\text{int}}=20\ \text{cm}$) y longitud $l=10\ \text{m}$. Se considera los módulos de elasticidad del acero son $E=200000\ \text{MN/m}^2$ y $G=77000\ \text{MN/m}^2$. Su resistencia a tracción es $f_a=300\ \text{N/mm}^2$. Se considera una acción puntual en $Q=\pm 5\ \text{MN}$

Caso 2. Barra de hormigón de sección cuadrada ($\square 40\ \text{cm}$) y longitud $l=10\ \text{m}$. Se considera los módulos de elasticidad del acero son $E=20000\ \text{MN/m}^2$ y $G=8300\ \text{MN/m}^2$. Su resistencia a tracción es $f_h=50\ \text{N/mm}^2$. Se considera una acción puntual en $Q=\pm 5\ \text{MN}$

La integración del sistema diferencial del efecto en la sección osculante tangencial de la barra traccionada-comprimida es:

$$N(x)=N(0);\ u(x)=\frac{N(0)}{EA}x+u(0) \tag{13}$$

Figura 4: Barra empotrada-libre con acción puntual centrada.



Aplicando las condiciones de sustentación se obtiene:

$$N(x)=Q;\ u(x)=\frac{Q}{EA}x \tag{14}$$

La tensión máxima producida por la acción cumple la condición de resistencia.

Caso 1. $f = 282.94\ \mathrm{N/mm^2} \le f_a$

Caso 2. $f = 31.25\ \mathrm{N/mm^2} \le f_h$

La deformación máxima y la nueva longitud de la barra son:

$$u(l)=\frac{Q}{EA}l;\ l_{1,1}=(1+\frac{Q}{EA})l \tag{15}$$

Si se calcula la barra aplicando la acción, n veces, en n partes. La nueva longitud que se obtiene en la aplicación m es:

$$l_{m,n}=(1+\frac{Q}{nEA})^m l \tag{16}$$

Para el cálculo se determina, en cada iteración, la nueva longitud de la barra. En la siguiente tabla 1. se presentan los valores de la deformación axial obtenida para los dos casos presentados (con material de acero y de hormigón).

Tabla 1: Deformación no lineal de una barra empotrada-libre con acción puntual centrada.

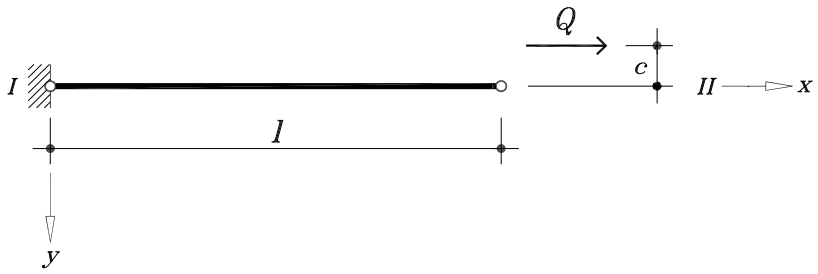
$l_{n,n}$-l (cm)	tracción		compresión	
n	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
1	1.414711	1.562500	-1.414711	-1.562500
2	1.415211	1.563110	-1.414210	-1.561890
5	1.415511	1.563477	-1.413910	-1.561524
10	1.415612	1.563599	-1.413810	-1.561402
20	1.415662	1.563660	-1.413760	-1.561341
50	1.415692	1.563697	-1.413730	-1.561304
100	1.415702	1.563709	-1.413720	-1.561292
1000000	1.415712	1.563721	-1.413710	-1.561280

Se realiza un cálculo no lineal del elemento resistente al tener en cuenta la deformación en cada iteración de la acción.

4. Barra a tracción-compresión con acción puntual descentrada.

Se estudia la respuesta de una barra empotrada-libre sometida a una acción puntual aplicada en el extremo libre con un cierto descentramiento (ver figura 5).

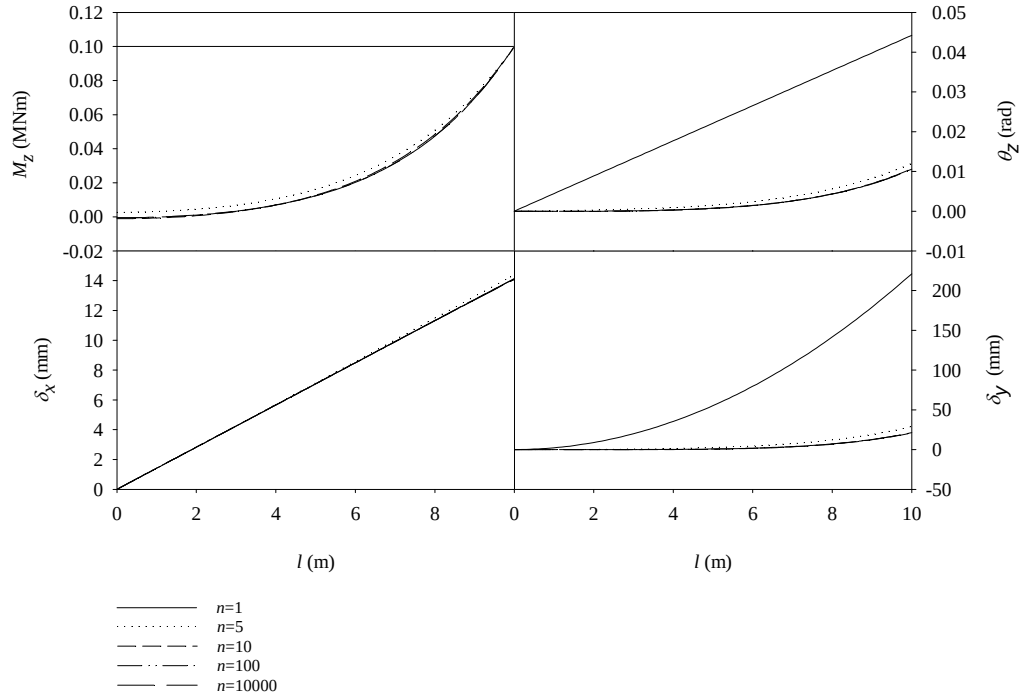
Figura 5: Barra empotrada-libre con acción puntual descentrada.



Se presenta el caso de una barra de acero de sección tubular ($d_{ext} = 25\ \mathrm{cm}$ y $d_{\mathrm{int}} = 20\ \mathrm{cm}$) y longitud $l = 10\ \mathrm{m}$. Se considera los módulos de elasticidad del acero son $E = 200000\ \mathrm{MN/m^2}$ y $G = 77000\ \mathrm{MN/m^2}$. Su resistencia a tracción es $f_a = 300\ \mathrm{N/mm^2}$. Se considera una acción puntual en $Q = 5\ \mathrm{MN}$ y una excentricidad de $c = 2\ \mathrm{cm}$.

Se calcula la pieza aplicando la acción, n veces, en n partes. Por estar la acción descentrada respecto a la directriz, desde la segunda iteración de acción, la barra inicial pasa a ser una pieza plana (arco). En la figura 6. se presenta las gráficas de momento flector y deformaciones asociadas a este caso para diferentes valores de n. Estas gráficas se obtiene con un programa de cálculo que aplica el Método de Transferencias Finitas (Gimena, Gonzaga & Gimena 2009; Gimena, Gonzaga & Gimena 2014).

Figura 6: Gráficas de una barra empotrada-libre con acción puntual descentrada.



Se puede observar, en la figura 6. que la deformación perpendicular a la directriz es menor en el caso de considerar el efecto de la deformación en el cálculo.

5. Conclusiones.

Como se ha comprobado en la comunicación es posible mediante el Método Intrínseco de Cálculo de Estructuras abordar la influencia de la deformación en el cálculo de piezas. Se determina la solicitación y la deformación al suponer que la acción que genera estos efectos actúa progresivamente sobre la pieza. Por tanto se considera un análisis no lineal del elemento resistente.

Como se muestra en la tabla 1., la deformación de una barra empotrada-libre, considerando un cálculo no lineal, sometida a una acción puntual aplicada en el extremo libre es:

— Mayor en el caso de tracción.

— Menor en el caso de compresión.

Este resultado sucede en los dos casos estudiados en el apartado 3., para una barra de acero y para una barra de hormigón.

Cuando la acción esta descentrada respecto a la directriz, desde la segunda iteración de ésta, la barra inicial pasa a ser una pieza plana (arco). Esto ocurre en el apartado 4. A su vez, por la laboriosidad que en este caso supone ofrecer resultados de solicitaciones y de deformaciones, se emplea un procedimiento numérico. En esta comunicación se utiliza el Método de Transferencias Finitas.

Como se muestra en la figura 6., la deformación de una barra empotrada-libre, considerando un cálculo no lineal, sometida a una acción puntual descentrada aplicada en el extremo libre es menor que en el caso de suponer un cálculo lineal.

Referencias

Gimena, F. Gonzaga, P. & Gimena, L. (1998). Un modelo sistemático de Análisis Estructural Lineal. IV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Córdoba (España).

Gimena, L. Gimena, F.N. & Gonzaga, P. (2008). Structural analysis of a curved beam element defined in global coordinates. *Engineering Structures*, *30(11)*, 3355-3364.

Gimena, F.N. Gonzaga, P. & Gimena, L. (2009). Numerical transfer-method with boundary conditions for arbitrary curved beam elements. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, *33(2)*, 249-257.

Gimena, L. Gonzaga, P. & Gimena F.N. (2014). Boundary equations in the finite transfer method for solving differential equation systems. *Applied Mathematical Modelling*, *38(5)*, 2648-2660.

Gonzaga, P. & Gimena, F. (1998). *Diseño de estructuras lineales. Un modelo sistemático de Análisis Estructural*. Pamplona: Colección de Ingeniería, 1. Universidad Pública de Navarra.

Love, A.E.H. (1944). *A Treatise on the mathematical theory of elasticity*. New York: Dover.

Parcel, J.I. & Moorman, R.B. (1955) *Analysis of statically indeterminate structures*. New York: John Wiley.

Timoshenko, S. (1957). *Strength of materials*. New York: D. Van Nostrand Company.

Sokolnikoff, I.S. & Redeffer, R.M. (1958). *Mathematics of Physics and Modern Engineering*. Tokyo: McGraw-Hill.

02-018

HYPOTESYS IN SEDIMENT TRANSPORT MODELS: RIEMANN PROBLEM

Cantero Chinchilla, Francisco Nicolás; Castro Orgaz, Oscar Universidad de Córdoba

Sediment transport models in shallow water are typically assembled by the depth averaged Navier-Stokes and sediment conservation equations. Most of the published models assume hypothesis and simplifications during their process of derivation, making them easy to apply to current problems. However, taking some typical simplifications could not be valid in exceptional problems, such as Riemann problems. The dam-break problem is a widely known kind of Riemann problems. During the first stages of a dam-break the generated transient flow is sudden and abrupt. Thereby, the simplifications made for typical sediment transport problems need to be analyzed again; especially those ones related with the flow uniformity. The non-uniformity of the suspended sediment load of a flow in shallow water is normally neglected, as well as the flow turbulent stresses, in typical problems. Notwithstanding, as said above, its effect may not be negligible in dam-break cases. In consequence, this work carries an analysis about the importance of the correction factor of the suspended-load and the Reynolds' stresses in a Riemann type problem with sediment transport.

Keywords: *Sediment transport; Dam-break; Turbulence; Computational hydraulics*

HIPÓTESIS EN MODELOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTO: EL PROBLEMA DE RIEMANN

En aguas someras, los modelos de transporte de sedimentos generalmente surgen del promedio vertical de las ecuaciones generales de flujo, acoplando ecuaciones de conservación del sedimento. La mayoría de los modelos existentes en la literatura asumen hipótesis de partida, así como simplificaciones durante la integración, que permiten abordarlos de manera sencilla. Sin embargo, la adopción de ciertas simplificaciones puede ser cuestionable en casos de estudio excepcionales. El problema de Riemann, tradicionalmente representado por la rotura de presa, supone la generación de un flujo transitorio brusco en las primeras fases del inicio del movimiento. Siendo así, las simplificaciones que son válidas en problemas típicos de arrastre de sedimentos, necesitan ser estudiadas y comprobadas de nuevo; en especial aquellas vinculadas a la uniformidad del flujo. La uniformidad en el perfil de la carga suspendida suele ser despreciada en problemas de transporte de sedimentos sobre aguas someras. Asimismo ocurre con las tensiones turbulentas que se generan en el flujo. No obstante, ambas características del flujo podrían suponer modificaciones en las variables conservativas. En consecuencia, este trabajo aborda un estudio sobre la importancia del factor de corrección de la carga suspendida y las tensiones turbulentas en problemas tipo Riemann con transporte de sedimentos.

Palabras clave: *Transporte de sedimentos; Rotura de presa; Turbulencia; Hidráulica computacional*

Correspondencia: Francisco Nicolás Cantero Chinchilla z12cachf@uco.es

Agradecimientos: El primer autor agradece al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, España, la concesión de la beca de doctorado con referencia FPU12/04795, dentro de la cual se enmarca el presente estudio.

1. Introducción

Los modelos de predicción de la lámina de agua se emplean con frecuencia para el análisis y diagnóstico de avenidas, predicción de llanuras de inundación y evaluación del transporte de sedimentos. Estas herramientas surgen del estudio de las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas temporalmente (promedio de Reynolds), también conocidas en la literatura como RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations). El uso de estas ecuaciones, de naturaleza tridimensional, es normalmente simplificado en una dimensión mediante un promediado vertical. Esta simplificación es aplicable a aguas someras, es decir, flujos de agua donde el calado tiene una dimensión considerablemente menor que la anchura, y se puede asumir que el comportamiento vertical de las variables principales del flujo es cuasi-constante. Sin embargo, durante este proceso de promedio vertical de las ecuaciones se asumen hipótesis que facilitan el proceso, pero que pueden no ser validas en casos singulares y que, por lo tanto, necesitan ser estudiados en detalle.

En la literatura se pueden encontrar estos modelos bien desarrollados y explicados. Dey (2014) presenta el caso unidimensional de las ecuaciones de flujo a través de un análisis de las fuerzas actuantes en un volumen de control en canales abiertos. Finalmente se puede verificar que las ecuaciones resultantes, ampliamente conocidas como ecuaciones de Saint-Venant, son un caso particular de las ecuaciones generales. Wu (2008) recoge en su libro un análisis detallado del desarrollo de las ecuaciones promediadas, en el que se pueden aceptar las hipótesis y simplificaciones. Entre ellas destacan, en el caso del flujo de agua, las tensiones tangenciales del flujo, que son normalmente despreciadas, el efecto de la distribución vertical de velocidades y el efecto de la distribución de la concentración del sedimento en la vertical para la ecuación de continuidad del sedimento suspendido (ecuación de Exner). No obstante, estas hipótesis han de ser revisadas en casos especiales de flujo, como la rotura de presa.

El problema de Riemann, con la rotura de presa como un caso particular del mismo, representa un caso excepcional en las condiciones del flujo. La condición inicial de este tipo de problemas se caracteriza por una discontinuidad en el flujo, que representa la cerrada de la presa. El flujo en los primeros estadios tras la rotura genera un flujo transitorio brusco. La dificultad añadida de este problema se refleja en la necesidad de emplear esquemas numéricos de orden superior y pocos convencionales; pero también en la necesidad del análisis de ciertas hipótesis, como las citadas anteriormente, cuya asunción podría ser cuestionable.

En consecuencia, este trabajo lleva a cabo un análisis de las hipótesis que conciernen a las tensiones tangenciales y a la no uniformidad del flujo, focalizado en la distribución de velocidades y sedimento en suspensión en la vertical, aplicado al caso de la rotura de presa. Para ello se asume un modelo turbulento y distribuciones verticales de velocidad y sedimento. Se estudia el comportamiento del modelo con y sin las hipótesis estudiadas. Los resultados son presentados gráficamente y discutidos más adelante. Por último, el trabajo presenta las conclusiones que se derivan de la discusión de los resultados.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es doble:

- Presentar una forma más general de un modelo hidrodinámico promediado en la vertical donde se asumen algunas de las hipótesis tradicionalmente obviadas.

- Analizar el efecto de las tensiones tangenciales del flujo, la uniformidad vertical de la velocidad y el coeficiente de uniformidad de la carga suspendida en un modelo hidrodinámico promediado en la vertical.

3. Hipótesis

Las hipótesis tratadas y analizadas en este trabajo conciernen a las tensiones turbulentas y a la uniformidad del flujo.

En primer lugar se tratan las tensiones turbulentas que se generan en el flujo. Asumiendo la hipótesis de Boussinesq sobre el carácter isotrópico de la viscosidad turbulenta, las tensiones tangenciales del flujo son (Dey, 2014)

$$\tau_{ij} = \mu \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - \rho_w \overline{u_i' u_j'} \tag{1}$$

donde μ es el peso específico del fluido, ρ_w es la densidad del fluido, u_i es la componente de la velocidad en la dirección i y x_j representa a la dirección j. El segundo termino en la derecha de la ecuacion (1) es conocido como tensiones turbulentas de Reynolds. Tras promediar las ecuaciones de Navier-Stokes en 1D las tensiones turbulentas en la dirección principal quedan como (Wu, 2008)

$$T_{xx} = 2\rho\left(\upsilon + \upsilon_t\right)\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q}{A}\right) - \frac{2}{3}\rho k \tag{2}$$

donde Q es el caudal, A es el área del fluido en una sección, v y v_t son la viscosidad del fluido y la viscosidad turbulenta (hipótesis de Boussinesq) respectivamente. El parámetro turbulento k y la viscosidad turbulenta se calculan empleando modelos clásicos de turbulencia, que son normalmente conocidos como modelos k-ε, donde ε es otro parámetro que caracteriza al movimiento turbulento. Uno de los modelos más extendidos es el que se asume en este trabajo (Rastogi and Rodi, 1978)

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{Q}{A}\frac{\partial k}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\upsilon_t}{\sigma_k}\frac{\partial k}{\partial x}\right) + P_h + P_{k\upsilon} - \varepsilon \tag{3}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{Q}{A}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\upsilon_t}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right) + c_{\varepsilon 1}P_h + P_{\varepsilon\upsilon} - c_{\varepsilon 2}\frac{\varepsilon^2}{k} \tag{4}$$

Yakhot et al. (1992) da una solución de grado superior para los coeficientes de la parte derecha de las ecuaciones que cierran el modelo, expresándolos como

$$P_h = 2\upsilon_t\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q}{A}\right)\right)^2; P_{k\upsilon} = \frac{c_f^{-1/2}U_*^3}{h}; P_{\varepsilon\upsilon} = \frac{c_{\varepsilon\Gamma}c_{\varepsilon 2}c_\mu^{1/2}c_f^{-3/4}U_*^4}{h^2};$$

$$\upsilon_t = c_\mu\frac{k^2}{\varepsilon}; c_f = \frac{gn^2}{h^{1/3}}; c_{\varepsilon 1} = 1.42 - \eta\frac{1-\frac{\eta}{\eta_0}}{1+\beta\eta^3}; \eta = \sqrt{2}\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q}{A}\right)\right)\frac{k}{\varepsilon}; \tag{5}$$

$$c_\mu = 0.085; c_{\varepsilon 2} = 1.68; \sigma_k = 0.7179; \sigma_\varepsilon = 0.7179;$$

$$c_{\varepsilon\Gamma} = 1.8 - 3.6; \beta = 0.015; \eta_0 = 4.38;$$

donde g es la aceleración de la gravedad, h es la altura del flujo en cada punto y U_* es la velocidad de fricción.

En segundo lugar este trabajo analiza el efecto de la uniformidad de la concentración del sedimento suspendido en la vertical. Del trabajo de Wu (2008) se deduce que la ecuación general 1D de conservación del sedimento suspendido es

$$\frac{\partial AC}{\partial t}+\frac{\partial QC}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial x}\left(A\varepsilon_z\frac{\partial C}{\partial x}\right)-\frac{\partial \alpha QC}{\partial x}+B(E-D) \tag{6}$$

en la cual C es la concentración volumétrica promediada del sedimento suspendido, E y D las funciones de entrada y de depósito del sedimento en el flujo desde el fondo, ε_z es difusividad vertical y $\alpha = \beta_s - 1$, donde β_s es el parámetro que mide la uniformidad del sedimento suspendido

$$\beta_s=\frac{\int_{z_b+z_0}^{z_s} ucdz}{U\int_{z_b+z_0}^{z_s} cdz} \tag{7}$$

donde $U = Q/A$, u y c son las distribuciones verticales de la velocidad y la concentración respectivamente, y z_b+z_0 es el nivel de referencia. Por simplicidad, se toman la distribución logarítmica de la velocidad y la consecuente distribución de la concentración, conocida como ecuación de Rouse (Wu, 2008)

$$u(z)=\frac{U_*}{\kappa}Ln\left(\frac{z}{z_o}\right) \quad \begin{cases} z_o=0.11\,\upsilon/U_* & U_*k_s/\upsilon \le 5 \\ z_o=0.33k_s & U_*k_s/\upsilon \ge 70 \\ z_o=0.11\,\upsilon/U_*+0.33k_s & 5<U_*k_s/\upsilon<70 \end{cases} \tag{8}$$

$$c=c_{b*}\left(\frac{h/z-1}{h/z_0-1}\right)^{\frac{\sigma_s w_s}{\kappa U_*}} \tag{9}$$

en la cual c_{b*} es la concentración de sedimento en el nivel z_0, κ es la constante de von Karman ($\approx$ 0.41), k_s es la rugosidad de Nikuradse, w_s la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión y σ_s el número de Schmidt, que normalmente es aproximado a la unidad. La difusividad vertical se puede expresar como (Guo and Jin, 1999)

$$\varepsilon_z=\frac{\kappa}{6}U_*h \tag{10}$$

Por último, se estudia la influencia de la distribución vertical de velocidades directamente en el flujo. Tras realizar las operaciones matemáticas pertinentes sobre la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento 1D, el termino referido surge como

$$D_{xx}=\rho\iint_A (u-U)\,dA \tag{11}$$

4. Modelo

El modelo unidimensional promediado en profundidad que se emplea en este trabajo se puede deducir del trabajo de Wu y Wang (2007). Se trata de un modelo hidráulico de

transporte de sedimentos. La aparición de las tensiones turbulentas promediadas y el coeficiente de uniformidad del sedimento suspendido modifican las ecuaciones generales tal y como se explica en la sección anterior. Así, las ecuaciones generales del modelo para canales de sección rectangular son:

- Continuidad

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=\frac{1}{1-p'_m}\left[B(E-D)+\frac{1}{L}(Q_{b*}-Q_b)\right] \tag{12}$$

- Conservación de la cantidad de movimiento

$$\begin{aligned}&\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right)=-gA\frac{\partial z_s}{\partial x}-\frac{1}{2}gh^2\frac{1}{\rho}\frac{\partial \rho}{\partial x}-g\frac{n^2Q|Q|}{AR^{4/3}}\\&-\frac{\rho_s-\rho_w}{\rho}U\begin{pmatrix}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(A\varepsilon_z\frac{\partial C}{\partial x}\right)-\frac{\partial \alpha QC}{\partial x}+B(E-D)+\frac{1}{L}(Q_{b*}-Q_b)\right]\\-\frac{C_t}{1-p'_m}\left[B(D-E)+\frac{1}{L}(Q_b-Q_{b*})\right]\end{pmatrix}\\&+\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial x}\left[A\left(T_{xx}+D_{xx}\right)\right]\end{aligned} \tag{13}$$

- Conservación del sedimento suspendido: Eq. (6).
- Conservación de la carga de fondo

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{Q_b}{u_b}\right)+\frac{\partial Q_b}{\partial x}=\frac{1}{L}(Q_{*b}-Q_b) \tag{14}$$

- Actualización de la elevación del fondo

$$(1-p'_m)\frac{\partial A_b}{\partial t}=B(D-E)+\frac{1}{L}(Q_b-Q_{*b}) \tag{15}$$

donde p'_m es la porosidad del material de fondo, L es la longitud de adaptación del sedimento, Q_b es la carga de fondo transportada, Q_{*b} es la capacidad de carga del fondo, $z_s = h + z_b$, $R = A/P$ donde P es el perímetro mojado, B es la anchura del canal, ρ_s y ρ son la densidad del sedimento y la densidad de la mezcla (= $(1-p'_m)\,\rho_s + p'_m\,\rho_s$), y A_b es el área de la capa de fondo.

Para cerrar el modelo se necesitan relaciones empíricas que resuelvan las ecuaciones directamente relacionadas con el transporte de sedimento. En este trabajo se toman las consideraciones hechas por Wu y Wang (2007), que son

$$Q_{*b}=q_{*b}B \tag{16}$$

$$D=w_s\alpha_1 C \qquad E=w_s c_{a*} \tag{17}$$

$$\alpha_1=\min\left[2,\left(1-p'_m\right)/C\right] \tag{18}$$

Las relaciones empíricas vienen dadas por Van Rijn (1984)

$$q_{*b} = 0.053\left(g\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right)^{0.5} \frac{d^{1.5}T^{2.1}}{D_*^{0.3}} \qquad T = k_t \frac{\tau_b}{\tau_c} - 1 \qquad k_t = 1 + 1.5\frac{\rho_s}{\rho_w}$$
$$c_{a*} = \min\left(0.015\frac{dT^{1.5}}{k_s D_*^{0.3}}, 1 - p'_m \right) \tag{19}$$

en las cuales k_t es un factor empírico que trata de considerar el efecto erosivo del flujo en los primeros estadios de la solución de la rotura de presa, τ_b y τ_c son las tensiones tangenciales de fondo y critica para el movimiento, y D_* un parámetro relacionado con el tipo de sedimento (Wu, 2008). Más detalles sobre el cálculo de T se pueden encontrar en la discusión aportada por Yue y Cao (2007).

El modelo numérico empleado en las simulaciones se corresponde por el usado en el trabajo de Wu y Wang (2007). Se trata de un modelo de volúmenes finitos que sigue un esquema de Godunov para la solución general (Toro, 2001). Los flujos se calculan usan el esquema 'upwind' de primer orden propuesto por Ying et al. (2004). El esquema de cálculo es el siguiente:

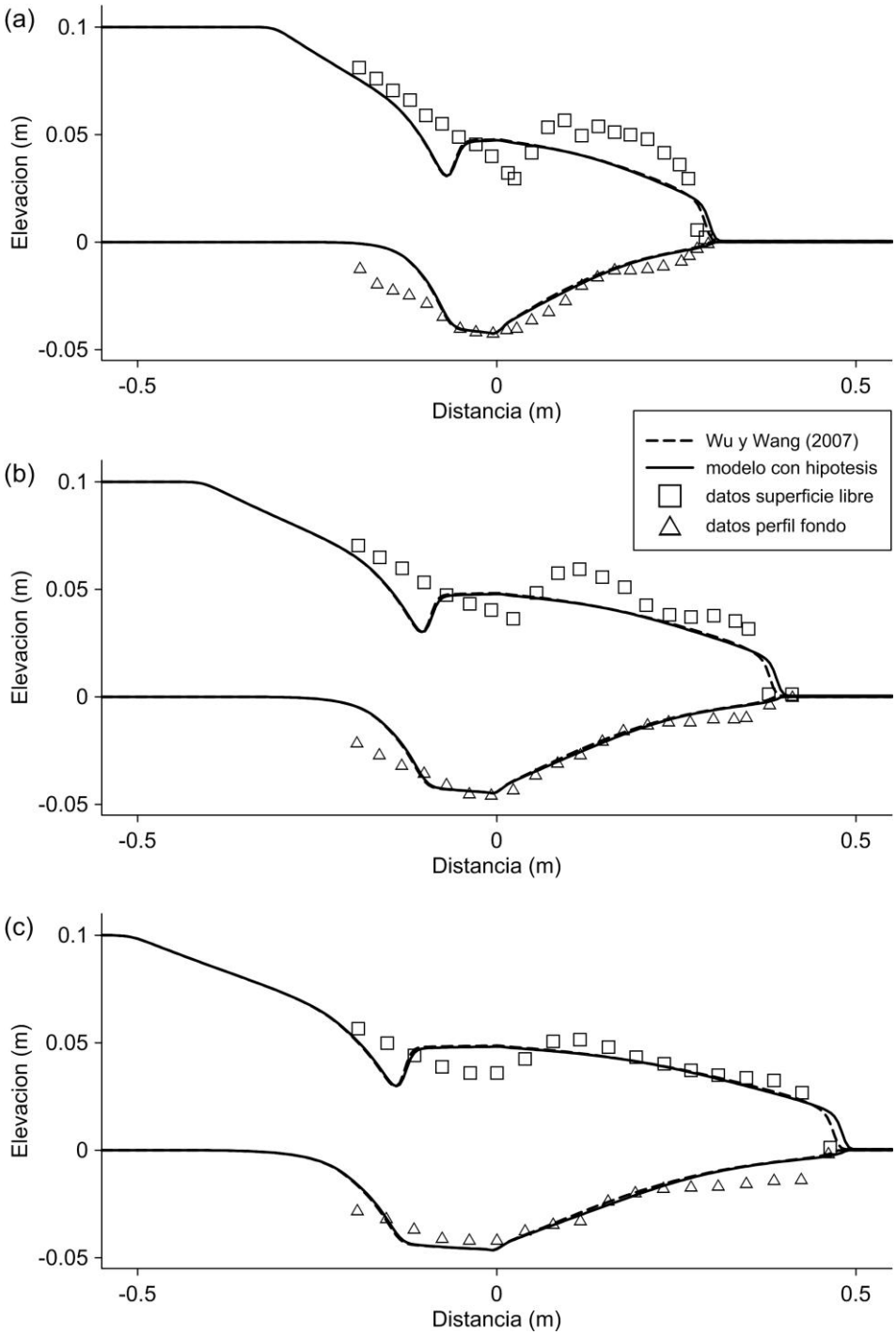
1. Se almacenan las variables en el primer estado de tiempo.
2. Se resuelve la ecuación de continuidad para obtener la elevación de la lámina de agua en el siguiente estado de tiempo.
3. Se calcula la difusividad, la dispersión de la velocidad con respecto a la media y el coeficiente de uniformidad de la carga suspendida en el estado de tiempo anterior.
4. Se resuelve la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento para obtener el valor de la velocidad del flujo en el estado de tiempo siguiente.
5. La tasa de transporte de la carga de fondo y la concentración de equilibro cerca del fondo se calculan a partir de las relaciones empíricas.
6. La función de entrada y de depósito del sedimento son resultas en el estado de tiempo anterior.
7. Se resuelve la ecuación de continuidad del sedimento en suspensión para hallar la concentración en el paso de tiempo siguiente.
8. La carga de fondo es obtenida a través de la ecuación (14).
9. Se aplica la ecuación 15 para actualizar el nivel del fondo.
10. Se repite el proceso 2-9 hasta que se alcance el tiempo final de la simulación.

5. Resultados

El caso de estudio considerado es el test de Taipéi (Universidad de Taiwan) (Capart y Young, 1998; Fraccarollo y Capart, 2002, Wu y Wang, 2007). La rotura de presa se simula en un dispositivo de 1.2 m de longitud, 0.2 m de anchura y 0.7 m de altura. La discontinuidad de la presa se sitúa en el centro de dispositivo, con una altura de agua de 10 cm aguas arriba y suelo seco aguas abajo. El suelo seco se simula tomando un valor mínimo para la altura de agua, evitando de esta manera las singularidades en el modelo. El sedimento utilizado tiene un diámetro medio de 6.1 mm, un peso específico de 1.048 kg/m^3 y una velocidad de sedimentación de 7.6 cm/s. El tiempo de referencia es medido con respecto a $t_0 = (h_0 g)^{-0.5}$ donde h_0 es la altura de agua inicial aguas arriba. Las características del modelo, tales como el tamaño de malla y el paso de tiempo, se puede comprobar en el trabajo de Wu y Wang (2007).

La figura 1 recoge información sobre las simulaciones del modelo de Wu y Wang (2007) y el modelo planteado en este trabajo, con las hipótesis adicionales. En concreto, se representan los perfiles de elevación de la lámina de agua y de la evolución de la socavación del fondo en el modelo de Wu y Wang (línea discontinua) y en el modelo propuesto en este trabajo (línea contínua).

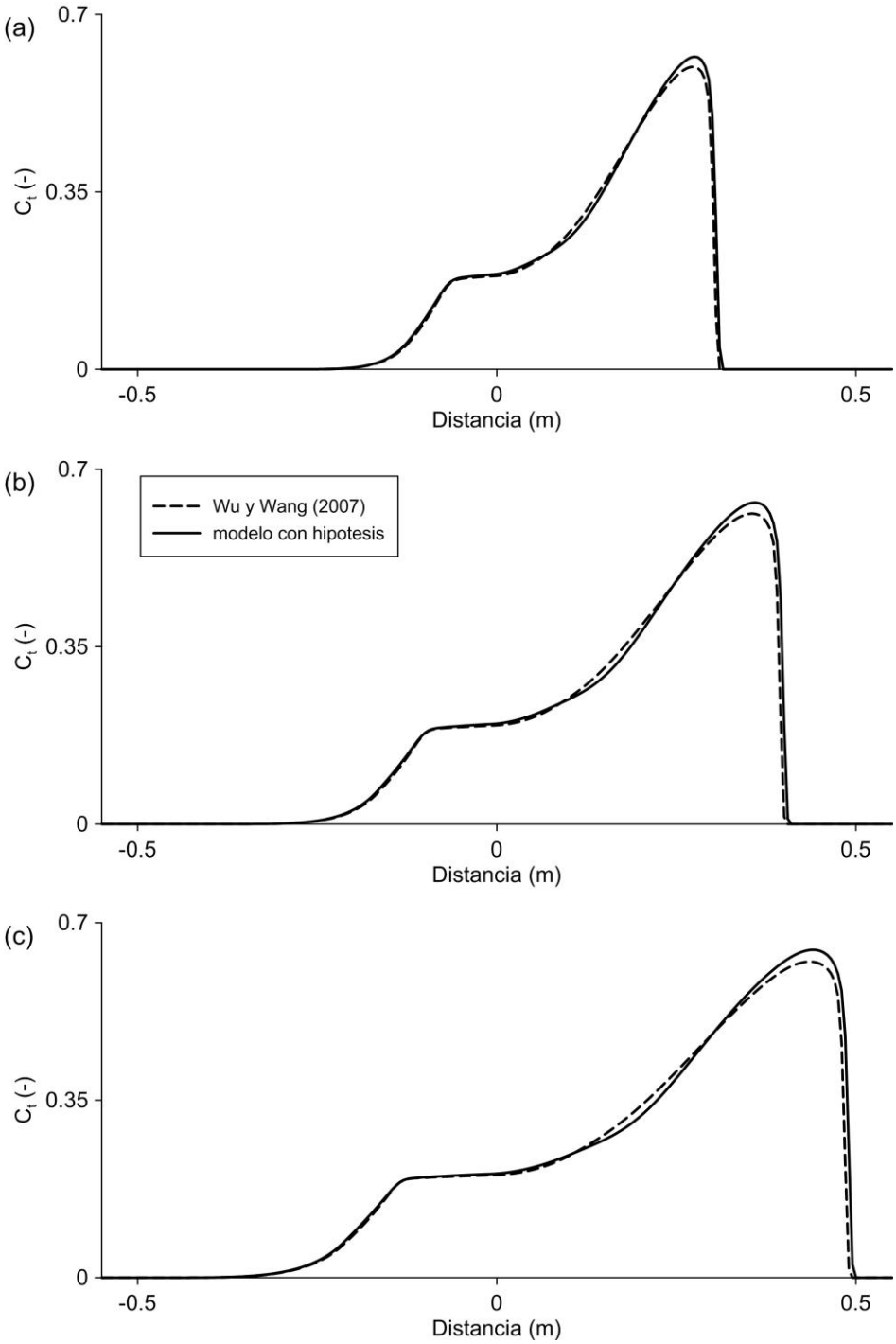
Figura 1: Caso experimental de Taipéi, Universidad de Taiwán. Perfiles de elevación.



Nota: (a) $t = 3t_0$, (a) $t = 4t_0$, (a) $t = 5t_0$.

Los perfiles de concentración total (C_t), suma de la concentración del sedimento suspendido y de la concentración del sedimento de la carga de fondo (= C + Q_b/U), se pueden consultar en la figura 2.

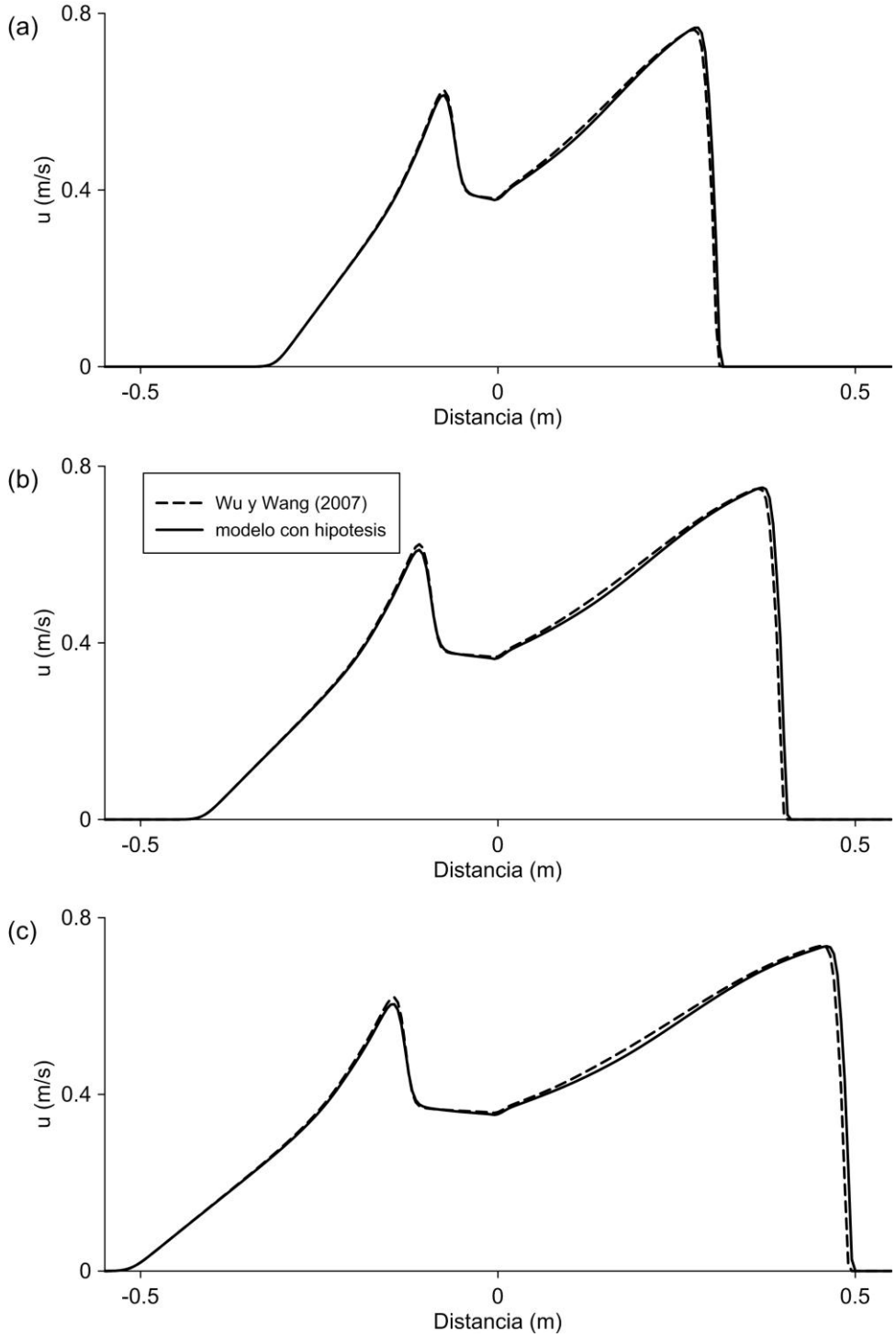
Figura 2: Caso experimental de Taipéi, Universidad de Taiwán. Concentración volumétrica.



Nota: (a) t = $3t_0$, (a) t = $4t_0$, (a) t = $5t_0$.

Por último, para el caso experimental de Taipéi, se muestran los perfiles de velocidad en cada uno de los tres estados de la rotura de presa (ver Figura 3).

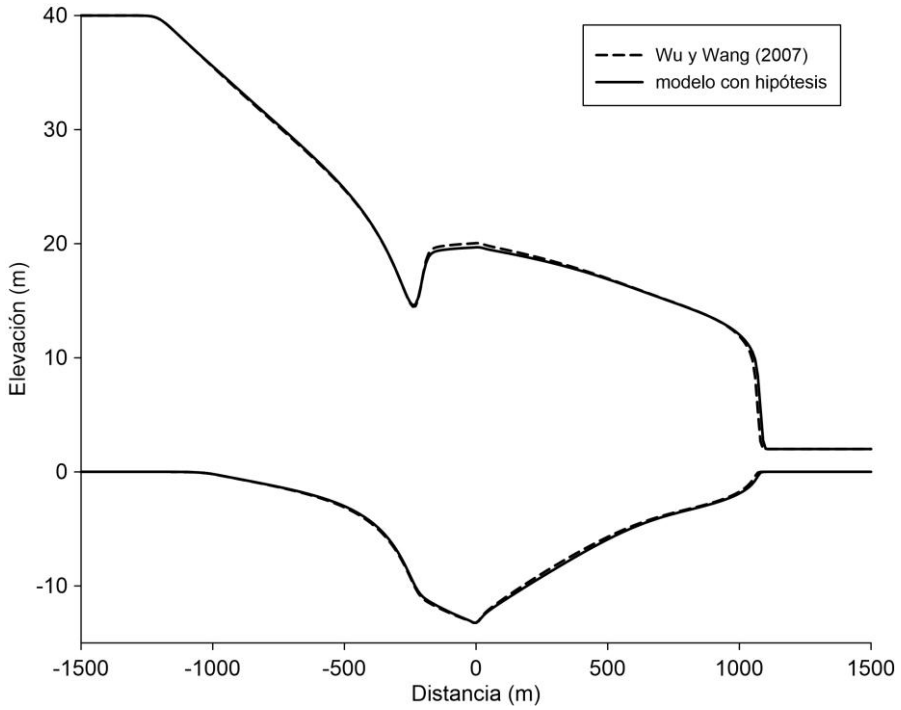
Figura 3: Caso experimental de Taipéi, Universidad de Taiwán. Velocidades.



Nota: (a) $t = 3t_0$, (a) $t = 4t_0$, (a) $t = 5t_0$.

El último caso de estudio de este modelo lo conforma la rotura de presa de grandes dimensiones. Cao et al. (2004) propone un caso de estudio en el que la altura del agua aguas arriba es 40 m, 2 m aguas abajo y un dominio de más de 5 km. Si consideramos las mismas características del sedimento que en el experimento de Taipéi, los perfiles de la lámina de agua y del sedimento son los que se muestran en la figura 4.

Figura 4: Caso hipotético de rotura de presa de grandes dimensiones.



Nota: t = 60s.

6. Discusión

Los resultados de las simulaciones sobre el caso experimental de Taipéi coinciden prácticamente en todo el dominio en ambos modelos. Los perfiles de la lámina de agua y del sedimento de fondo no sugieren grandes diferencias, como puede comprobarse en la figura 1, en los tres estados de tiempo considerados. La diferencia más notable se encuentra situada en el frente de avance en la figura 1.c), que se pronuncia a medida que progresa en el tiempo.

Asimismo, la figura 2 nos muestra como los perfiles de concentración total no varían notablemente entre ambos modelos. La única diferencia reseñable se encuentra en el frente de avance. Sin embargo, al contrario que ocurre en la figura 1, esta diferencia no aumenta en el tiempo entre ambos perfiles de concentración.

Los perfiles de velocidad analizados en la figura 3 entre ambos modelos revelan que las diferencias son aún menores que en los análisis de las dos figuras anteriores. Por lo tanto, se puede afirmar que ambos perfiles prácticamente coinciden.

En base a los análisis de las figuras 1, 2 y 3 queda claro que las hipótesis consideradas en este trabajo sobre el modelo de Wu y Wang (2007) no tienen demasiada relevancia. En efecto, contribuyen a la mejora física del modelo, pero obviarlas no supone errores de orden apreciable. La diferencia más notable entre ambos modelos se encuentra en el perfil de la lámina de agua, más concretamente emplazado en el avance del frente. Esto se debe, principalmente, a la contribución del término de las tensiones de Reynolds promediadas. El análisis de esta variable sobre el modelo propuesto revela que, en el frente de onda, toma su máximo valor. Entrando en detalle sobre la ecuación (2), el primer término depende directamente del gradiente de la velocidad del flujo (como se puede deducir igualmente de la ecuación (5)). Por lo tanto, está justificado que el término de las tensiones promediadas tome su mayor valor al final del modelo, donde la velocidad es mayor y su gradiente también (figura 3).

Por último, la figura 4 muestra que, a pesar de que las dimensiones del caso de estudio cambien exageradamente, siguen sin existir diferencias apreciables entre ambos modelos. Los perfiles de la lámina de agua y de sedimento erosionado son análogos a los mostrados en la figura 1, ya que las características del sedimento son iguales. Estas últimas determinan las formas de fondo, y por lo tanto, la evolución del flujo. Por lo tanto, estos modelos son muy sensibles a las características del sedimento, como se desprende del análisis comparativo de los perfiles obtenidos para este mismo caso por Wu y Wang (2007) y Cao et al. (2004).

7. Conclusiones

Este trabajo estudia el efecto de la no uniformidad del flujo y de las tensiones turbulentas en modelos unidimensionales promediados de transporte de sedimentos. Para ello, se presenta un modelo físico de transporte de sedimentos que incluye las hipótesis consideradas: desviación del perfil de velocidades y de concentración suspendida, y tensiones tangenciales del flujo promediadas. Las consideraciones sobre el tratamiento numérico de las ecuaciones del modelo se pueden consultar en el trabajo de Wu y Wang (2007). Tras establecer el procedimiento a seguir durante el cálculo y los casos de estudio, el trabajo presenta los resultados de ambos modelos en diferentes estados de tiempo para el avance del flujo de la rotura de presa.

El análisis de los resultados revela que las diferencias entre ambos modelos, el propuesto por Wu y Wang y el estudiado en este trabajo, no son apreciables ni relevantes en la mayoría de los perfiles estudiados. La excepción la conforma la variación de la lámina de agua en el frente de avance, donde está ligeramente más adelantada para el modelo con hipótesis con respecto al modelo base. Extendiendo el análisis a presas de gran tamaño tampoco supone una exageración de estas diferencias.

En resumen, se puede concluir que el efecto de las hipótesis consideradas en este trabajo sobre el modelo de transporte de sedimentos es despreciable. Asumirlas supone una mejora física del modelo, pero se puede evitar el pequeño coste computacional que suponen al obviarlas sin mayores consecuencias en los resultados.

Estas conclusiones ponen de manifiesto que las características del flujo deben ser estudiadas, quizá, desde un enfoque físico, ya que el modelo sigue sin ajustar en buena medida los perfiles de sedimento y de elevación de la lámina de agua. Por lo tanto, el camino para el desarrollo de un modelo definitivo queda acotado para sucesivos trabajos.

8. Referencias

Cao, Z., Pender, G., Wallis, S., & Carling, P. (2004). Computational dam-break hydraulics over erodible sediment bed. *Journal of hydraulic engineering*, 130(7), 689-703.

Capart, H., & Young, D. L. (1998). Formation of jump by the dambreak wave over a granular bed. *J. Fluid Mech*., 372, 165–187.

Dey, S. (2014). *Fluvial hydrodynamics: Hydrodynamic and sediment transport phenomena*. Springer.

Fraccarollo, L., & Capart, H. (2002). Riemann wave description of erosional dam-break flows. *J. Fluid Mech*., 461, 183–228.

Guo, Q. & Jin, Y. (1999). Modeling Sediment Transport Using Depth-Averaged and Moment Equations. *J. Hydraul. Eng*.,125(12), 1262–1269.

Rastogi, A. K., & Rodi, W. (1978). Predictions of heat and mass transfer in open channels. *Journal of the Hydraulics division*, 104(3), 397-420.

Toro, E. F. (2001). Shock-capturing methods for free-surface shallow flows. Wiley.
Van Rijn, L. C. (1984). Sediment transport. Part I: Bed load transport. *J. Hydraul. Eng*., 110□10, 1431–1456.
Wu, W. (2008). *Computational river dynamics*. CRC Press.
Wu, W., & Wang, S. S. (2007). One-dimensional modeling of dam-break flow over movable beds. *Journal of hydraulic engineering*, 133(1), 48-58.
Yakhot, V., Orszag, S.A., Thangam, S., Gatski, T.B. and Speziale, C.G. (1992) Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique. *Phys. Fluids* A, 4(7).
Ying, X., Khan, A. A., & Wang, S. S. Y. (2004). Upwind conservative scheme for the Saint Venant equations. *J. Hydraul. Eng*., 130□10, 977–987.
Yue, Z. & Cao, Z. (2008). Discussion of “One-Dimensional Modeling of Dam-Break Flow over Movable Beds”, by W. Wu and S. S. Y. Wang.” *J. Hydraul. Eng*., 134(10), 1536–1539.

02-019

INCLINED PILES: REGULATORY FRAMEWORK AND ADVANTAGES AND DRAWBACKS OF ITS USE IN BUILDING PROJECTS IN SEISMICALLY ACTIVE REGIONS.

Padrón Hernández, Luis Alberto; Medina, Cristina; Álamo, Guillermo Manuel; Aznárez, Juan José; Santana, Ariel; Maeso, Orlando; García, Fidel; Chirino, Francisco
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

The regulatory framework currently in force in Spain regarding the construction processes contains very few references to the use of inclined piles in building projects. In the case of constructions located in seismically active regions, Part 5 of Eurocode 8 (Design of structures for earthquake resistance – Foundations, retaining structures and geotechnical aspects) dictates that if inclined piles are used, they should be designed to safely carry axial loads as well as bending loads, but notes that inclined piles are not recommended for transmitting lateral loads to the soil. This situation is due partly to the lack of technical knowledge to support such rule developments, and partly to several structural failures observed in different seismic events in the late eighties and early nineties. However, and despite the existence of disadvantages, several studies suggest a beneficial role of inclined piles for the foundation itself but also for the whole building. This paper discusses briefly some aspects related to the regulatory framework affecting this type of foundation system. Then, different results will be presented in order to illustrate the possible advantages and drawbacks of its use in building projects in seismically active regions.

Keywords: *Piles; Inclined piles; Batter piles; Deep foundations; Earthquake resistent construction*

PILOTES INCLINADOS: SITUACIÓN NORMATIVA Y VENTAJAS E INCONVENIENTES DE SU USO EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN EN ZONAS CON RIESGO SÍSMICO

El marco normativo vigente en España en el ámbito de los procesos de edificación contiene muy pocas referencias a la utilización de pilotes inclinados en el proyecto del edificio. En el caso concreto de construcciones ubicadas en zonas con riesgo sísmico, la parte 5 del Eurocódigo 8 (Proyecto de estructuras frente a sismo. Cimentaciones, depósitos y aspectos geotécnicos) especifica únicamente que en el caso de utilizar pilotes inclinados, éstos deberán ser dimensionados ante cargas axiales y flectores, pero desaconseja su uso para transmitir cargas horizontales al suelo. Esta situación es debida en parte a la falta de conocimientos técnicos que respalden un desarrollo normativo más profundo, y en parte a diversos fallos estructurales observados en distintos eventos de finales de los 80 y principios de los 90. Sin embargo, y a pesar de la existencia de inconvenientes en su uso, diversos estudios apuntan también a posibles beneficios tanto para la cimentación como para la edificación en su conjunto. En este artículo se discutirán brevemente algunos aspectos relacionados con la situación normativa de este sistema de cimentación y se mostrarán distintos resultados para ilustrar las posibles ventajas e inconvenientes de su uso en proyectos de edificación en zonas con riesgo sísmico.

Palabras clave: *Pilotes; pilotes inclinados; cimentaciones profundas; construcción sismorresistente*

Correspondencia: Luis Alberto Padrón luis.padron@ulpgc.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación BIA 2010-21399-C02-01, financiado por la Subdireccion General de Proyectos de Investigacion (MICINN) y Fondos FEDER. Está también vinculado al proyecto de investigación precompetitivo ULPGC2013-08 financiado por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria dentro del programa de ayudas a la investigación convocatoria 2013. Cristina Medina y Guillermo Álamo son beneficiarios del programa de becas predoctorales de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). Ariel Santana es beneficiario de un contrato predoctoral FPI (BES-2009-029161) financiado por el MINECO.

1. Introducción

Son muchas las razones que pueden aconsejar la consideración de cimentaciones profundas en proyectos de edificación o de infraestructuras. Por un lado, razones vinculadas directamente con el terreno de cimentación: suelos de baja capacidad portante, estratos superiores de terreno de relleno o de muy mala calidad, existencia de zonas con peligro de licuefacción, o previsión de variaciones estacionales en términos de hinchamientos y retracciones del terreno como por ejemplo los vinculados a la existencia de arcillas expansivas. Por otro lado, razones derivadas de las características o requerimientos de la estructura soportada: cargas horizontales y/o de vuelco significativas, o requisitos elevados en términos de estabilidad o de limitación de desplazamientos o de asientos.

Puede incluso darse el caso de que las prestaciones de una cimentación profunda convencional de pilotes verticales sean también insuficientes. Esto puede ocurrir cuando las cargas horizontales son importantes (como pueden ser los casos de vientos en edificios altos y expuestos o singulares, impactos, sismo o contención de tierras u otros materiales en estructuras diseñadas para tal fin), y/o en casos en los que los pilotes tengan tramos aéreos, como puede ser en estructuras elevadas sobre el terreno o en algunos tipos de muelles y embarcaderos. En estas situaciones, una alternativa más económica y eficaz puede ser el uso de pilotes inclinados.

Los pilotes inclinados eran ya utilizados con asiduidad a principios del siglo XX para soportar grandes cargas laterales en puentes y muelles. José Eugenio Ribera, ingeniero emprendedor, innovador y pionero en el proyecto y el uso del hormigón armado en España, ya describe hace casi un siglo (Ribera, 1926) cómo la utilización de pilotes inclinados era ya común en países como Alemania o los Estados Unidos de América. De hecho, los pilotes inclinados fueron la opción preferida en muchos casos hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XX debido, entre otras razones, a la falta de metodologías adecuadas de análisis del sistema suelo-cimentación (lo que favorecía el uso de configuraciones con una respuesta horizontal más intuitiva como las de pilotes inclinados), y debido también a la escasa resistencia a flexión de muchos de los tipos de pilotes utilizados entonces, como era el caso de los pilotes de madera (Ravazanjian, 2006). Aún tras la mejora generalizada de las tecnologías de cálculo, diseño y ejecución de cimentaciones profundas, los pilotes inclinados seguían utilizándose de manera general para soportar grandes cargas laterales y controlar los desplazamientos generados por ellas hasta los años setenta y ochenta del siglo XX.

Con todo, a día de hoy, la instalación de pilotes inclinados es percibida como bastante más compleja que la de pilotes verticales, y son prescritos de forma puntual como solución en casos de grandes cargas horizontales que no pueden ser resistidas por otros métodos, y más comúnmente en situaciones en las que se estima que la estructura no va a estar sometida a cargas sísmicas. Esto último es debido al hecho de que la legislación actual de referencia (en Europa, el Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes) desaconseja su uso en zonas con riesgo sísmico por dos motivos principales, relacionados entre si: 1.- la falta de conocimientos científicos y técnicos que respalden un desarrollo normativo más profundo; 2.- diversos fallos estructurales observados en distintos eventos del siglo pasado, la mayoría a finales de los años ochenta y principios de los noventa.

Tal y como se comentó anteriormente, eran muchas las estructuras que, estando en uso a finales del siglo XX, incorporaban pilotes inclinados como parte de sus sistemas de cimentación. En el momento de su diseño y cálculo, las metodologías de análisis disponibles eran muy poco rigurosas e incorporaban hipótesis simplificativas de calado. En general, no se consideraban modelos continuos de interacción entre el suelo y los pilotes, y se simplificaba el modelo considerando que los pilotes estaban articulados tanto en la punta como en la cabeza, lo que permite asumir que los pilotes transmiten exclusivamente cargas

axiles y realizar un estudio sencillo e intuitivo del comportamiento del sistema (Gazetas y Mylonakis, 1998; Gerolymos et al., 2008). De hecho, aún hoy en día, en los manuales de referencia se hace uso de esta hipótesis para el cálculo de los axiles en pilotes de cualquier configuración con encepados rígidos (Jiménez Montoya et al., 2009). La utilización de estas metodologías simplificadas no sólo lleva a conclusiones significativamente erróneas sino que además fue una de las principales causas que explican la serie de colapsos estructurales observados en diversos eventos sísmicos y que dieron lugar, a su vez, a la desconfianza comentada anteriormente en relación con el uso de pilotes inclinados en zonas de riesgo sísmico. Entre los casos más estudiados se encuentran los fallos de: diversas pilas de puentes en el terremoto de 1964 en Alaska; las estructuras de los muelles y de soporte de las grúas de la séptima terminal del Puerto de Oakland (California) durante el terremoto de Loma Prieta en 1989; numerosos soportes de puentes en el terremoto que afectó a Costa Rica en 1991; o varios muelles del Puerto de Los Ángeles en el terremoto de Northridge en 1994, entre otros (Harn, 2004; Ravazi, Fakher y Mirghaderi, 2007; Gerolymos et al., 2008), siendo destacable el hecho de que muchos de los casos fueron asociados a fenómenos de licuefacción en algún estrato del suelo circundante o cercano.

En general, estos fallos estructurales estuvieron relacionados con la manera en que los pilotes inclinados soportaron inicialmente gran parte de las cargas horizontales (debido a su mayor rigidez), y a cómo estas cargas son derivadas al resto de la cimentación (incapaz de soportarlas adecuadamente) una vez que los pilotes inclinados fallaron. En la mayor parte de los casos, los fallos se originaron en la conexión entre el pilote y el encepado, o cerca de ésta, en el entorno de la cabeza de los pilotes. Los fallos observados fueron de todo tipo: tensión, punzonamiento, flexión, cortante y pandeo, en todo caso debidos probablemente a diseños inapropiados (Gerolymos et al., 2008), concepto que hace referencia aquí a múltiples aspectos interrelacionados entre si. Tal y como se comentaba anteriormente, el uso de modelos simples de cálculo que no incluían la interacción entre los pilotes y el suelo podía llevar a estimaciones de esfuerzos en los pilotes muy inferiores a los reales. Si existían además terraplenes cercanos, o se trataba de terrenos estratificados, con posibilidad o no de licuefacción en alguna de sus capas, la infravaloración de los esfuerzos sería además más acusada. En cualquier caso, dichos modelos simplificados serían incapaces de estimar el verdadero comportamiento del sistema, lo que llevaría a conclusiones erróneas y a secciones y, en su caso, armaduras, inadecuadas en la cabeza de los pilotes y en su conexión con el encepado (Gerolymos et al., 2008). En muchos casos, además, la solución constructiva elegida tampoco reflejaba las hipótesis del modelo utilizado, ya que la conexión entre pilote y encepado no se ejecutaba como articulación (ni se permitía el desarrollo de rótulas plásticas) aún cuando ésta era la situación considerada en los modelos de cálculo utilizados (Kavazanjian, 2006). La ejecución deficiente parece ser una razón añadida al armado inadecuado en algunos casos (Moore, 2005) . Se llega así a la conclusión de que los sistemas fallaron no necesariamente por razones intrínsecas a la configuración, sino más probablemente por un análisis y diseño incorrectos de la misma. A esta conclusión hay que añadir el hecho de que también se han documentado numerosos casos en los que este tipo de cimentaciones produjo resultados excelentes. Dos casos destacan. Uno de los pocos muros del puerto de Kobe (Japón) que resistió el terremoto de 1995 estaba cimentado con pilotes inclinados, mientras que otros muros similares cimentados sobre pilotes verticales quedaron completamente destruidos. Por otro lado, uno de las pilas del puente de Landing Road resistió desplazamientos de tierra de 2 metros, debidos a la licuefacción de una capa de terreno en el terremoto de Edgecumbe (1987. Nueva Zelanda), gracias a la existencia de pilotes inclinados que le proporcionaron la rigidez lateral suficiente (Gazetas y Mylonakis, 1998).

La serie de fallos estructurales comentados anteriormente en relación con el uso de pilotes inclinados llevó a plasmar en la mayoría de normas una actitud conservadora y a desaconsejar el uso de ese sistema en zonas con riesgo sísmico. Sin embargo, después de

estudiar y comprender las causas de aquellos desastres, parece que los pilotes inclinados han recuperado la confianza de los ingenieros y están siendo de nuevo utilizados como estrategia para soportar grandes cargas horizontales en cualquier situación. Un ejemplo es el nuevo puente de la Bahía de San Francisco, que utiliza este tipo de cimentación (figura 1) para derivar al suelo blando del lecho de la Bahía las enormes cargas horizontales que se desarrollarán en caso de terremoto (Ravazanjian, 2006; Giannakou et al. 2010).

Figura 1. Ilustración de las pilas del nuevo puente de la Bahía de San Francisco, cimentadas sobre pilotes inclinados (Caltrans, 2012)

En cualquier caso, el uso de pilotes inclinados no está exento de posibles complicaciones técnicas. Son cuatro las principales características adversas que deben ser tenidas en cuenta durante el diseño (Gazetas y Mylonakis, 1998; Gerolymos 2008).

El primer aspecto está relacionado con el tipo de esfuerzos inducidos en la cimentación cuando el suelo circundante sufre deformaciones debidas a su propio peso o a cargas verticales en la superficie. La consolidación del suelo en condiciones estáticas (bajo cargas verticales en superficie, por ejemplo) o tras un evento sísmico produce cargas puramente axiles en los pilotes, que en general no conllevan complicaciones. En el caso de pilotes inclinados, por el contrario, es evidente que dichos fenómenos producirían momentos flectores permanentes y añadidos a los ya soportados por la cimentación al derivar las cargas de la superestructura al suelo circundante. Tras un evento sísmico, estos momentos residuales pueden llegar a ser significativos en relación con los momentos flectores producidos por la carga en sí, lo que hace que, de existir, deban ser tenidos en cuenta en el diseño (Escoffier, 2012). Otros estudios muestran que, en general, la utilización de pilotes inclinados debe realizarse con mucha atención, no sólo en zonas sísmicamente activas, sino también en terrenos en desnivel o donde fenómenos de consolidación sean esperables debido a que las cargas producidas por el movimiento del terreno pueden llegar a contrarrestar los beneficios obtenidos del uso de este tipo de cimentación (Poulos, 2006). Por ejemplo, Neely (2007) documenta un caso en que las cargas axiales se multiplicaron por 4 en un pilote con 14º de inclinación en suelos en consolidación, llegándose incluso al fallo de la cimentación por esta causa. A este respecto, el uso de ángulos de inclinación pequeños (no superiores a 10º), puede ayudar a paliar estos efectos negativos.

La segunda característica a tener en cuenta está relacionada con la rigidez horizontal de los pilotes, que generará cargas sobre el encepado mayores que las generadas por los más comunes pilotes verticales, y además de signo cambiante. En este sentido, la posición relativa de la conexión del encepado con pilotes con inclinaciones opuestas es un aspecto al que prestar especial atención (Moore, 2005). A esto hay que añadir la manera en la que los pilotes inclinados pueden concentrar las cargas horizontales por su mayor rigidez y la necesidad de calcular los elementos de manera precisa para evitar fallos estructurales.

Por otro lado, y como se comentó anteriormente, el hecho de inclinar los pilotes favorece que éstos desarrollen mayores esfuerzos axiles ante cargas horizontales. Este aumento en las tensiones derivadas del esfuerzo axil produce una disminución en los momentos máximos que puede resistir la sección.

Finalmente, configuraciones no simétricas (cuando los pilotes están todos inclinados en la misma dirección o cuando sólo una fila de pilotes está inclinada, como se hace en ocasiones cuando el sentido de la carga horizontal es único) pueden dar lugar a rotaciones permanentes de la cimentación debido a la distinta rigidez de los pilotes en cada lado.

En sentido favorable, sin embargo, la utilización de pilotes inclinados puede conseguir, no sólo mayor rigidez lateral y menores desplazamientos, sino también menores aceleraciones en caso de cargas dinámicas y un coste total de construcción más reducido (debido a su mayor rigidez horizontal respecto a un pilote vertical de igual diámetro y longitud). Su uso en caso de licuefacción o con estructuras elevadas sobre la superficie del terreno puede ser especialmente beneficiosa.

A pesar de la incertidumbre existente en torno a la utilización de pilotes inclinados en el proyecto de edificaciones e infraestructuras, las normativa Española y Europea contienen únicamente referencias puntuales a esta tipología de cimentación. Como ya se ha adelantado, esta situación es debida principalmente a la falta de experiencia y de conocimientos científicos y técnicos que respalden un desarrollo normativo más profundo en este sentido, principalmente en el ámbito sísmico, razones que aconsejan profundizar en el estudio del comportamiento de este tipo de configuraciones.

2. Objetivos

Tal y como se desprende de lo expuesto en la sección anterior, existe cierto nivel de incertidumbre respecto al uso de pilotes inclinados como parte del sistema de cimentación en el proyecto de edificaciones e infraestructuras, fundamentalmente cuando el proyecto se ubica en zonas con riesgo sísmico o la estructura está sometida a cargas dinámicas. A este estado de cosas contribuye el hecho de que dicha configuración no está regulada de manera expresa en la normativa vigente. Por esta razón, se propone como objetivo de este trabajo estudiar y exponer la situación normativa actual de las cimentaciones compuestas por pilotes inclinados, y mostrar distintos resultados que ilustren su comportamiento y las posibles ventajas e inconvenientes de sus uso en proyectos de edificación y de infraestructuras. Se pretende así justificar la necesidad de continuar estudiando e investigando sobre la respuesta y características de este tipo de cimentaciones, de manera que sea posible plantear desarrollos normativos futuros, todo ello centrándose fundamentalmente en el ámbito de proyectos en ubicaciones con riesgo sísmico o ante cargas dinámicas.

3. Situación normativa

Se enumeran a continuación las normas técnicas de aplicación que afectan al proyecto y ejecución de cimentaciones profundas en proyectos de edificación o infraestructuras, prestando especial atención a la existencia o ausencia de menciones expresas al caso de pilotes inclinados.

En primer lugar podemos nombrar el Código Técnico, específicamente el Documento Básico CTE-DB-SE-C Seguridad estructural: Cimientos. Este documento dedica un capítulo al proyecto de cimentaciones profundas, especificando las tipologías y las definiciones de partida, las acciones a considerar, los métodos de análisis y dimensionado, y las condiciones constructivas y de control, todo ello complementado con el anejo F.2 donde se establecen modelos de referencia para el cálculo de cimentaciones y elementos de

contención. Aún así, no establece requerimientos o distinciones particulares en el diseño y cálculo de pilotes inclinados más allá de definir las tolerancias geométricas de ejecución respecto al ángulo de inclinación (y diferentes de las establecidas en las normas UNE-EN 1536 y UNE-EN 12699), aún cuando las metodologías de diseño y cálculo presentadas incorporan numerosas hipótesis simplificativas y fueron derivadas principalmente para el caso de pilotes verticales. En este mismo ámbito, la norma de referencia a nivel europeo es el Eurocódigo 7: Proyecto Geotécnico. Este documento hace referencia expresa a los pilotes inclinados al detallar un grupo de situaciones en las que es necesario prestar especial atención a la determinación de las cargas transversales sobre los pilotes. Entre estas situaciones, la norma destaca los casos anteriormente comentados de pilotes inclinados en suelos susceptibles de experimentar consolidación, y de cimentaciones profundas en zonas con riesgo sísmico. Sin embargo, la norma no establece ningún tipo de metodología de cálculo ni recomendaciones al respecto.

Por otro lado hay que destacar la Instrucción de Hormigón Estructural vigente (EHE-08). Dentro de su capítulo XII relativo a elementos estructurales, el punto 58.4.1.2 del artículo 58º (elementos de cimentación) está dedicado a la comprobación y dimensionamiento de la armadura de encepados rígidos, el 58.6 a pilotes, y el 58.8 a las dimensiones y armaduras mínimas de zapatas, encepados y losas de cimentación. En el punto 58.6 relativo a pilotes, se establece que la comprobación de un pilote es análoga a la de un soporte en el que el terreno impide, al menos parcialmente, el pandeo, remitiéndose al artículo 54º para su comprobación, mientras los otros puntos se centran en el encepado, de manera que no se hace ninguna mención en absoluto al caso particular de los pilotes inclinados aún cuando, como se discutió en la introducción, el diseño de la conexión entre el pilote y el encepado tiene características particulares en este caso. En la misma línea, la norma de referencia para Proyectos de Estructuras de Hormigón a nivel Europeo, el Eurocódigo 2, tampoco contiene menciones expresas. En este ámbito existen varias normas UNE-EN relacionadas con la ejecución de cimentaciones pilotadas que sí hacen mención a pilotes inclinados, al menos en cuanto a varios aspectos constructivos. En primer lugar, la norma UNE-EN 1536:2011: “Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Pilotes perforados.” es de aplicación a pilotes con ángulos de inclinación no superiores a 18º (1/3) respecto a la vertical en el caso de pilotes con entubado permanente, o 14º (1/4) en el resto de casos, tal y como queda establecido expresamente en su ámbito de aplicación. Por otro lado, la UNE-EN 14199:2006: “Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Micropilotes.” incluye requisitos específicos para la correcta ejecución (no diseño o cálculo) de pilotes inclinados. Algo similar puede decirse con respecto a la UNE-EN 12699:2001: “Realización de trabajos geotécnicos especiales. Pilotes de desplazamiento”, que limita la desviación en obra del eje del pilote inclinado respecto a la inclinación especificada en el proyecto.

En el caso de pilotes de acero, sería también de aplicación la Instrucción de Acero Estructural (EAE), o el Eurocódigo 3 (Proyecto de estructuras de acero), ninguno de los cuales incluye ninguna disposición específica para pilotes inclinados.

Otra norma de aplicación es la de construcción sismorresistente (NCSE-02), en cuyas reglas específicas para cimentaciones de pilotes se establecen requisitos adicionales (en caso de construcciones en zonas con riesgo sísmico), por ejemplo, respecto a la armadura de los pilotes de hormigón armado, sin hacer ningún tipo de mención expresa a la presencia de pilotes inclinados. A nivel Europeo es de aplicación el Eurocódigo 8 (Proyecto de estructuras sismorresistentes), especialmente su parte 5 (Cimentaciones, estructuras de contención y aspectos geotécnicos). El punto 5.4.2 (pilas y pilotes) de este documento indica, tal y como se comentó anteriormente: “En caso de utilizar pilotes inclinados, estos deben ser diseñados para soportar, de manera segura, tanto cargas axiles como momentos flectores”, requerimiento que, a la luz de los resultados, obliga a descartar los modelos simplificados de pilotes biarticulados descritos anteriormente. A continuación, una nota adicional añade: “El

uso de pilotes inclinados no está recomendado para transmitir cargas laterales al suelo". No queda claro aquí si el legislador se refiere exclusivamente a cargas laterales estáticas, o si está incluyendo también las cargas horizontales de origen sísmico. En cualquier caso, y dado que esa es una de sus utilidades principales, parece claro que la nota está desaconsejando su uso de manera general.

Por último, es necesario mencionar un documento que, aún sin ser de obligado cumplimiento, es de facto la guía de referencia en el proyecto y la ejecución de obras en su ámbito de aplicación: la ROM 0.5-05: "Recomendaciones geotécnicas para obras marítimas y portuarias", editada por Puertos del Estado y el Ministerio de Fomento. Se trata del documento normativo a nivel estatal que más referencias contiene a la configuración objeto de este estudio. En primer lugar, al tratar la verificación de la seguridad frente a la rotura del terreno por tiro o empuje horizontal del pilote individual, la norma indica que "los grupos de pilotes que estén sometidos a cargas horizontales pueden tener disposiciones especiales, de manera que esas cargas sean soportadas principalmente por compresión en las cabezas de algunos pilotes inclinados". Posteriormente, las disposiciones relativas a muelles y pantalanes de pilotes, la guía comienza indicando que "la construcción de muelles apoyados sobre cimentaciones profundas es una práctica obligada en aquellos terrenos en los que el sustrato resistente está a una profundidad excesiva para construir muelles de gravedad", y que "pueden ser también de interés en terrenos de compacidad media, como alternativa a otras tipologías posibles". A continuación, indica que pueden disponerse pilotes inclinados "que colaboren, con su resistencia axial, a soportar los esfuerzos horizontales". Posteriormente, al tratar las acciones sobre los pilotes, establece que "en las disposiciones estructurales con pilotes inclinados, puede resultar que algún pilote, en alguna situación de proyecto, resulte traccionado", en cuyo caso puede ser conveniente "disponer unas plataformas estructurales más pesadas que limiten estas tracciones", lo que ayudaría a limitar algunos de los tipos de fallos discutidos durante la primera parte de este trabajo. En cualquier caso, los comentarios contenidos en esta norma parecen indicar que fueron realizados con la imagen habitual e intuitiva, pero no totalmente acertada, de unos pilotes inclinados que trabajan principalmente a axil.

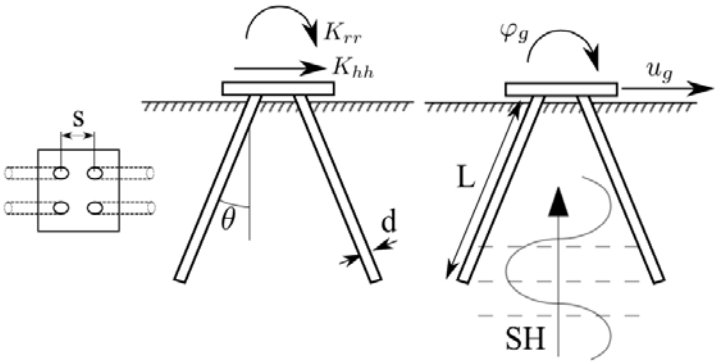
4. Metodología y Caso de Estudio

Tras realizar una introducción a la evolución y aspectos más relevantes del comportamiento de las cimentaciones profundas con pilotes inclinados, y discutir la situación normativa de este sistema de cimentación, se mostrarán en la siguiente sección distintos resultados para ilustrar las posibles ventajas e inconvenientes de su uso en proyectos de edificación y de infraestructuras en zonas con riesgo sísmico o ante cargas dinámicas. Los resultados mostrados en la sección siguiente son el fruto del trabajo realizado en los últimos años por el grupo de investigación (Maeso et al., 2005; Padrón et al., 2007, 2010, 2011, 2015; Medina et al., 2014) en la formulación, implementación y aplicación de modelos para el análisis de la respuesta dinámica de cimentaciones pilotadas. En este trabajo en particular se muestran resultados obtenidos con un modelo numérico acoplado en el dominio de la frecuencia en el que el suelo es representado como un medio viscoelástico haciendo uso del Método de los Elementos de Contorno (MEC) y los pilotes como vigas elásticas tipo Euler-Bernoulli discretizadas a través del Método de los Elementos Finitos (para más detalles de la formulación, ver p.e. Padrón et al., 2007, 2010, 2011).

La figura 2 muestra los parámetros más importantes de la configuración estudiada en este trabajo. Se trata de una cimentación profunda simétrica de 4 pilotes inclinados en la dirección de la excitación, con una separación entre pilotes s, un diámetro de pilotes d, una longitud de pilotes L, y un ángulo de inclinación respecto a la vertical θ. Se estudiará también el caso correspondiente a un solo pilote inclinado. Se mostrarán resultados relacionados con la respuesta de la cimentación ante cargas horizontales o momentos

armónicos sobre el encepado (impedancias K_{hh} y K_{rr}) así como relacionados con la respuesta de la cimentación ante ondas sísmicas de corte de incidencia vertical (SH). En este último caso, los desplazamientos horizontales y giros producidos en el encepado se representan mediante los símbolos u_g y φ_g respectivamente. En todos los casos, el coeficiente de Poisson del suelo es v_s=0.4 y se considera un coeficiente de amortiguamiento histerético del 5% en el suelo.

Figura 2. Definición geométrica de una cimentación profunda simétrica de 4 pilotes inclinados en la dirección de la excitación. Rigideces dinámicas (derecha) e interacción cinemática ante ondas sísmica de corte de incidencia vertical (derecha).



5. Resultados

La figura 3 muestra los coeficientes de rigidez (k) y amortiguamiento (c) dinámicos, y los factores de interacción cinemática I_u e I_φ, en términos de parte real y módulo, ante ondas sísmicas de incidencia vertical de la cimentación descrita en la sección 4 para una relación entre el módulo de Young de los pilotes y del suelo de E_p/E_s=100, y una relación entre la separación entre ejes de pilotes y su diámetro de s/d=5, donde u_{go} es la magnitud del desplazamiento horizontal producido en superficie por las ondas sísmicas, y b es el semiancho del encepado. Los coeficientes se presentan como función de la frecuencia adimensional $a_o=\omega d/c_s$, donde ω representa la frecuencia circular de la carga, y c_s representa la velocidad de la onda de corte en el suelo. Las funciones se adimensionalizan utilizando magnitudes adecuadas a cada caso. La figura muestra que, como era de esperar, las rigideces horizontales k_{hh} crecen al inclinar los pilotes en la dirección de la solicitación mientras la rigidez a giro k_{rr} decrece a bajas frecuencias. Se observa además, y como consecuencia de ello, una reducción del desplazamiento horizontal u_g generado ante ondas sísmicas de incidencia vertical junto a un aumento de la respuesta a giro φ_g. Se observa también una de las principales características de la respuesta dinámica de este tipo de cimentaciones: el fuerte acoplamiento existente entre el desplazamiento horizontal en el encepado y su giro, en este caso ante una excitación sísmica. El giro del encepado en particular no sólo aumenta significativamente al aumentar el ángulo de inclinación de los pilotes (ver gráfico inferior derecho) sino que además cambia de sentido (signo) respecto a la cimentación con pilotes exclusivamente verticales (ver gráfico inferior izquierdo).

Para ilustrar cómo el ángulo de inclinación de los pilotes afecta a los esfuerzos máximos producidos sobre una estructura ante un evento sísmico, la figura 4 muestra la respuesta espectral máxima para dos edificios pilotados diferentes, uno poco esbelto (h/b=1) y otro muy esbelto (h/b=10), donde h es la altura del edificio y b su semiancho. Los resultados fueron obtenidos según el procedimiento expuesto en Medina et al., (2015), y se muestran en términos de la fuerza sísmica efectiva máxima (Q_m) en la base de un edificio a cortante modelado como un sistema de un grado de libertad que representa el modo de vibración relevante, en función del parámetro $\sigma=c_sT/h$ que representa la relación de rigidez entre el suelo y la estructura y, por lo tanto, cuantifica la cantidad de interacción suelo-estructura

Figura 3. Coeficientes de rigidez y amortiguamiento dinámicos, y factores de interacción cinemática ante ondas sísmicas de incidencia vertical. E_p/E_s=100. s/d=5. L/d=15. ρ_s/ρ_p=0.7. (Padrón et al., 2010; Medina et al., 2014)

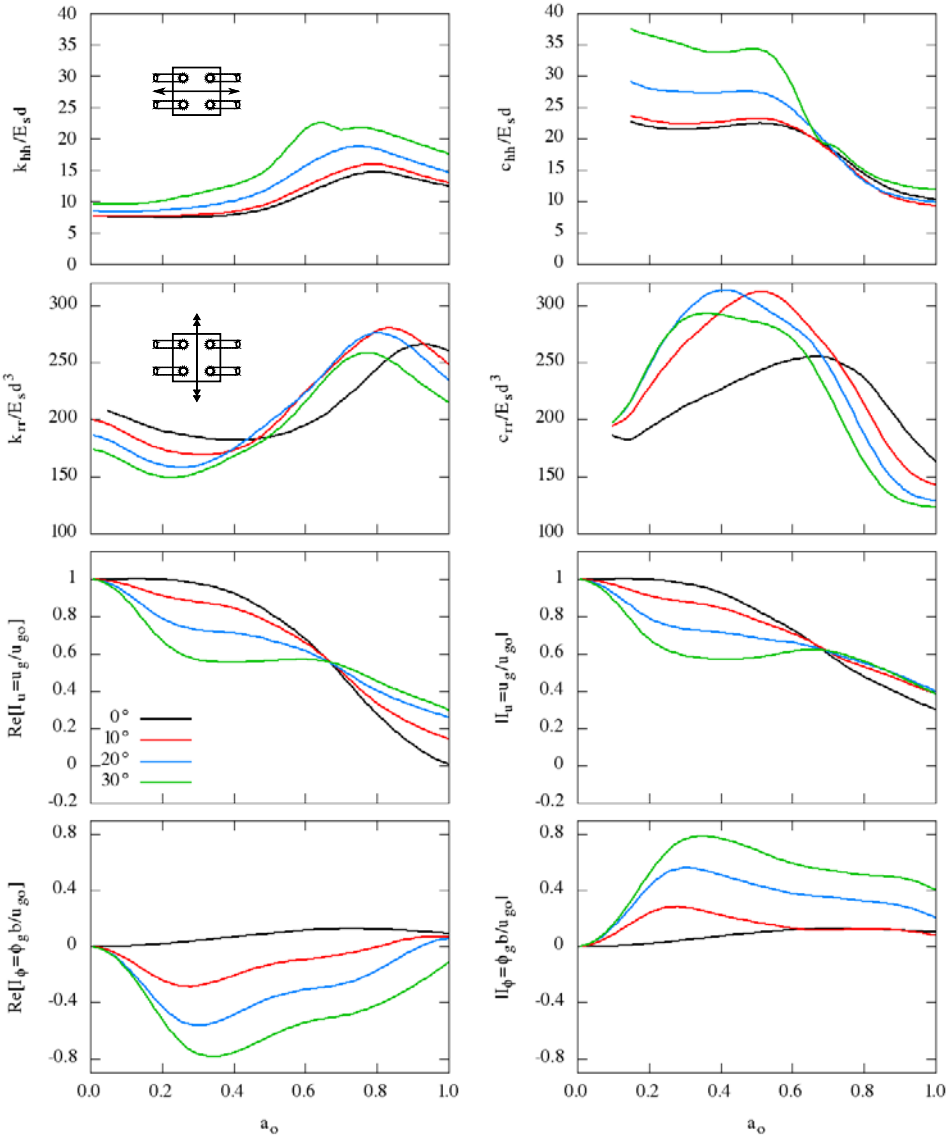
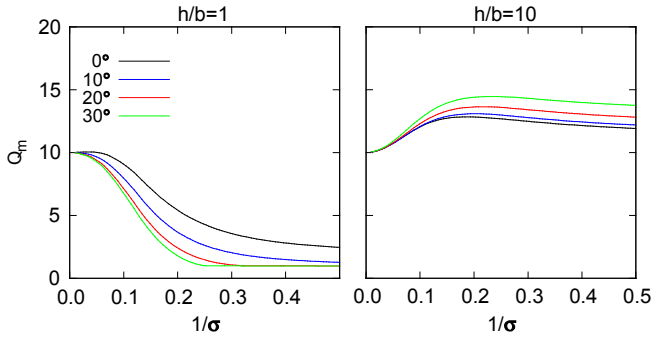


Figura 4. Respuesta estructural máxima de la superestructura en función del ángulo de inclinación de los pilotes de la cimentación ante ondas sísmicas de incidencia vertical. s/d=7.5, L/d=15, L/b=2, E_p/E_s=1000, ρ_s/ρ_p=0.7. (Medina et al., 2014b)



existente. Un valor de $1/\sigma$ cercano a cero implica muy poco nivel de interacción suelo-estructura, mientras que un valor alto implica un suelo muy blando en relación con la estructura y por tanto un nivel de interacción más acusado. Los resultados se corresponden con un caso con los siguientes parámetros adimensionales: s/d=7.5, L/d=15, L/b=2, y E_p/E_s=1000. Como puede verse, en el caso de edificios poco esbeltos, la inclinación de los pilotes conduce a esfuerzos sísmicos en la estructura significativamente menores, debido al incremento de la rigidez horizontal y a la reducción del input sísmico a la estructura con la inclinación de los pilotes. Los edificios altos, en cambio, al ser sensibles al comportamiento rotacional de la cimentación, experimentan esfuerzos sísmicos mayores debido a la reducción de la rigidez rotacional y el incremento del input sísmico rotacional al aumentar la inclinación de los pilotes.

Es también interesante estudiar los esfuerzos sísmicos generados en la cimentación, y cómo éstos evolucionan al modificar el ángulo de inclinación de los pilotes. Para ello, la figura 5 presenta la relación entre los momentos flectores cinemáticos (producidos por la excitación sísmica debido a la interacción pilote-suelo pero sin tener en cuenta la presencia de una superestructura) a lo largo de un pilote inclinado en relación con los sufridos por el pilote vertical en las mismas circunstancias (Padrón et al., 2015). Los resultados se presentan a lo largo de toda la profundidad de un pilote de 12 metros de largo y 0.6 metros de diámetro y, en el caso del grupo de cuatro pilotes, una separación entre centros de cabezas de pilotes adyacentes de 3 metros. Los pilotes se modelan como pilotes de hormigón armado circulares con un módulo de Young $E_p=3\cdot10^{10}$ Pa y una densidad ρ_p=2500 kg/m^3. Se consideran tres tipos de suelos homogéneos con velocidades de propagación de las ondas de corte de c_s=350, 250 y 110 m/s respectivamente y una densidad de ρ_s=1750 kg/m^3, lo que corresponde a relaciones de rigidez de E_p/E_s=50, E_p/E_s=100 y E_p/E_s=500 respectivamente. La señal sísmica se define por un acelerograma horizontal en superficie libre compatible con el espectro de respuesta elástica tipo 1 del Eurocódigo 8, considerando un suelo tipo C y un 5% de amortiguamiento, y con una aceleración pico a_g=0.375 g. Se asume una unión rígida entre cabeza de pilote y encepado, sin posibilidad de giro relativo. Puede verse que los momentos flectores experimentados por un pilote simple se reducen significativamente en toda su profundidad al aumentar su inclinación. Sin embargo, cuando se trata de una cimentación formada por un grupo de pilotes, esta disminución se observa únicamente a lo largo de los 2/3 más profundos del pilote, mientras los flectores en cabeza pueden llegar a aumentar en un factor de hasta 2.5. Esto es así debido a los mayores giros producidos en el encepado (tal y como se mostraba anteriormente) unido a la restricción cinemática impuesta por la presencia del encepado y la unión rígida considerada entre pilote y encepado. En este sentido, y dado que la cabeza del pilote se ha mostrado como uno de los puntos clave en el diseño, resulta interesante conocer la evolución exacta del momento en cabeza con el ángulo de inclinación. Esta variable se muestra en la figura 6 para los mismos casos mostrados en la figura anterior. Se observa que para el pilote simple, los momentos en cabeza se reducen monotónicamente con el ángulo de inclinación, mientras para el grupo de pilotes existe un ángulo específico (20º en este caso) que produce un momento máximo.

6. Conclusiones

Este trabajo ha discutido la evolución, utilidad y situación legislativa de las cimentaciones profundas con pilotes inclinados, mostrando también resultados que puedan ayudar a vislumbrar las posibles causas de fallo y algunas de las ventajas y desventajas de su utilización. Se ha puesto de manifiesto cómo la normativa técnica vigente actualmente en el territorio nacional recoge muy pocas alusiones a su uso, diseño o cálculo, a pesar de las particularidades de esta configuración (con muchas diferencias en comportamiento respecto a los pilotes verticales) y de las problemáticas detectadas a nivel internacional, principal-

Figura 5. Ratio de los momentos flectores cinemáticos a lo largo del pilote inclinado en relación con los sufridos por el pilote vertical en las mismas circunstancias. Cimentaciones sometidas a ondas sísmicas de corte de incidencia vertical. Pilote simple (arriba) y grupo de cuatro pilotes (abajo). E_p/E_s=50 (izquierda), 100 (centro) y 500 (derecha)

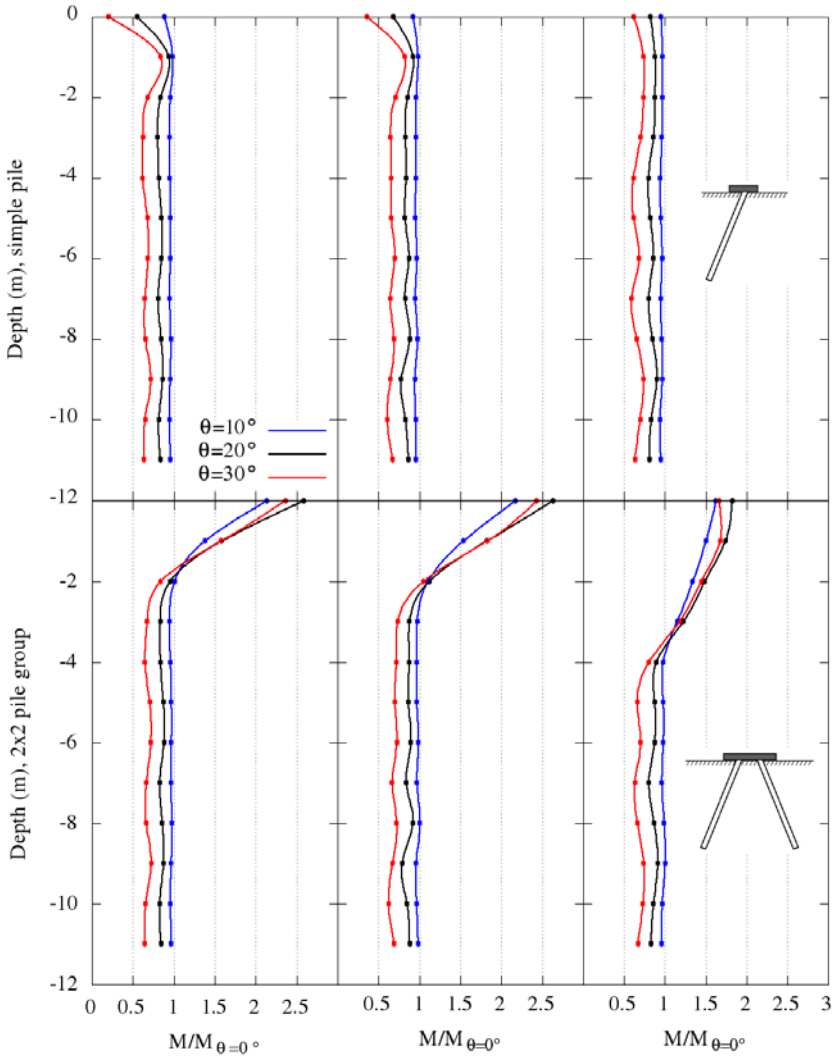
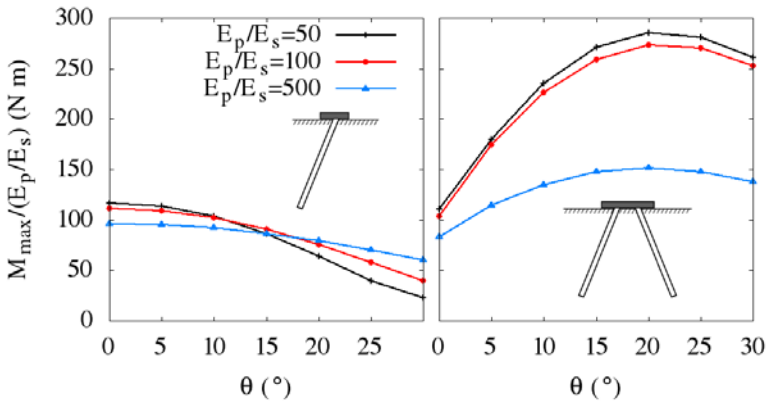


Figura 6. Evolución de los momentos flectores cinemáticos máximos en la cabeza de los pilotes en función de su ángulo de inclinación. Pilote simple (izqd.) y grupo de 4 pilotes (dcha.) (Padrón et al., 2015)



mente relacionadas con eventos sísmicos. Probablemente, este vacío normativo se debe principalmente a la falta de conocimientos técnicos y científicos que soporten un adecuado desarrollo normativo. Por tanto, se hace necesario ahondar en el estudio de este tipo de cimentación para ser capaces de explotar sus ventajas y evitar los fallos estructurales que han ensombrecido su potencial en el pasado.

Referencias

California Department of Transportation (Caltrans) (2012). Illustration of battered piles supporting portions of the Eastern Span replacement of the San Francisco-Oakland Bay Bridge. Wikimedia Commons.

España. Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02). *Boletín Oficial del Estado*, de 11 de octubre de 2002, núm 244, pp. 35898-35967.

España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *Boletín Oficial del Estado*, de 28 de marzo de 2006, núm 74, pp. 11816-11931.

España. Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08). *Boletín Oficial del Estado*, de 22 de agosto de 2008, núm 203, pp.35176-35178.

España. Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE). *Boletín Oficial del Estado*, de 23 de junio de 2011, núm 149, pp.67148-67846.

Escoffier, S. (2012). Experimental study of the effect of inclined pile on the seismic behavior of pile group. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 42*, 275-291.

Gazetas, G. & Mylonakis, G. (1998). Seismic soil-structure interaction: New evidence and emerging issues. *Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics III, ASCE, Geotechnical Special Publication II*, 1119-1174.

Gerolymos, N., Giannakou, A., Anastasopoulos, I. & Gazetas, G. (2008). Evidence of beneficial role of inclined piles: Observations and summary of numerical analyses. *Bulletin of Earthquake Engineering, 6,* 705-22.

Giannakou, A., Gerolymos, N., Gazetas, G. & Tazoh, T. (2010). Seismic behavior of batter piles: Elastic response. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 136*, 1187-1199.

Harn, R. (2004) Displacement design of marine structures on batter piles. En *Proceeding of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada

Jiménez Montoya, P., García Meseguer, A., Morán Cabré, F. & Arroyo Portero, J.C., (2009). Hormigón armado. 15ª Edición basada en la EHE-08. Ajustada al Código Modelo y al Eurocódigo EC-2. Editorial Gustavo Gili, S.L., Barcelona.

Maeso, O., Aznárez, J.J. & García, F. (2005). Dynamic impedances of piles and groups of piles in saturated soils. *Computers and Structures,* 83, 769-782.

Medina, C., Padrón, L.A., Aznárez, J.J. & Maeso, O. (2014). Kinematic interaction factors of deep foundations with inclined piles. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 43, 2035-2050.

Medina, C., Aznárez, J.J., Padrón, L.A. & Maeso, O. (2014b). Influence of pile rake angle on the seismic response of pile foundations and piled structures. In *Proceedings of the IX International Conference on Structural Dynamics, Eurodyn 2014, Porto.*

Medina, C., Padrón, L.A., Aznárez, J.J. & Maeso, O. (2015). Influence of pile inclination angle on the dynamic properties and seismic response of piled structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 69*, 196-206.

Moore, M.A. (2005). Raked piles. Battered and misunderstood. *Structure magazine, december,* 49-53.

Neely, W.J. (2007). Discussion of "Raked piles – virtues and Drawbaks" by Harry G. Poulos. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 133*, 1474-1477.

Padrón, L.A., Aznárez, J.J. & Maeso, O. (2007). BEM-FEM coupling model for the dynamic analysis of piles and pile groups. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 31, 473-484.

Padrón, L.A., Aznárez, J.J., Maeso, O. & Santana, A. (2010). Dynamic stiffness of deep foundations with inclined piles. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 39*, 1343-1367.

Padrón, L.A., Aznárez, J.J. & Maeso, O. (2011). 3-D boundary element – finite element method for the dynamic analysis of piled buildings. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 35, 467-477.

Padrón, L.A., Suárez, A., Aznárez J.J. & Maeso, O. (2015). Kinematic internal forces in deep foundations with inclined piles. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*.

Poulos, H.G. (2006). Raked piles – Virtues and drawbacks. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 132*, 795-803.

Ravanzanjian, E. (2006). A driven pile advantage: batter piles. *Pile Driver, Q4,* 21-25.

Ravazi, S.A., Fakher, A. & Mirghaderi, S.R. (2007). An insight into the bad reputation of batter piles in seismics performance of wharves. In *Proceedings of the 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Greece.

Ribera, J.E. (1926). Puentes de Fábrica y Hormigón Armado. Tomo II: Cimientos. Sucesores de Rivadeneyra, Madrid.

ROM 0.5-05 (2005). Recomendaciones geotécnicas para para obras marítimas y portuarias. Ministerio de Fomento. Puertos del Estado.

UNE-EN 1536:2011. Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Pilotes perforados. (2011). Asociación Española de normalización y certificación (AENOR).

UNE-EN 1992-1-1:2013. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. (2013). Asociación Española de normalización y certificación (AENOR).

UNE-EN 1997-1:2010. Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. (2010). Asociación Española de normalización y certificación (AENOR).

UNE-EN 1998-5:2011. Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 5: Cimentaciones, estructuras de contención y aspectos geotécnicos (2011). Asociación Española de normalización y certificación (AENOR).

UNE-EN 12699:2001. Realización de trabajos geotécnicos especiales. Pilotes de desplazamiento. (2001). Asociación Española de normalización y certificación (AENOR).

UNE-EN 14199:2006. Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Micropilotes. (2006). Asociación Española de normalización y certificación (AENOR).

02-020

NEW STATISTICAL DISTRIBUTION APPLIED HYDROLOGY IN THE SOUTHWEST AREA OF BADAJOZ

García Conde, Antonio Jesús [1]; Cortés Pérez, Juan Pedro [2]; Lopez Rodriguez, Fernando [2]; Moral García, Francisco Jesús [2]

[1] Universidad de Extremadura/Diputación de Badajoz, [2] Universidad de Extremadura

In the study of flood plains of rivers, channeling sizing, and also for the design of drainage works in general is common to use the statistical distribution of Gumbel, log Pearson 3 or QRTSmáx. It is a statistical tool of proven effectiveness in the calculation of the distribution starting from the highs of a series. But there are other statistical DISTRIBUCIONS used in other scientific fields that fits perfectly, even better, as the fit test employees to extreme values given by the rain and that will develop in the article presented. Thus it has more tools to justify hydrological calculations in sensitive projects such as urban or other civil engineering works.

Keywords: *Statistics; Statistical distributions; hydrology*

NUEVA DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA APLICADA EN HIDROLOGÍA EN LA PROVINCIA DE BADAJOZ

En el estudio de las llanuras de inundación de los ríos, el dimensionamiento de encauzamientos, y también para el dimensionamiento de obras de drenaje en general, es común el uso de la distribución estadística de Gumbel, log Pearson 3, VGE o QRTSmáx . Se tratan de unas herramienta estadísticas de contrastada eficacia en el cálculo de la distribución partiendo de los máximos históricos de una serie. Pero existen otra distribución estadística usada en otros campos científicos que se adapta perfectamente, incluso mejor, según los test de ajuste empleados, a los valores extremos dados por las lluvia y que se desarrollarán en el artículo presentado. De esta forma se dispone de más herramientas para justificar los cálculos hidrológicos en proyectos tan sensibles como los urbanos u otras obras de ingeniería civil.

Palabras clave: *Estadística;Distribuciones estadísticas; Hidrología*

Correspondencia: Antonio Jesús García Conde coligarcia@gmail.com

1. Introducción

Los estudios de inundabilidad de los ríos, así como, los estudios hidrológicos se realizan para asegurar que las aguas quedarán a una determinada cota durante una lluvia estadística con un determinado periodo de retorno. La lluvia de cálculo es utilizada para obtener la posible llanura de inundación, y es calculada a través de diversas distribuciones estadísticas (clásicas) a partir de una serie de datos de lluvia máximos anuales registrados. Las distribuciones más utilizadas en la actualidad son, la distribución desarrollada por el matemático alemán (Gumbel, 1960) y posteriormente aplicada a la hidrología (Chow, 1994), la distribución Log-Pearson 3 (Ponce, 1989) y (Pearson, 1916) propuesta por varios autores para utilizar en hidrología (Ferrer, 1991) y (Témez, 1991), la distribución de Valores Extremos generalizados (Kotz & Nadarajah, 2000), y la distribución SQRT-ET máx. (Zorraquino, 2004) utilizada por la publicación del Ministerio de Fomento "Máximas lluvias diarias en la España Peninsular" (Ministerio de Fomento, 1999) como la que mejor se ajusta a las características de las lluvias españolas; esta publicación se apoya en esta distribución para establecer un análisis regional basado en la geoestadística.

Actualmente, en España, el método más extendido para el cálculo del caudal de avenida (m^3/s) para un periodo de retorno concreto se encuentra regulada por la Instrucción de Carreteras, Norma 5.2-IC de Drenaje Superficial (Ministerios de Obras Públicas, 1990), en adelante Instrucción 5.2-IC. Esta instrucción propone el Método Racional (Catalá, 1997) para el cálculo del caudal, método que se basa en que el tiempo de duración del aguacero es mayor o igual que el tiempo de concentración de la cuenca y, por lo tanto, determina caudales maximizados. El Método Racional es utilizado en España para cuencas reducidas. Para cuencas grandes con periodos de concentración de más de 6 horas o más de 1 Km2 y hasta 3.000 km2 se utiliza el método modificado (Témez, 1991) citado por numerosos hidrólogos (Ferrer, 1993).

El presente artículo es estudia el comportamiento de una nueva distribución estadística, la distribución de Burr (Singh & Maddala, 1976), que es actualmente utilizada en otras ramas de la ciencia (Kleiber & Kotz, 2003) y nunca ha sido empleada en hidrología. Se calcula el ajuste de las mencionadas distribuciones mediante los test de bondad de Anderon-darling (Anderson & Darling, 1952) y el test de Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1933).

2. Objetivos

Como se ha mencionado, el presente artículo estudia el comportamiento de una nueva distribución estadística, la distribución de Burr, que es actualmente utilizada en otras ramas de la ciencia y nunca ha sido empleada en hidrología, y de este modo, determinar si se adapta estadísticamente mejor que las utilizadas tradicionalmente hasta ahora a las lluvias de la Provincia de Badajoz.

Se analiza de este modo, si la Distribución de Burr se ajusta mejor según los test de bondad a las distribuciones de las máximas lluvias anuales que el ajuste que nos proporcionan las distribuciones típicas utilizadas frecuentemente, sobre la base de los datos de lluvias máximas anuales de las estaciones meteorológicas de la Provincia de Badajoz.

3. Estado actual del conocimiento

LA DISTRIBUCIÓN DE GUMBEL.

Según su propio autor (Gumbel, 1935) su función de densidad es :

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (1)$$

Donde *x* es el valor de la variable aleatoria, *α* y *μ* son parámetros del ajuste y F(x) representa la probabilidad de que se produzca una precipitación con un valor menor o igual que *x*.

La distribución de Log-Pearson tiene como formulación:

$$f(x) = \frac{\lambda^{\beta}(y-\varepsilon)^{\beta-1}e^{-\lambda(y-\varepsilon)}}{x\Gamma(\beta)} \quad (2)$$

Donde β, λ y ε son los parámetros de forma, escala y posición respectivamente y que responden a las siguientes fórmulas:

$$\beta = \left(\frac{2}{Cs}\right)^2 \quad (3)$$

(3)

$$Cs = \frac{n}{(n-1)*(n-2)*(S_{\log(x)})^3} * \sum(\log(x) - \overline{\log(x)})^3 \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{S_y}{\sqrt{\beta}} \quad (5)$$

LA DISTRIBUCIÓN DE SQRT-ET MÁX

Tiene como formulación (Zorraquino, 2004) :

$$F(x) = \exp\left[-k \cdot (1 + \sqrt{\alpha \cdot x}) \cdot \exp(\sqrt{-\alpha \cdot x})\right] \quad (6)$$

F(x) es la probabilidad de que se presente un valor inferior a x,

k y *α* son parámetros a estimar que dependen de la media y la desviación típica de la serie de datos.

LA DISTRIBUCIÓN LOG-PEARSON 3

La distribución Log-Pearson Tipo 3 (Pearson, 1901) describe la distribución de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un proceso de Poisson. Cuando la población de los acontecimientos presenta un sesgo positivo, los datos suelen ser transformados a logaritmos y la distribución se llama distribución de Log Pearson Tipo 3.

Su función de densidad es la siguiente:

$$f(x) = \frac{\lambda^{\beta}(y-\varepsilon)^{\beta-1}e^{-\lambda(y-\varepsilon)}}{x\Gamma(\beta)} \quad (7)$$

Donde:

y = log(x)

$\Gamma(\beta) =$ Función

β, λ y ε son los parámetros de forma, escala y posición respectivamente y que responden a las siguientes fórmulas:

LA DISTRIBUCIÓN DE VGE

Tiene como función (Kotz & Nadarajah, 2000)

$$f(x) = \left\{ \frac{1}{\sigma} e^{-(1+kz)^{-1/k}} (1 + k \cdot z) \right\}^{-1-k \cdot z} \quad k \neq 0 \quad (8)$$

Para la obtención de los caudales de cálculo para un periodo de retorno de 500 años se ha de utilizar el método Racional, descrito en la Instrucción de Carreteras 5.2-IC de Drenaje Superficial o el o racional modificado o el Témez dependiendo del tamaño de la cuenca, pero es insoslayable mencionar que el presente artículo solo proporciona los datos de la precipitación en mm arrojada por las distribuciones de probabilidad.

LA DISTRIBUCIÓN DE BURR

Es interesante destacar esta distribución estadística de Burr (Maddala, 1996) se conoce desde hace tiempo y se usa en distintos campos como la econometría o ciencias sociales; pero que nunca se han utilizado en hidrología. Es compatible su uso en hidrología ya que es utilizada igualmente para datos extremos como hacen las distribuciones tradicionales, es decir, para datos de lluvia máximos anuales.

En la teoría de la probabilidad, estadística y econometría, la distribución a Burr Tipo XII, o simplemente la Distribución de Burr, es una distribución de probabilidad continua para un valor no negativo de la variable aleatoria. También es conocida como la distribución de Singh-Maddala y es una de la serie de diferentes distribuciones llamadas de distribución logística.

Su formulación corresponde con la siguiente.

Su función de densidad queda definida por:

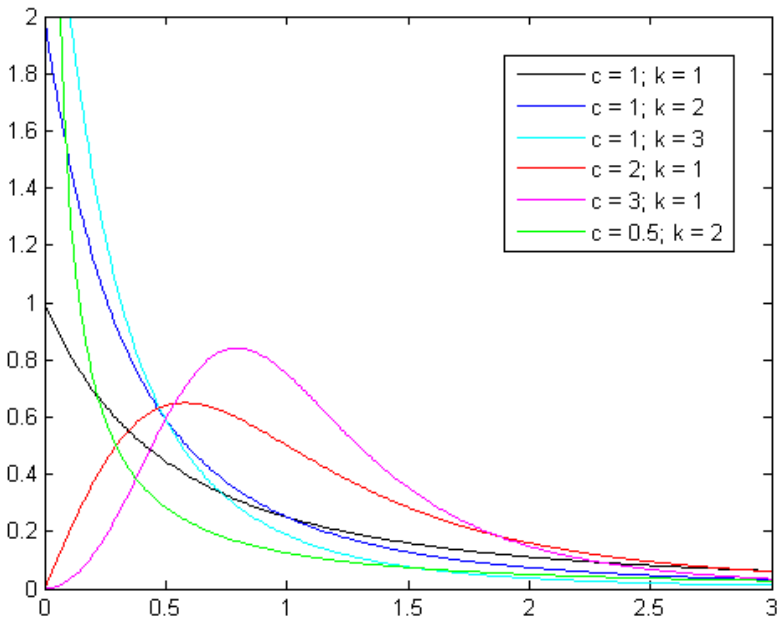
$$f(x) = c \cdot k \frac{\left(\frac{x}{\beta}\right)^{c-1}}{\beta\left[1+\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right]^{k+1}} \quad (9)$$

Integrando la función de densidad su función de distribución queda de la forma:

$$F(x) = 1 - \left(1 - \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}\right)^{-k} \quad (10)$$

Donde c y k son parámetros de forma, y β lo es de escala.

Figura 1: Función de densidad de Burr.



Nota: Función de densidad de la distribución de Burr en función de sus parámetros.

El TEST DE KOLMOGOROV- SMIRNOV

En el test de Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1950) considera dos hipótesis:

H0: $F(X) = Fs(X)$ (11)

H1: $F(X) \neq Fs(X)$

Donde F(X) es la función de distribución que se pretende estudiar, y Fs(X) es la probabilidad o proporción teórica de valores que deben ser iguales o menores que x suponiendo cierta la hipótesis planteada.

Muestra: n observaciones independientes.

Estadístico de contraste: $|Dn| = \text{máxima } |Fs(X) - S(X)|$ (12)

EL TEST DE ANDERSON- DARLING

En el test de Anderson- Darling (Anderson & Darling, 1954) , como estadístico de prueba se usa la siguiente formulación:

A2= -N-S (13)

$$S = \sum_{i=1}^{N} \frac{(2i-1)}{N} \cdot Ln\left(F(x)_i + Ln\left(1 - F(x)_{N+1-i}\right)\right) \quad (14)$$

Donde:

A2: estadístico de Prueba
N: tamaño de la muestra
F(x): frecuencia

4. Materiales y métodos

Se realiza el presente estudio con los datos de máximas lluvias anuales de 53 estaciones meteorológicas de la provincia de Badajoz aportados por el Instituto meteorológico.

Se ha procedido a desarrollar un exhaustivo estudio utilizando los test estadísticos de bondad de Anderson-Darling (Anderson & Darling, 1954) y de Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1950) para establecer el grado ajuste de esta nueva distribución de Burr (a la serie de lluvias máximas anuales, y así poder comparar los ajustes de esta nueva distribución con los ajustes estadísticos dados por las distribuciones estadísticas clásicas, Gumbel (Gumbel, 1960), SQRT-ET máx (Zorraquino, 2004) , Log Pearson tipo 3 (Ponce, 1989) y la distribución VEG (Kotz & Nadarajah, 2000).

Es decir, el objetivo es comparar mediante los dos ajustes de bondad mencionados, si la función de densidad de la nueva distribución estadística de Burr (Tadikamalla, 1980) se

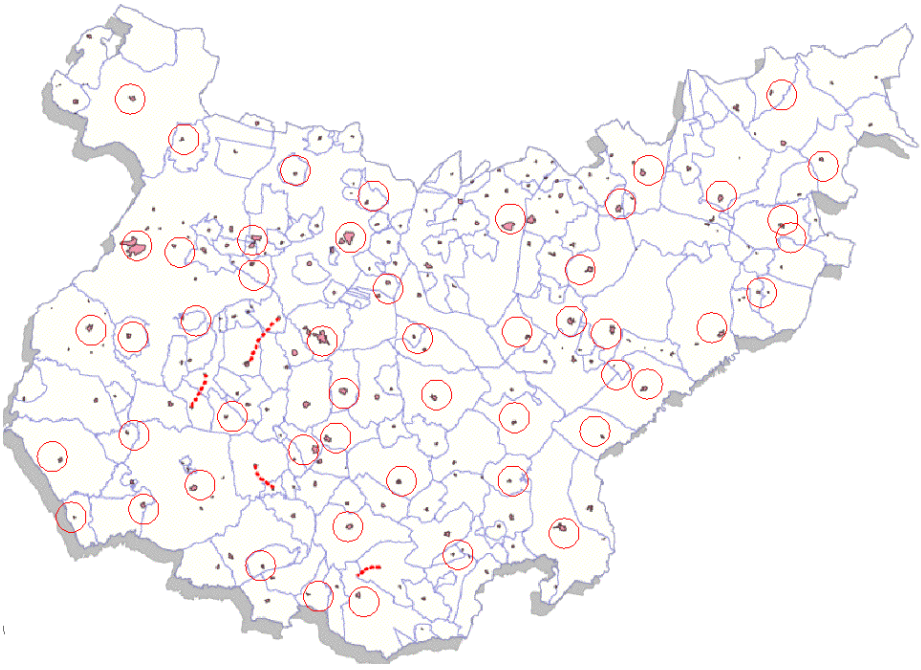
ajusta mejor que las distribuciones tradicionales a las lluvias extremas caídas en la provincia de Badajoz durante una serie de registros anual.

Para el ajuste de las distribuciones se ha empleado el sofware easyfit, el programa al introducirle los datos de lluvias máximas anuales proporciona el grado de ajuste de cada distribución estadística según los dos test de bondad utilizados.

Como se decía, se han procesado los datos de las siguientes 52 estaciones meteorológicas:

San Vicente Alcántara, Alburquerque, La Roca de la Sierra, Badajoz (Sagrajas), Montijo (Instituto), Olivenza, Cheles, Alconchel, Villanueva del fresno, Valencia Mombuey, Zahínos, Higuera de Vargas, Jerez de los Caballeros, Barcarrota, La Albuera, Talavera de la Reina, Fregenal de la Sierra, Segura de León, Cabeza la Vaca, Fuente de Cantos, Puebla del Maestre, Casas de Reina, Villagarcía de las Torres, Berlanga, Valverde de Llerena, Azuaga, Granja de Torrehermosa, Maguilla, Peraleda del Zaucejo, Puebla del Prior, Puebla de la Reina, Monterrubio de la Serena, Puerto Hurraco, Castuera, Quintana de la Serena, Valle de la Serena, Alange , Manchita, Guareña, Aceuchal, Mérida (centro escolar), Santa Amalia, Coronada, Campanario, Acedera, Orellana de la Sierra, Casas de Don Pedro, Capilla, o Baterno, Herrera del Duque, Villarta de los Montes, Helechosa y Siruela.

Figura 1: Situación de las estaciones meteorológicas.

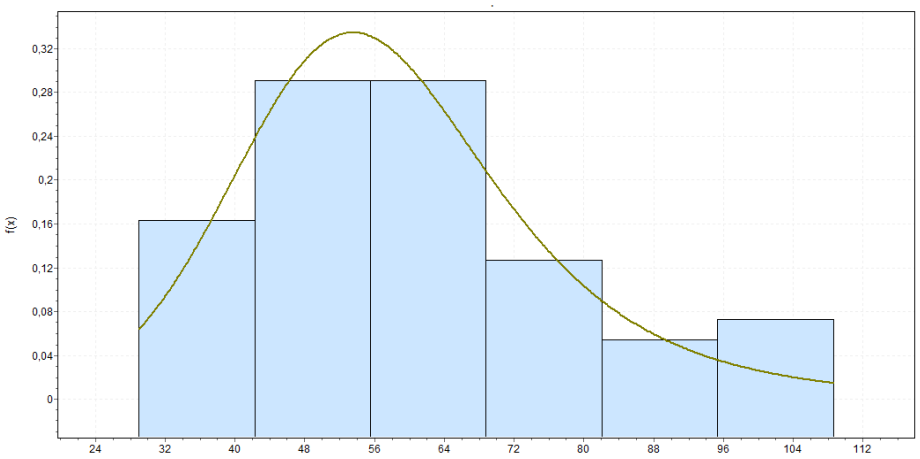


Nota: Distribución espacial de las estaciones meteorologías.

Estos datos de lluvia de las 52 estaciones meteorológicas se han introducido en el programa estadístico Easyfit y se ha estudiado el grado de ajuste de la función de densidad de cada distribución estadística a los histogramas de lluvias.

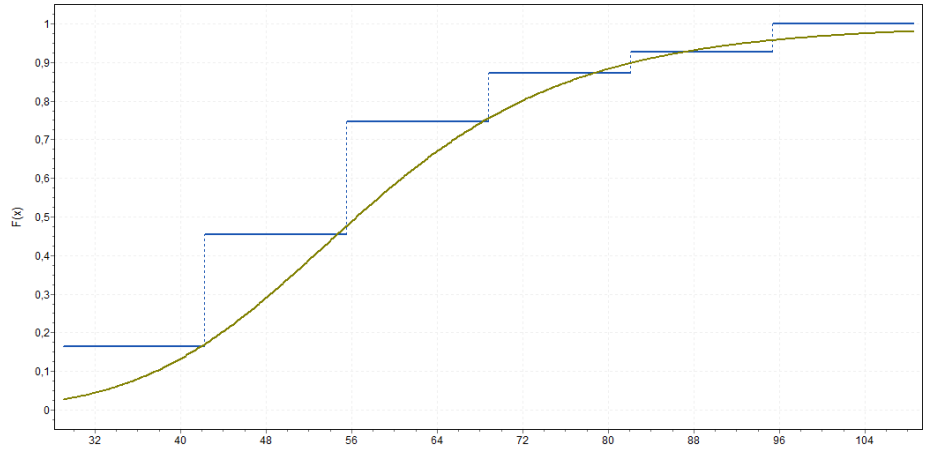
Como ejemplo, en la Figura 2 se puede observar la distribución de probabilidad de la distribución de Burr en la localidad de San Vicente de Alcántara.

Figura 2 : Función de densidad de Burr.



Nota: Distribución Función de Probabilidad de Densidad de Burr en San Vicente de Alcántara.

Figura 3: Función de distribución acumulada de Burr.



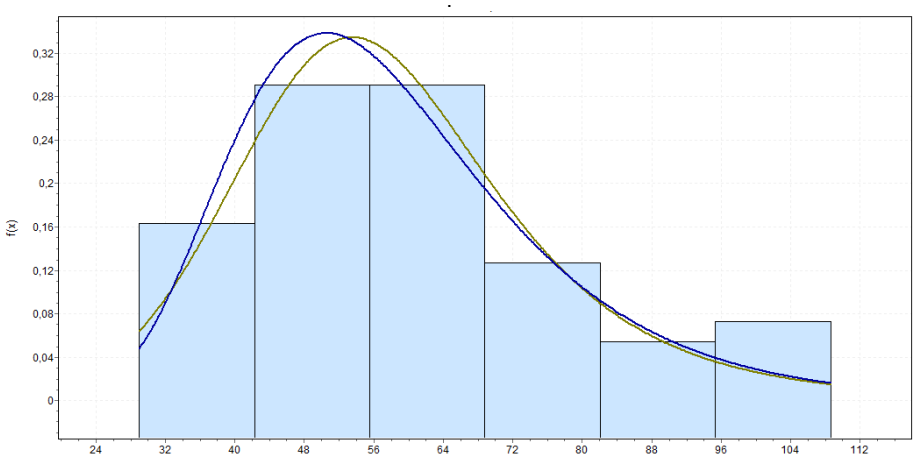
Nota: Función de Distribución Acumulada para la distribución de Burr aplicable a los datos de la localidad de San Vicente de Alcántara.

En la Figura 3 se puede comprobar cómo se ajusta una función de densidad al histograma acumulado de una serie de lluvias de valores máximos anuales. Se evidencia que la función de densidad de la distribución estadística nunca va tomar exactamente los valores del histograma como sería deseable. Es por esto, que mediante los test de bondad se comprueba cual es la distribución estadística que mejor se ajusta a la serie de datos de lluvia.

Es decir, lo ideal sería que la distribución estadística elegida se ajuste lo máximo posible al histograma de lluvias.

Así mismo, en Figura 4 se puede observar gráficamente el mejor ajuste de la distribución de Burr que el ajuste de la distribución de Gumbel en la localidad concreta.

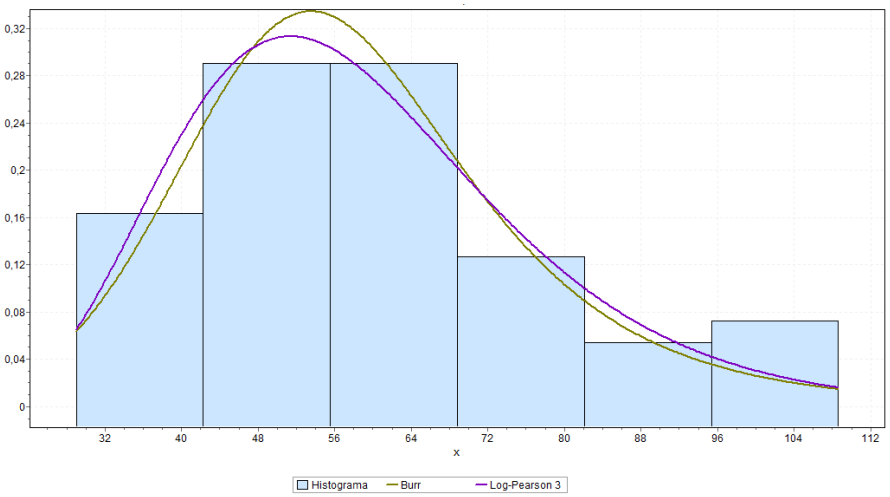
Figura 4: Histograma, Distribución de Gumbel y de Burr



Nota: Diferencia del ajuste entre las Distribuciones de Gumbel y de Burr aplicable al histograma de los datos de la localidad de San Vicente de Alcántara. Azul Gumbel.

En la Figura 5 se puede observar gráficamente que el ajuste es más preciso en la distribución de Burr que el ajuste de la distribución de Log-Pearson 3.

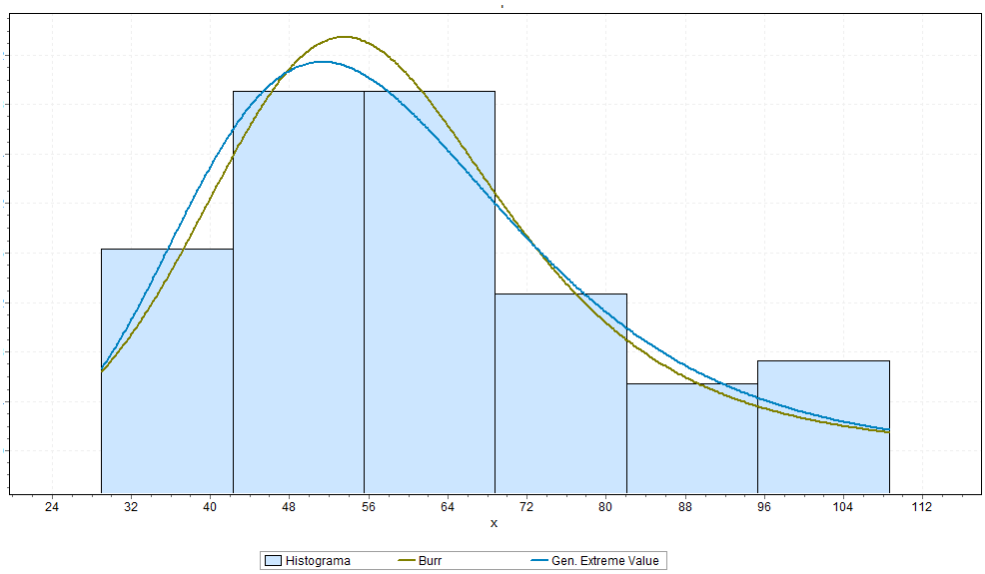
Figura 5: Histograma, Distribución de Log-Pearson 3 y de Burr



Nota: Diferencia del ajuste entre las Distribuciones de Log-Pearson 3 y de Burr aplicable al histograma de los datos de la localidad de San Vicente de Alcántara.

De idéntica manera, en la Figura 6 se puede observar gráficamente que el ajuste es más preciso en la distribución de Burr que el ajuste de la distribución de Log-Pearson 3.

Figura 6: Histograma, Distribución VEG y de Burr



Nota: Diferencia del ajuste entre las Distribuciones de VEG y de Burr aplicable al histograma de los datos de la localidad de San Vicente de Alcántara.

Una vez realizados los cálculos aritméticos del ajuste de las distribuciones se obtienen los siguientes datos:

La distribución de Burr arroja un estadístico de 0,049 según el test de Kolmogorov, y un 0,1746 según el test de Anderson-Darling.

La distribución de Gumbel tiene un estadístico de 0,06037 según el test de Kolmogorov, y un 0,2553 según el test de Anderson-Darling.

La distribución de Log- Perason 3 arroja un estadístico de 0.0584 según el test de Kolmogorov, y un 0,1947 según el test de Anderson-Darling.

La distribución de VGE tiene un estadístico de 0,05637según el test de Kolmogorov, y un 0,1875 según el test de Anderson-Darling.

Esta misma tendencia de presentar la distribución estadística Burr menosres estadísticos de bondad de ajuste aparece al estudiar los datos de lluvia de las restantes 51 poblaciones .

Además, y solo para fortalecer las conclusiones anteriores, se ha estudiado la distribución de Burr se han comparado los ajustes de estas distribuciones solo en las diez localidades con mayor serie de datos, llegando a las mismas conclusiones.

5. Resultados y conclusiones

Al analizar los datos de lluvias máximas anuales de 52 estaciones pluviométricas repartidas estratégicamente a lo largo de la provincia y ajustarlos mediante los Test de bondad de Anderson-Darling (Anderson & Darling, 1954) y Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1950), se puede afirmar sin ningún atisbo de duda que además de las distribuciones tradicionalmente usadas en hidrología como la distribución de Gumbel (Gumbel, 1960), Log-Pearson III (Pearson, 1916), y la distribución VEG (Kotz & Nadarajah, 2000) , existe la distribución estadística de Burr (Tadikamalla, 1980) usada en otras ramas de la ciencia actual y que es susceptible de ser utilizada en hidrología, que cumple con la formulación de los valores extremos, y que se adapta mejor a los histogramas de lluvia.

Analizando los datos estadísticos arrojados en el estudio, se llega a la conclusión de que la distribución de Burr arroja unos estadísticos menores en los dos test de bondad de ajuste mencionados y por lo tanto, se adapta significativamente mejor a los histogramas de los datos de lluvias máximas anuales que las distribuciones típicas tradicionales. Esto es, esta nueva distribución estadística se adapta mucho mejor al régimen de lluvias que las tradicionales en la provincia de Badajoz.

Por lo tanto, es insoslayable proponer la distribución estadística de Burr como una distribución que mejora los estudios hidrológicos en la provincia de Badajoz, ya que la precipitación arrojada por su función de densidad es mucho más exacta que los datos de lluvia calculados con las distribuciones estadísticas clásicas que se vienen utilizando constantemente y de manera sistemática en los estudios hidrológicos.

Bibliografía

Anderson, T. W & Darling, D. A. (1952). Asymptotic theory of certain "goodness-of-fit" criteria based on stochastic processes. Annals of Mathematical Statistics. Institute of Mathematical Statistics.

Anderson, T.W. and Darling, D.A. (1954). A Test of Goodness-of-Fit. Journal of the American Statistical Association.

Catalá Moreno, F. (1997). Cálculo de caudales en las redes de saneamiento. Madrid. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Chow, V.T. & D.R. Maidment, L.W. Mays. (1994). Hidrología Aplicada. Santa Fé de Bogotá. McGraw-Hill.

Ferrer, F.J. (1991). Obtención de la lluvia neta según la metodología del Soil Conservation Service. Apuntes del Curso de Hidrología General y Aplicada. Madrid. Cedex.

Ferrer, F.J. (1993). Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas. Madrid. Cedex.

Gumbel, E.J. (1935). Les valeurs extrêmes des distributions statistiques. Ann. Inst. Henri Poincaré.

Gumbel, E. J. (1960).Multivariate Extremal Distributions. París. Bull. Inst. Internat. de Statistique.

Kleiber & Kotz. (2003). The Burr Distributions. New York. Wiley.

Kolmogorov, A. (1933). Els fonaments de la Teoria de la Probabilitat (2 ª ed.). Chelsea. Nova York.

A. N. Kolmogorov. (1950). Foundations of the Theory of Probability. New York. Chelsea Publisting Company.

Kotz, S & Nadarajah, S. (2000). Extreme Value Distributions: Theory and applications. London. Imperial College Press.

Maddala, G. (1996). Limited-Dependent and Qualitative Variables in Econometrics. Cambridge. Cambridge University Press.

Ministerio de Fomento.(1999). Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular. Madrid. Ministero de Fomento.

Instrucción de Carreteras, Norma 5.2-IC de Drenaje Superficial. (1990). Madrid. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Pearson, Karl (1901). Mathematical contributions to the theory of evolution, X: Supplement to a memoir on skew variation. London. Philosophical Transactions of the Royal Society.

Pearson, Karl. (1916). Mathematical contributions to the theory of evolution, XIX: Second supplement to a memoir on skew variation. London. Philosophical Transactions of the Royal Society.

Ponce, V. M. (1989). Engineering Hydrology, Principles and Practices. Prentice Hall.

Singh, S & Maddala, G. (1976). A Function for the Size Distribution of Incomes. Econometrica .

Tadikamalla, P. (1980). A look at the Burr and related distributions. International Statistical Review.

Témez, J.R. (1991). Extended and improved rational method. Version of the highways administration of Spain". Madrid. XXIV Congreso Internacional de la IAHR, Madrid.

Zorraquino, C. (2004) La función SQRT-ET max. Madrid. Revista de Obras Públicas.

02-022

EXPERIENTIAL ERGO-CHROMATIC DESIGN FOR INDUSTRIAL PROJECTS

Huertas Vera, Mª Carmen [1]; Aguayo González, Francisco [1]; Marcos Bárcena, Mariano [2]; Peralta Álvarez, María Estela [1]; Ávila Gutiérrez, María Jesús [1]; González-Regalado Montero, Eduardo [1] [1] Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Sevilla, [2] Universidad de Cádiz

The built environment has been created to support the activities involved in human development. Industrial and urban construction eliminate the difficulties in the human adaptation to the natural environment and they improve the habitability of the planet. One of the characteristics of the optimal design of built environments are the dimensions of comfort (physical, psychological and sociocultural). They are controlled by environmental factors such as light, colours, noise or thermohigrometric variables. All these affect the welfare and satisfaction people (users or workers and clients in work environments). In this paper a methodology for Experiential ergo-chromatic design of industrial environments is proposed. The methodology integrates the chromatic dimension through experience design to achieve the user comfort. This is a new dimension for industrial projects where is essential to take into account not only technological factors but also the aspects and characteristics for encouraging the harmony between people and the environment through the management of environmental chromatic aspectst.

Keywords: *Ergo-chromatism; comfort; built environment; industrial environment; experience design; industrial projects*

DISEÑO EXPERIENCIAL ERGOCROMÁTICO PARA PROYECTOS INDUSTRIALES

El entorno construido ha sido creado para dar soporte a las actividades implicadas en el desarrollo humano. Mejora la habitabilidad sobre el planeta a través de construcciones industriales y urbanas con el objetivo de eliminar las dificultades presentes por la adaptación del ser humano al entorno natural. Una de las características del diseño óptimo de ambientes construidos son las dimensiones del confort (física, psicológica y sociocultural) controladas a través de los factores ambientales como son iluminación, cromatismo, ambiente sonoro o variables termohigrométricas. Todos ellos afectan al bienestar y satisfacción de las personas (bien sean usuarios, o en ambientes laborales trabajadores o clientes). En el presente trabajo se propone una metodología para el diseño experiencial ergocromático del entorno construido de ambientes industriales, incluyendo el espacio de trabajo, de forma que al integrar la dimensión cromática conducida desde el diseño de experiencias, posibilite la fruición y confort de los usuarios. Se pretende incorporar una nueva dimensión en los proyectos de ambientes industriales, teniendo en cuenta aspectos no exclusivamente tecnológicos, sino considerando en la fase de conceptualización, una vertiente de diseño industrial que propicie una mayor armonía entre persona y ambiente a través de la gestión de los aspectos cromáticos del entorno.

Palabras clave: *Ergocromatismo; confort; entorno construido; entorno industrial; diseño experiencial; proyectos de ingeniería*

Correspondencia: Mª Carmen Huertas Vera mcarmenh89@gmail.com

1. Introducción

El entorno construido mejora la habitabilidad del ser humano sobre el planeta a través de construcciones industriales y urbanas con el objetivo de eliminar las dificultades que experimenta en su adaptación al entorno natural.

Ha sido creado para dar soporte en el desarrollo de sus actividades y conforma la unión óptima entre el ecosistema, entorno natural y las distintas actividades industriales, agrarias, marítimas, de transporte, etc. Está representado por la forma en que se establecen, ordenan y agrupan los componentes en un territorio de soporte determinado, como son: uso del suelo, espacios verdes, espacios industriales, equipamiento, infraestructuras, edificios industriales, puentes, etc. Este agrupamiento depende de la función a desarrollar por el espacio, la cual estará determinada por un conjunto de actividades, requerimientos de los procesos productivos, de la movilidad y las necesidades de los clientes o usuarios.

Las infraestructuras que han sido creadas a lo largo de la historia –urbanas, civiles o industriales -, dedicadas a solucionar las necesidades implícitas en la organización funcional del entorno según el conjunto de actividades a llevar a cabo en el espacio, han estado marcadas por el modo de vida de cada época y han influido además en el comportamiento de las sociedades según la configuración característica del entorno. Es por ello, que el medio construido está muy relacionado con el comportamiento humano, determinando o condicionando la actuación de los sujetos tanto individual como grupal, al constituir un espacio de interacción interpersonal dentro de un mismo ambiente. Ello determina que el entorno construido forme parte de la cultura material (Blandy, 2003), es decir, el mismo no está fundamentado solamente por la forma, sino que posee cuestiones socio-culturales relacionadas con cómo elegimos vivir, producir, trabajar, viajar, estando inmersos sus significados y valores en la manera en la que damos forma y gestionamos nuestro entorno, es decir, caracterizados por lo que se denominan "**EXPERIENCIAS**".

Por esta razón surge el interés en el proceso de diseño del entorno construido, donde el requerimiento principal que permite conseguir la adaptación óptima del ser humano al mismo es el confort, alcanzado a través de sus dimensiones características (física, psicológica y sociocultural) controladas a través de los factores ambientales como son iluminación, cromatismo, ambiente sonoro o variables termohigrométricas entre otras. Todos ellos afectan al bienestar y satisfacción de las personas (bien sean usuarios, o en ambientes laborales trabajadores o clientes).

En el presente trabajo se propone una metodología para el diseño experiencial ergocromático del entorno construido de ambientes industriales, incluyendo en el mismo el espacio de trabajo, de forma que al integrar la dimensión cromática conducida desde el diseño de experiencias, posibilite la fruición y confort de los usuarios. Se pretende incorporar una nueva dimensión en los proyectos de ambientes industriales, teniendo en cuenta aspectos no exclusivamente tecnológicos, sino considerando en la fase de concepción y diseño, una vertiente de diseño industrial que propicie una mayor armonía entre persona y ambiente a través de la gestión de los aspectos cromáticos del entorno.

2. Diseño y configuración del entorno construido

La configuración de los diferentes ambientes según el diseño de sus elementos determina el conjunto de características y significados orientados fundamentalmente a la correcta realización de las funciones prioritarias para lo cual fue concebido el espacio (arquitectura y urbanismo Industrial); esta configuración afecta positiva y negativamente en la conducta, salud, sensaciones, estado de ánimo o el modo de proceder e interactuar tanto con el propio entorno, como con las personas y los elementos que lo componen. Dicha configuración es

explotada por los proyectistas e ingenieros para fomentar la aceptación por parte de la los usuarios y la sociedad de sus concepciones y modificaciones del entorno natural.

Los resultados de la interacción positiva o negativa están fuertemente relacionados con la forma en que fue diseñado y construido el entorno, por lo que es importante a la hora de concebirlo, evaluar de forma rigurosa aquellos parámetros que con su adecuada incorporación, sean capaces de modificar los espacios afectando positivamente a los individuos que habitan y realizan cualquier tipo de actividad en él, es decir, creando confort en las personas que entran en interacción con dicho entorno.

El resultado del diseño del entorno construido está fuertemente ligado a los procesos cognitivos de los usuarios: percepción, interpretación y experiencia pasada; determinan qué configuración externa e interna del entorno será necesaria llevar a cabo a partir de la combinación de ciertos parámetros. En ambientes interiores coinciden de forma general con **iluminación, cromatismo, ambiente sonoro y variables termohigrométricas**, que en combinación con los elementos materiales, determinan el conjunto de características que hacen de la habitabilidad de los individuos un espacio confortable. Los materiales, mobiliario, ruido, luz, color, privacidad, calidad del aire, temperatura, distribución espacial, vistas, elementos naturales, espacios abiertos, etc. son algunos ejemplos que pueden ser considerados como requerimientos en el diseño de ambientes interiores.

Estas soluciones establecidas del entorno construido en las configuraciones formales exterior e interior determinan la Experiencia del Usuario provocando en él un conjunto experiencial completo formado por sensación, respuesta emocional, sentimiento, valoración reflexiva y satisfacción. Estas últimas coinciden con la secuencia cognitiva desde que el procesador perceptual es activado hasta que el cerebro manda los estímulos necesarios para la activación del procesador motor que permite la realización material de acción. Esta secuencia de procesos cognitivos es motivada por la inserción del sujeto en la construcción, marcará la aceptabilidad o rechazo a la interacción individual y grupal con el espacio y es la que será necesario tener en cuenta en el proceso de diseño.

Dentro de este proceso de diseño, es importante diferenciar los entornos no laborales y laborales. Los últimos presentan un inconveniente principal ligado a los parámetros mencionados y su configuración para la creación de nuevos espacios está sujeta a limitaciones, es decir, requieren configuraciones especiales para adaptarse a los requerimientos de la ergonomía, seguridad y salud ocupacional. Por esta razón habrá que tomar con especial interés el proceso de diseño, con metodologías que tengan en cuenta estas limitaciones y que permitan a su vez provocar experiencias en los trabajadores que fomenten el bienestar, la calidad del trabajo y la confortabilidad en el contexto laboral.

En este trabajo se toma como ámbito de estudio el color. Dentro del campo de la ergonomía ocupacional orientada al diseño del entorno construido (Heller, 2004; INSHT, 2014; WIU, 2014), es necesario distinguir tres ámbitos de estudio cromático: (1) el color como propiedad del mensaje sensorial, (2) como componente de la comunicación en el puesto de trabajo y (3) como factor subjetivo de confort en el diseño experiencial del entorno.

Por lo que escogiendo el color como parámetro de configuración y la experiencia que provoca el mismo según las teorías de referencia que se describirán a continuación, en este trabajo presenta una metodología para facilitar el diseño experiencial ergocromático del entorno labora interior.

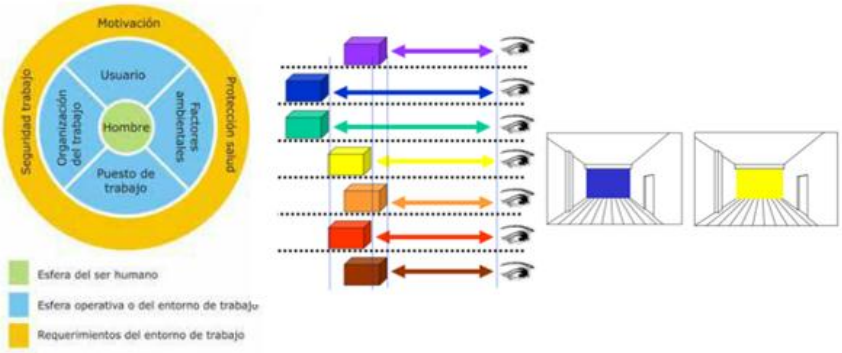
2.1. Ergocromatismo y psicología del color como requerimiento de confort en entornos industriales

Las bases científicas del ergocromatismo se recogen en la denominada *psicología del color*, que analiza el efecto del color en la percepción y la conducta humana. A partir de los estudios de Johann Wolfgang von Goethe (1810) en los cuales describió cómo el color

además de ser un fenómeno óptico y fisiológico dependiente de la luz y la materia, también está sujeto a la percepción del individuo. Esto implica que una gran parte de las sensaciones ofrecidas por la diferencia cromática de los objetos y el ambiente quedan caracterizadas por un factor subjetivo. A partir de estudios de Goethe otros autores desarrollan las teorías de la psicología del color. En concreto, Eva Heller (2004) estudia de forma completa cómo afectan los colores a los sentimientos y a la razón humana. En sus estudios describe los "colores psicológicos" asignando a cada combinación de trivarianza (parámetros que definen la tonalidad, o matiz) y saturación (cantidad de luz blanca), los significados que la sociedad da a cada color según las emociones y sensaciones surgidas en el proceso de percepción. Otros autores han continuado los estudios de Goethe y Heller. Diferenciando distintas líneas de investigación y sectores de actividad, pueden encontrarse trabajos relacionados con los procesos cognitivos que evalúan el efecto que supone las diferencias cromáticas en las actividades cerebrales o en la memoria a corto plazo y su efecto en la realización de tareas, hasta las preferencias individuales que puede tener cada persona dependiendo del entorno social al que pertenezca (Barrick, 2002; Dijkstraa, 2008; Elliot, 2009).

Dentro del entorno laboral, el ergocromatismo ocupacional (Ergolab, 2014) es una rama de la ergonomía que estudia la aplicación del color en base a los conocimientos del campo de la psico-fisiología y la ergonomía con el objetivo de crear entornos construidos y ambientes de trabajo acordes con las percepciones humanas y contextos socioculturales, para asegurar el confort, la salud y seguridad en el trabajo, aumentar la eficiencia de la producción, mejorar la usabilidad y maximizar la satisfacción de los trabajadores, usuarios y ciudadanos. Actualmente existen gran variedad de estudios e investigaciones a cerca del color en el entorno construido y su influencia en el individuo, entre los que cabe destacar los estudios de Coles (2008) en el ámbito de la arquitectura o (Mahmoud, 2012; Miller, 2014) en relación a los ambientes de trabajo (confort del trabajador, productividad o experiencia sensorial).

Figura 1. Modelo de diseño ergocromatico y principios de percepción articulados por ErgLab.



Nota: Aplicación de diferentes los principios de psicología del color para la realización de diseños con el objetivo de modificar los factores perceptuales del mensaje visual en el individuo.

Las aportaciones y estudios con más aproximación hacia el **ergocromatismo ocupacional** y del entorno construido son los desarrollados por "Ergolab" (2014), organización italiana dedicada a diseñar mobiliario ergonómico y configuración de ambientes interiores. Ergolab ha introducido con éxito el concepto ergocromático aplicándolo a espacios de trabajo como oficinas, industrias y sector salud, tomando como base la normativa y las tendencias cromáticas existentes. Sobre todo, tiene en cuenta la variación de la percepción de un entorno usando escala cromática como muestra la figura 1. En la figura 2 pueden apreciarse alguna de las soluciones desarrolladas por la organización.

Figura 2. Ejemplo de espacio industrial en entorno trabajo (Ergolab, 2014)

Por otra parte, existen distintos trabajos de investigación sobre diseño ergocromático del producto (Maestre, 2012; Cobaleda, 2011; Huertas, 2013); en ellos se definen las bases teóricas y se proponen metodologías acordes a una correcta aplicación del ergocromatismo en el diseño de productos. Partiendo de las propuestas recogidas en ellos, en el presente trabajo se formula una nueva metodología de diseño experiencial ergocromático aplicable a los entornos construidos y ambientes ocupacionales, y se concreta en un caso de estudio para su validación aplicada en el diseño de una construcción industrial y del espacio de trabajo de un concesionario de automóviles.

2.2. Confort experiencial como requerimiento de diseño en entornos industriales

Existen varias definiciones de confort. Slater en 1985 define el confort como un estado placentero de armonía fisiológica, psicológica y física entre el sujeto y su entorno. Richards en 1980 lo define como el estado de una persona que involucra una sensación de bienestar subjetivo, en reacción a un entorno o situación. Al contrario, en el ámbito laboral el confort es la sensación indiferente hacia el ambiente que debe lograr el trabajador para realizar correctamente la tarea. A pesar de las diferentes definiciones, son ampliamente aceptadas las siguientes afirmaciones (Looze, 2003): el confort es una construcción de carácter personal subjetivamente definido, se ve afectado por diversos factores clasificados en físicos, fisiológicos y psicológicos y es una reacción con provocada por el medio.

En cuanto a los diferentes tipos de confort los trabajos publicados llegan a varias conclusiones. Kolcaba (2003): **confort físico**, **confort psíquico** (internos al sujero), **confort ambiental** promovido por el ambiente en interacción con el individuo (olor, color, paisaje, luz, temperatura) y **confort sociocultural**, que depende del entorno social interpersonal generado por la interacción entre individuos (familia, relaciones sociales, rituales, etc.)

Para este trabajo, el término de confort se traslada a un nivel superior proponiendo el término ***Confort experiencial*** *que* hará referencia al estado físico y mental en el cual el individuo expresa su sensación ante el medio ambiente circundante (Maestre, 2012).

En el presente trabajo, se toma la teoría del confort junto a la teoría de la psicología del color como bases de conocimiento para la propuesta metodológica; los aspectos cromáticos del entorno y los distintos tipos de confort se aplicarán dentro de la teoría del diseño experiencial para potenciar su uso en los entornos construidos. Las motivaciones recaen en que el color afecta de manera notable en el estado anímico de las personas por lo que se definen dentro de la metodología propuesta de diseño experiencial, como uno de los factores prioritarios en el diseño del entorno con el objetivo de mejorar la interacción con el medio, la actividad grupal y el rendimiento en el trabajo potenciando el *confort experiencial* a través de los parámetros cromáticos del ambiente

3. Metodología para el diseño experiencial ergocromático: aplicaciones en el entorno industrial construido

En el contexto de los proyectos de diseño de construcciones e instalaciones industriales, el diseño ergocromático se lleva a cabo a través de la configuración global de la Arquitectura Industrial del exterior del edificio y del diseño de interior. Un paradigma emergente en este ámbito es el **diseño experiencial ergocromático**, es decir, la creación de diferentes experiencias a partir de la percepción e interactuación con el color.

Está destinado a diseñar un conjunto de experiencia que a través del cromatismo del ambiente, provocar en el usuario un conjunto de sensaciones, emociones, juicios, expectativas, es decir, controlar todos los elementos de la interacción usuario-contexto para crear la mayor sensación de confort en el sujeto (D'Hertefelt, Kankainen, Arhippainen y Tähti, Bjerén o Nielsen & Norman Group son algunos investigadores y desarrolladores relevantes en el alcance del diseño experiencial de productos y ambientes alejándose de la concepción de las limitaciones que suponen los enfoques tradicionales del diseño de productos convencionales).

En la metodología que se propone en el presente trabajo, se articulan sinérgicamente las ventajas del diseño experiencial, junto a las posibilidades de confort experiencial de ergocromatismo (Maestre, 2012). La propuesta se articula en el conjunto de etapas mostraras en la tabla 1 que toman como base trabajos precedentes (Ergolab, 2014; Cobaleda, año; Maestre, 2012; Huertas, 2012; Heras, 2014). En los siguientes apartados se describen cada una de ellas y a modo didáctico, aplicaremos en cada etapa un ejemplo explicativo a través de un caso de estudio realizado consistente en el diseño ergocromático experiencial de un concesionario de una empresa automovilista.

Tabla 1. Etapas del diseño experiencial ergocromático

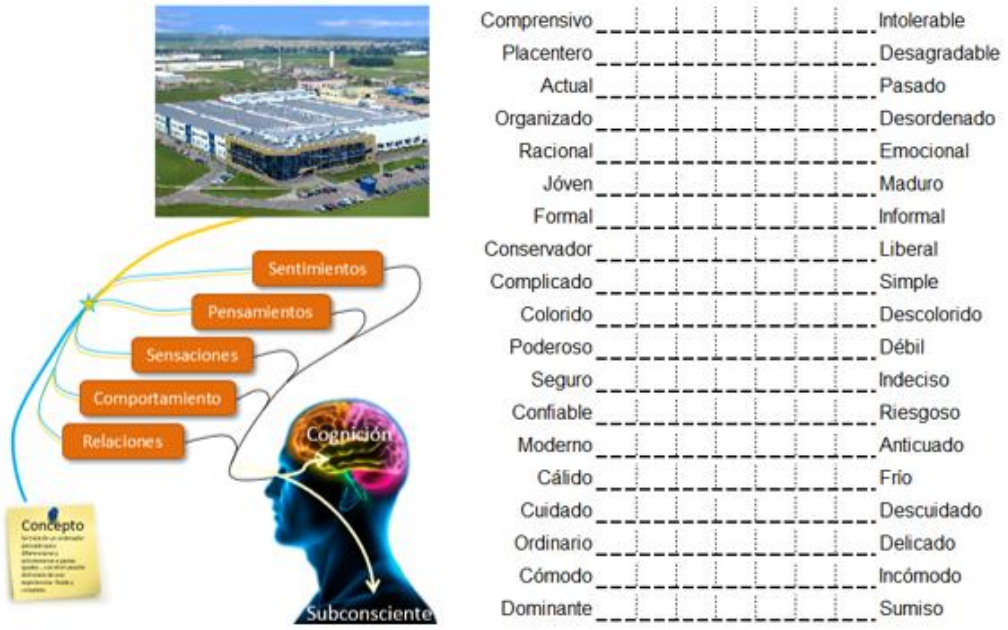
Fase	Resultados
E1: Análisis del ámbito experiencial	Requerimientos ergocromáticos: usuarios + identidad corporativa
E2: Definición de las experiencias ergocromáticas	Listado de experiencias a evocar en el entorno construido
E3: Selección y clasificación de las experiencias	Conjunto de proovedores y generadores de experiencia según el tipo activa/pasiva; inmersión/absorción; implicación/evocación
E4: Diseño de las experiencias ergocromáticas	Matriz de diseño experiencia:Módulos estratégicos y parámetros de diseño ergocromático detallados
E5: Diseño tecnológico del modelo 3D base	Modelo virtual 3D y de realidad aumentada
E6: Materialización y diseño de detalle del entorno construido	Alternativas de diseño materializado en el modelo virtual
E7: Validación de diseño experiencia	Diseño final

4.1. ETAPA I: Análisis y elicitación de los ámbitos experienciales para su proyección en el diseño ergocromático del espacio industrial construido.

En esta primera etapa se recopilan todos los requerimientos necesarios referidos al ambiente exterior e interior (factores ambientales, sociales y culturales) y el tipo de experiencia que los usuarios y trabajadores desean tener en el puesto de trabajo para garantizar su integración y compatibilidad con el entorno, además de ser estudiada la imagen corporativa de la marca para la posterior adaptación del diseño cromático a la misma.

La investigación sobre las experiencias para el caso de estudio del concesionario, determinó a partir de los cuestionarios basados en el diferencial semántico (se muestra en la figura 3 uno de ellos) diseñados para el *entorno específico, la actividad correspondiente y la marca automovilística*, que los ámbitos experienciales generales deberían ser: (1) Experiencia de comportamiento profesional y responsable, (2) Experiencia de realización profesional, (3) Experiencia de interacción dinámica y no monótona y (4) Experiencia ambiental confortable y de calidad.

Figura 3. Cuestionarios para el análisis de los ámbitos experienciales



4.2. ETAPA II: Caracterización de las experiencias a efectos de diseño ergocromatico.

Una vez obtenidos los ámbitos experienciales relevantes para la empresa y trabajadores, se procede a concretar los ámbitos experienciales, esto es, caracterizar de forma detallada los tipos de experiencias a activar en los usuarios a través de la configuración del entorno que se llevará a cabo en las etapas posteriores. Considerando el marco de *diseño industrial experiencial afectivo* (Norman, 2012), se realizó un estudio a partir del cual se obtuvo como resultado el conjunto de términos emocionales y afectivos que podrán ser relacionados con dichas experiencias, los cuales que serán objeto de estudio para ser evocados por los requerimientos cromáticos del entorno. Es decir, se definen qué tipos de reacciones cognitivas provocará la experiencia seleccionada en el sujeto. Para el caso de estudio presentado, estos términos fueron agrupados por afinidad para la definición de cada una de las experiencias y son mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de las emociones obtenidas en cuatro experiencias

	Tipo de experiencia	Características de la experiencia
1	Experiencia motivante, de crecimiento personal, dinámico-positiva	Motivación, Complicidad, Dinamismo, Jovialidad, Estimulación, Alegría, Felicidad, Entusiasmo, Ilusión, Positividad, Optimismo
2	Experiencia de ambiente confortable y de calidad	Paz, Seguridad, Estabilidad, Confianza, Relajación, Comodidad, Sosiego, Tranquilidad, Confort, Armonía, Bienestar, Concentración

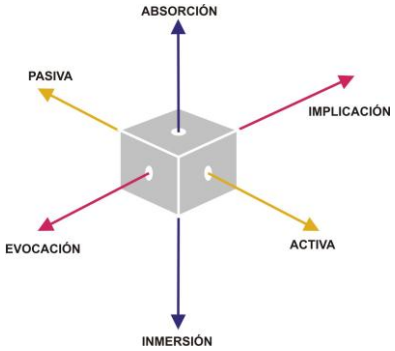
3	Experiencia de profesionalidad y comportamiento responsable	Profesionalidad, Satisfacción, Responsabilidad, Compañerismo, Organización, Unión, Compromiso, Flexibilidad, Limpieza, Amistad
4	Experiencia laboral dinámica y no monótona	Creatividad, Aventura, Pasión, Vitalidad Emoción, Diversión, Curiosidad

4.3. ETAPA III: Clasificación de las experiencias objeto de diseño ergocromático.

En la etapa III y partiendo de las experiencias caracterizadas por las reacciones cognitivas resultado de la etapa anterior, se procede a clasificarlas en atención a la forma en que el trabajador, cliente o usuario las construye en interacción con el entorno. Este proceso se lleva a cabo a partir de la *teoría del diseño experiencial*, donde cada una se define a través de una clasificación que coincide con el proceso de cómo el usuario construye su experiencia (Pine, 1999; Cobadela, 2011). Se explica sintéticamente a continuación.

El usuario puede construir su experiencia (Pine, 1999; Cobadela, 2011) con una participación **activa** (el sujeto configura la experiencia según sus preferencias, por ejemplo un trabajador configurando el modo interacción con el medio, en concreto con el modo de visualización de la interfaz de un panel de control más acorde para él) o **pasiva** (al sujeto se le facilitan el conjunto de indicios que crean la experiencia sin opción de modificación, por ejemplo flechas e indicación de caminos de recorrido con diferentes colores según destino en un hospital); materializándose en el entorno por **absorción** (experiencia generada en el sujeto al ser atraído por la saliencia de las características del entorno construido), o por **inmersión** (en un concesionario de coches, las experiencias que los clientes experimentan cuando les incorporan al espacio donde se muestran los posibles coches en venta), además de forma complementaria por **evocación en el entorno** (la que construye el usuario o trabajador sin intencionalidad en base a las experiencias anteriores que le evoca) **o por implicación** de una nueva experiencia activa (en base a las demandas, requerimientos de la tarea, o estados de curiosidad que suscita el sujeto construye la experiencia intencionadamente).

Figura 4. Tipos de experiencias



Para conseguir clasificar y conocer el tipo de experiencia se requiere un análisis de la usabilidad de los procesos de trabajo y del conjunto de actividades que se llevan a cabo en las instalaciones industriales.

El análisis de usabilidad del concesionario de automóviles dio como resultado la síntesis mostrada en la tabla 3. Los datos muestran la clasificación de las experiencias seleccionadas por los trabajadores del concesionario así como el lugar donde se llevarán a cabo, siendo este último el que será objeto de rediseño ergocromático (*exposición-tienda y taller*)

Tabla 3. Clasificación de las experiencias e identificación de lugares a efectos de diseño ergocromático

	EXPERIENCIA SELECCIONADA	CLASIFICACIÓN/LUGAR DE ACTIVACIÓN
1	Experiencia motivante, de crecimiento personal, dinámico-positiva	Pasiva, inmersión, evocación **Lugar: taller**
2	Experiencia de ambiente confortable y de calidad	Pasiva, inmersión, evocación **Lugar: exposición, tienda**
3	Experiencia de profesionalidad y comportamiento responsable	Activa, absorción, implicación **Lugar: Taller**
4	Experiencia laboral dinámica y no monótona	Activa, absorción, implicación **Lugar: exposición, tienda**

4.4. ETAPA IV: Diseño experiencial ergocromático

Partiendo de las experiencias caracterizadas, clasificadas y localizadas, es necesario seleccionar el conjunto de factores que serán aplicados al diseño del lugar y entorno industrial para activar las mismas. Es decir, las experiencias estarán vinculadas a un conjunto de parámetros ambientales del entorno que serán los encargados de activar los procesos cognitivos específicos en el usuario y provocar dicha experiencia. Estos factores según la *teoría de diseño experiencial* son denominados **proveedores** y **generadores** (y corresponden con los elementos del entorno y sus características: por ejemplo diseño interior, materiales o color).

En el caso de estudio presentado en este trabajo al tener orientación ergocromática, se han elegido los siguientes proveedores y generadores relacionados con el mensaje sensorial del color: **LUZ, COLOR, MATERIAL Y TEXTURA**. La combinación de los mismos dará como resultado las distintas configuraciones de experiencia, por lo que habrá que seleccionarlos de forma eficiente con el objetivo de activar las experiencias esperadas por los usuarios.

Cuando los proveedores y generadores activan las experiencias, provocan en el sujeto la secuencia cognitiva mencionada con anterioridad, es decir, la construcción de la experiencia engloba una serie de estados internos del usuario que marcarán diferentes niveles de implicación con el contexto: sensación, emoción, pensamiento reflexivo, comportamiento y relación; en su conjunto componen los Módulos Experienciales Estratégicos (MEE) que indicarán qué tipo de estado cognitivo determinan las experiencias psicoafectiva en el sujeto.

En conclusión, para definir cada experiencia (1) de forma completa será necesario concretar: proveedores y generadores (2) y Módulos experienciales Estratégicos (3). Para ello, la metodología propone el diseño de dos matrices: Tridimensional de Requerimientos de Diseño y Bidimensional del Ciclo de Vida de la Experiencia. Las mismas son una herramienta que facilita la transformación de la experiencia en los parámetros de diseño ergocromático del entorno.

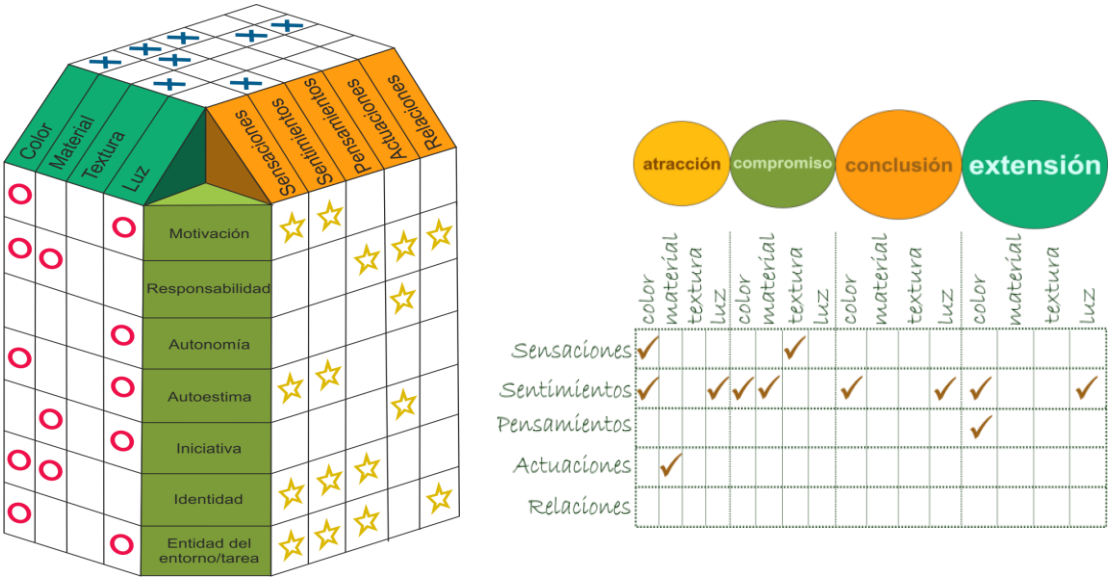
Las dos matrices pueden apreciarse en la figura 5; las mismas son un ejemplo de aplicación y desarrollo de la experiencia “realización profesional” en el concesionario de automóviles.

En la parte izquierda, la Matriz Tridimensional de Requerimientos de Diseño define las experiencias que queremos conseguir (columna central, verde claro), los proveedores y generadores de esas experiencias en color verde oscuro (es decir, los requerimientos o características del entorno necesarios para activarlas) y los Módulos Experienciales

Estratégicos (MEE) en naranja, que corresponderán la etapa de la secuencia cognitiva evocada en el sujeto.

En la segunda matriz, situada en la parte derecha de la figura 5, representa los Módulos Experienciales Estratégicos (MEE) relacionados con los proveedores de experiencia, y describe el ciclo de vida de la experiencia (Pine, 1999; Cobaleda, 2011) descrito por la teoría de diseño experiencial (fase I de atracción que coincide con la activación o inicio de la experiencia; fase II de compromiso que coincide con la ejecución de la experiencia y fase III de conclusión que será el cierre o la finalización de la experiencia. La fase IV corresponde con la extensión, es decir, cuando el usuario ha experimentado la experiencia anteriormente, puede recordar los resultados de la misma y distingue su aceptación o rechazo a volver a experimentarla).

Figura 5. Matrices de construcción de experiencia "realización profesional"

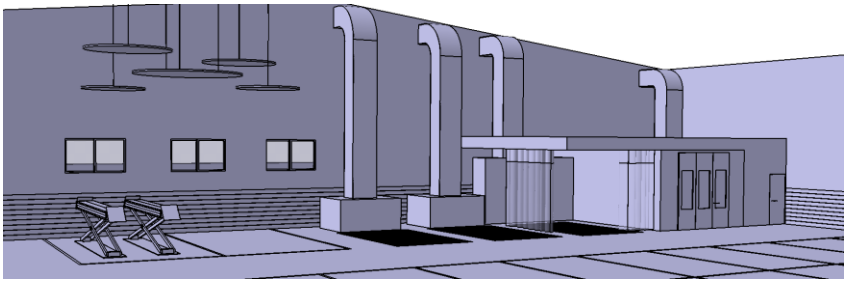


La matriz anterior indica cómo realizar el diseño del entorno. La relación entre Proveedores de Experiencia (en este caso requerimientos ergocromáticos de luz, color, material y textura) con cada uno los Módulos Experienciales Estratégicos MEE (sensaciones, emociones, pensamientos reflexivos, comportamientos y relaciones que evoca dicha experiencia) permite controlar el confort generado en el individuo.

4.5. ETAPA V: Diseño tecnológico

Para trasladar la selección ergocromática a los elementos del entorno, se procede a realizar el diseño tecnológico del contexto. Se lleva a cabo un modelo virtual 3D que para el caso de estudio corresponde con una reconstrucción del taller real objeto de rediseño, y está constituido por la construcción industrial, instalaciones (diferentes zonas según función: taller, área de descanso/recuperación, expositores y venta) y el mobiliario y elementos que componen el entorno. Se muestra en la figura 6 el contexto del taller.

Figura 6. Diseño del modelo 3D Proveniente del diseño técnico



4.6. ETAPA VI: Diseño ergocromático

En esta etapa las experiencias definidas se introducen en el diseño los resultados de las Matrices de Construcción de Experiencia (figura 5) a través de los proveedores de experiencia, es decir, en modelo virtual quedan reflejados los parámetros de diseño ergocromático completos (color, iluminación, materiales y texturas).

Para llevar a cabo el proceso de selección adecuada del mensaje sensorial del color para evocar las experiencias seleccionadas, es necesario realizar un estudio a través de la teoría de la psicología del color. Como se explicó en apartados precedentes, existen un conjunto de investigaciones que determinan qué colores y sus combinaciones generan en el usuario el conjunto de Módulos Experienciales Estratégicos MEE (sensaciones, emociones, pensamientos reflexivos, comportamientos y relaciones).

Para el caso de estudio y como se indicó en la etapa I de la metodología, fue necesario estudiar los colores corporativos principales de la marca (en este caso, gris plata y el rojo). Se ha optado en este caso por elegir los dos colores de la marca, además de la gama cromática complementaria a los mismos (verde) y sus dos análogos (verde-azulado; verde-amarillento). Complementando a los anteriores, en cada entorno se incluyen colores específicos puntuales para crear las experiencias del usuario seleccionadas. Los resultados corresponden a de la definición de la experiencia y su evocación con el ergocromatismo se muestran en la figura 7.

Figura 7. Selección de combinaciones cromáticas

4.7. RESULTADOS

En general, los resultados del diseño del entorno construido industrial en la actualidad solo tienen en cuenta los aspectos de seguridad industrial y salud e higiene en el trabajo por prescripción de los reglamentos. Uno de los aspectos que no suelen ser considerados son los aspectos psicoafectivos de los trabajadores, clientes y usuarios.La metodología propuesta aplicada al contexto del concesionario de automóviles del caso de estudio, ha permitido analizar e incorporar al diseño de la construcción industrial aquellos elementos necesarios. En la figura 8 se presenta una de las experiencias descritas en detalle. La figura muestra la localización de la experiencia **Motivante, de crecimiento personal, dinámico-positivo**, proveedores de experiencia necesarios para su activación, resultados de los módulos experienciales en el trabajador (sensaciones, sentimientos, etc.), requerimientos ergocromáticos y los resultados negativos indirectamente evitados.

Figura 8. Definición de la experiencia Realización profesional

Por último, la figura 9 muestra el entorno virtual diseñado para el taller.

Figura 9: Resultados del diseño ergocromático para taller mecánico

5. Conclusiones

En el presente artículo se propone una metodología para el diseño experiencial ergocromático del entorno construido (E.I.), incluyendo el espacio de trabajo, de forma que al integrar en la arquitectura industrial la dimensión cromática, conducida desde el diseño de experiencias, posibilite la fruición y confort de los usuarios, trabajadores y clientes. Se ha incorporado una nueva dimensión en los proyectos del entorno construido y de ambientes ocupacionales, teniendo en cuenta aspectos no exclusivamente tecnológicos, considerando en la fase de concepción una vertiente de diseño industrial que propicie una mayor armonía

entre persona y ambiente en las dimensiones del confort (física, psicológica, y sociocultural). El enfoque propuesto permite reforzar desde la dimensión semántica el cumplimiento de los requerimientos del proyecto establecidos a partir del branding, cultura corporativa, principios ergonómicos y macroergonómicos, a partir de la evocación de experiencias ergocromáticas que permitan al usuario y trabajador percibir su interacción con el entorno ocupacional como positiva y confortable.

6. Bibliografía

Ali El-Zeiny, R.M. (2012). The Interior Design of Workplace and its Impact on Employees' Performance: A Case Study of the Private Sector Corporations in Egypt. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 35, 746-756. doi: 10.1016/j.sbspro.2012.02.145

Barrick, C.B., Taylor, D., & Correa, E. I. (2002). Color Sensitivity and Mood Disorders: Biology or Metaphor? *Journal of Affective Disorders*, 68(1), 67-71. doi: 10.1016/S0165-0327(00)00358-X

Blandy, D., & Bolin, P. (2003). Beyond Visual Culture: Seven Statements of Support for Material. *Studies in Art Education*, 44(3), 246-263. doi: 10.2307/1321012

Cobadela, A. & Aguayo, F. (2011). Mobilidario de recepción para un hotel boutique bajo diseño experiencia. Proyecto de fin de carrera. U. de Sevilla.

Coles, J., & House, N. (2008) Fundamentos de Arquitectura de interior. Singapur : Promopress

De Looze, M.P., Kuijt-Evers, L.F., & van Dieën, J.H. (2003). Sitting comfort and discom- fort and the relationships with objective measures. *Ergonomics*. 46(10), 985-97. doi: 10.1080/0014013031000121977

Dijkstraa, K., Pieterseb, M. E., & Pruyn, A. T. H. (2008). Individual Differences in Reactions towards Colour in Simulated Healthcare Environments: The Role of Stimulus Screening Ability. *Environmental Psychology*. 28, 268-277. doi: 10.1016/j.jenvp.2008.02.007

Elliot, A. J., Maier, M. A., Binser, M. J., Friedman, R., & Pekrun, R. (2009). The Effect of Red on Avoidance Behavior in Achievement Contexts. *Personality and Social Psychology Bulletin*. 35(3), 365-375. doi: 10.1177/0146167208328330

ErgoLab. Laboratorio di usabilità e ricerca ergonómica (n.d.) Obtenido el 13 de julio de 2014 desde http://www.ergolab.it

Goethe, Johann Wolfgang von (1810). "Abteilung. Physische Farben". Zur Farbenlehre.

Heller, E. (2004). Psicología del color. Cómo actúan los colores sobre los sentimientos y la razón. Munich, Alemania: Gustavo Gili, S.L.

Heras, A., Aguayo, F., Lama, J.R., & Córdoba, A. (2014). Diseño experiencial 'fuzzy' de un producto. *Técnica Industrial*. 305, 44-54.

Huertas, M.C., & Aguayo, F. Diseño experiencial ergocromático de espacios industriales y comerciales. (Proyecto fin de carrera, Universidad de Sevilla, 2013)

INSHT. (2014). Influencia psicológica del color, fichas técnicas. ST. VII. 38.

Kolcaba, K. (2003). Comfort Theory and practice : a vision for holistic health care and research. Canada, Springer Publishing Company, Inc.

Maestre, A., & Aguayo, F. Diseño ergocromático del Producto Industrial y su integración en ambientes. (Proyecto fin de carrera, Universidad de Sevilla, 2012)

Miller, H. (n.d.). Living office design solution. Obtenido el 31 de julio de 2014 desde http://www.hermanmiller.com/design-resources/living-office-design-solutions.html

Norman, D. A. (2002). Emotion & design: Attractive things work better. Interactions, 9 (4), 36-42.

Pine, B., & Gilmore, J. (1999). The Experience Economy. Boston, Massachusetts: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.

WIU (the workplace intelligence unit WIU). Using Colour in the Workplace. 2014. Obtenido de http://s200941466.websitehome.co.uk/uploads/files/Light_and_Colour_-_Using_Colour_in_the_Workplace.pdf.

02-023

ANALYSIS OF LANDSCAPE RESTORATION PROCESS AND ENVIRONMENTAL INTEGRATION OF ROAD INFRASTRUCTURES IN ANDALUSIA (S SPAIN)

Serrano Bernardo, Francisco [1]; Garcete, Kelly [1]; Beltrán-Hermoso, María [1]; López de Hierro Pérez, Lourdes [2]; Martín Molero, Juan Carlos [2]; Rosúa Campos, José Luis [1]; Herrera Cabrerizo, Renato [3]; Ramajo Rodríguez, Luis [3]

[1] Universidad de Granada, [2] ID+Ambienta, [3] Agencia de Obra Pública de Andalucía

AOPA's experience in the management of roads in Andalusia, and particularly in the application to civil engineering of plant restoration techniques and landscape integration, join to the adoption of numerous laws and regulations, have been highlighted the importance of innovative technical and legal instruments to ensure the success of the works related to the recovery of a linear infrastructure, taking into account the peculiarities of the environment. To try to solve possible problems arising from the processes of environmental assessment, construction and implementation of various linear infrastructure projects, we have conducted a comparative in 18 major roads of Andalusia, trying to establish which of these plant restoration techniques are most effective, what was the percentage of success in the process of restoring the vegetation cover and which are the technical and scientific basis scientific for perfect integration (environmental-cultural-socioeconomic) of these infrastructures in the surrounding environment.

Keywords: *Environmental Integration; road infraestructures; Landscape restoration, biodiversity*

ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE RESTAURACIÓN PAISAJÍSTICA E INTEGRACIÓN AMBIENTAL DE INFRAESTRUCTURAS VIARIAS EN ANDALUCÍA (SUR DE ESPAÑA)

La experiencia de la AOPA en la gestión de las carreteras en Andalucía, y particularmente en la aplicación a la obra civil de técnicas de restauración vegetal e integración paisajística de la red viaria andaluza, así como la aprobación de numerosas disposiciones legales y reglamentarias, han puesto de manifiesto la importancia de contar con instrumentos técnicos y jurídicos innovadores que garanticen el éxito de los trabajos relacionados con la recuperación del entorno de una infraestructura lineal, teniendo en cuenta las peculiaridades del medio en que se va a intervenir. Para tratar de solucionar los posibles problemas derivados de los múltiples procesos de elaboración, evaluación ambiental, construcción y ejecución de los distintos proyectos de infraestructuras lineales, se ha llevado a cabo un análisis comparativo del resultado de la aplicación de distintas técnicas de restauración paisajística utilizadas hasta ahora por la Administración en Andalucía en 18 importantes carreteras de este territorio, de forma que puedan establecerse cuáles de dichas técnicas son más eficaces, cuál ha sido el porcentaje de éxito en los procesos de restauración de la cubierta vegetal y cuáles los fundamentos científico-técnicos para la perfecta integración (ambiental-cultural-socioeconómica) de la obra en el entorno que la rodea.

Palabras clave: *Integración ambiental ; infraestructuras viarias; restauración paisajística; biodiversidad*

Correspondencia: Francisco Serrano Bernardo fserber@ugr.es

Agradecimientos: Agradecimiento a la Agencia de Obra Pública (AOPA) de la Junta de Andalucía, por la financiación del proyecto de investigación I+D+i “Análisis de los resultados de la aplicación de técnicas y especies vegetales en la restauración paisajística de las infraestructuras viarias en Andalucía”.

1. Introducción

La experiencia de la Agencia de Obra Pública de Andalucía (AOPA) en la gestión autonómica de las carreteras, y particularmente en la aplicación independizada de la obra civil de técnicas de restauración vegetal e integración paisajística de la red viaria andaluza, así como la aprobación de numerosas disposiciones legales y reglamentarias, han puesto de manifiesto la importancia de contar con instrumentos técnicos y jurídicos innovadores que garanticen el éxito de los trabajos relacionados con la recuperación del entorno de una infraestructura lineal, teniendo en cuenta las peculiaridades del medio en que se va a intervenir.

Una vez que las herramientas a disposición de los técnicos han sido aplicadas, llega un momento en el que se debe hacer un análisis sobre los resultados que éstas han dado en la práctica, y si pueden establecerse mejoras o generar nuevos instrumentos que ayuden a aumentar el éxito de la actuación, en este caso de los proyectos de restauración de la cubierta vegetal.

Este proyecto de investigación ha pretendido solucionar los posibles problemas ambientales derivados de la construcción y ejecución de los distintos proyectos de infraestructuras lineales mediante un análisis comparativo del resultado de la aplicación de las distintas técnicas de restauración paisajística utilizadas hasta ahora por la AOPA sobre la red viaria andaluza, estableciendo cuáles son más eficaces, cuál ha sido el porcentaje de éxito en los procesos de restauración de la vegetación, comunes a dichas infraestructuras, y cuáles los fundamentos científico-técnicos para la integración total de la obra en el entorno que la rodea.

Para tratar de solucionar los posibles problemas derivados de los múltiples procesos de elaboración, evaluación ambiental, construcción y ejecución de los distintos proyectos de infraestructuras lineales, se hace necesario realizar un análisis comparativo del resultado de la aplicación de las distintas técnicas de restauración paisajística utilizadas hasta ahora por la Administración en Andalucía, de forma que puedan establecerse cuáles de dichas técnicas son más eficaces, cuál ha sido el porcentaje de éxito en los procesos de restauración de la cubierta vegetal, comunes a dichas infraestructuras, y cuáles los fundamentos científico-técnicos para la perfecta integración (ambiental-cultural-socioeconómica) de la obra en el entorno que la rodea.

No obstante, para realizar este análisis de forma eficaz, se entiende que debe hacerse desde una perspectiva denominada “multicriterio”. La complejidad de abordar el estudio de la metodología de restauración de una forma heterogénea en función de cada una de las infraestructuras viarias ejecutadas por la AOPA y de manera individualizada, unido al amplio número de datos reales “medibles” que se pueden obtener sobre éxito en siembras, plantaciones, biodiversidad, etc., sobre la base de los numerosos parámetros existentes, tanto ambientales como constructivos, deberían derivar en el establecimiento de una metodología o modelo de análisis, científico, único, completo, fiable y aplicable de igual modo a todas y cada una de las infraestructuras viarias andaluzas.

2. Antecedentes

La relación de la Obra Pública con su entorno ha evolucionado notablemente en los últimos tiempos. Históricamente, la realización de una infraestructura lineal, especialmente las carreteras, ha contado con una intervención posterior a la obra que pretendía hacer agradable al usuario su entorno, especialmente desde el punto de vista estético de ésta. La

asociación del arbolado con las vías de comunicación antiguas puede ser el ejemplo más ilustrativo.

Actualmente, se ha pasado de la inicial despreocupación por el medio ambiente en la construcción de una infraestructura, hasta el más avanzado pensamiento económico en relación con el entorno, que plantea la necesidad de incorporar la dimensión ambiental para preservar los recursos y el medio naturales y de este modo garantizar el sostenimiento en el tiempo de la actividad económica, en la cual la producción y mantenimiento de las infraestructuras viarias poseen un papel fundamental.

Para alcanzar la sostenibilidad entre el entorno y las infraestructuras lineales, la Obra Pública ha ejercido en los últimos años un papel activo. Primero, remediando y corrigiendo los deterioros producidos por su actividad (realizando plantaciones y siembras que corrigieran el nivel de intervención en los suelos sobre los que se ha realizado la infraestructura); después, preocupándose de proteger el entorno, tomando las medidas preventivas oportunas (entre las cuales, destacan por su importancia y trascendencia los Estudios de Impacto Ambiental); y finalmente, impulsando de forma definitiva la mejora del entorno y la integración física y social de las actividades humanas, las obras públicas y el medio ambiente (estableciendo normativamente la figura del Proyecto de Restauración Paisajística (PRP) que persigue la recuperación de la cubierta vegetal y la integración paisajística de dicha infraestructura).

No obstante, a pesar de estos esfuerzos, o precisamente por ellos, la consecución de los proyectos de construcción de infraestructuras viarias y su aplicación real no ha sido la más deseable. La rápida evolución de los tres aspectos considerados, aunque éstos no sean absolutamente novedosos, ha impuesto unos condicionantes en el comportamiento de la Administración que no siempre se han asumido en el engranaje de ésta, en su funcionamiento e incluso en la normativa aplicable.

La experiencia acumulada por la AOPA en la gestión autonómica de las carreteras en los últimos años, los cambios producidos en la normativa (Ley 8/2001, de 12 de julio, de Carreteras de Andalucía), así como la aprobación de otra serie de disposiciones legales y reglamentarias de indudable incidencia en la configuración y régimen jurídico del sistema viario de Andalucía (Ordenación Urbanística y del Territorio, Protección Ambiental, etc.), han puesto de manifiesto la importancia de contar con instrumentos técnicos y jurídicos innovadores que garanticen el éxito de todos los trabajos relacionados con la recuperación del entorno de una infraestructura lineal, teniendo en cuenta las peculiaridades del medio en que se va a intervenir, que recoja las necesarias tareas de restauración ecológico-paisajística de la superficie intervenida y, en definitiva, que exprese qué condiciones debe cumplir el Proyecto de Construcción para integrar la obra en el medio donde se realiza. Una vez que las herramientas a disposición de los técnicos han sido aplicadas, llega un momento en el que se debe hacer un análisis sobre los resultados que éstas han dado en la práctica, y si pueden establecerse mejoras o generar nuevos instrumentos, que ayuden a aumentar el éxito de los proyectos de restauración de la cubierta vegetal en las infraestructuras viarias de Andalucía y a integrar éstas en el entorno natural donde se ejecutan.

3. Objetivos

Los principales objetivos del presente trabajo se resumieron en los siguientes:

1. Realizar un análisis desde una perspectiva multicriterio, de los resultados de Proyectos de Restauración Paisajística (PRP) sobre diversas infraestructuras viarias de Andalucía, haciendo especial hincapié en parámetros ambientales y en aspectos técnicos relacionados con el diseño y la posterior ejecución de la infraestructura, en especial sobre las especies vegetales empleadas y las técnicas de revegetación.

2. A partir de dichos resultados se han establecido modelos de Restauración Paisajística generales, capaces de crear las denominadas “zonas automantenibles”. El automantenimiento de esas áreas redundará en la propia economía de la obra, de forma que las inversiones que se hagan después de la aplicación de ese Proyecto de Restauración serán prácticamente nulas (especialmente en lo referente a tareas de conservación y mantenimiento de la vegetación), incluyendo trabajos específicos de mantenimiento de la red viaria.
3. Con estos modelos, se podrá influir directa e indirectamente sobre las empresas que participan de los proyectos de restauración paisajística licitados por la AOPA, de forma que se puedan crear demandas específicas de determinadas especies vegetales o de técnicas de restauración, que puedan resultar fundamentales para la mejor integración de la infraestructura en el medio natural, e incluso para un mayor ahorro en la ejecución de ésta y en su mantenimiento.
4. Se han establecido unas directrices o “líneas generales” acerca del uso de los materiales y técnicas más habituales que se aplican en la restauración de una infraestructura, de manera que pueda lograrse una elevado porcentaje de éxito con una menor inversión.
5. Tras analizar estos resultados, se han señalado qué recursos naturales se deben proteger de forma prioritaria para que la infraestructura no sea considerada agresiva con el medio que la rodea, de manera que en el proceso de elaboración o modificación de éstas, siempre se tengan en cuenta esos valores, e incluso se incentiven desde el punto de la propia infraestructura.
6. Este trabajo ha permitido actualizar y mejorar las actuales normas técnicas de Calidad Ambiental ya existentes en la AOPA, e incluso la posibilidad de establecerlo en un futuro como una disposición técnica aplicable a todas las infraestructuras lineales de Andalucía.
7. De forma general, este proyecto puede contribuir a una mejor ordenación del territorio andaluz desde el punto de vista de la ejecución de infraestructuras lineales, especialmente las viarias.
8. A partir de este análisis de resultados podrán establecerse con criterios científico-técnicos un conjunto de recomendaciones aplicables a las distintas fases de los proyectos y obras a los efectos de mejorar su viabilidad técnica, por lo que debe considerarse en su carácter integral.

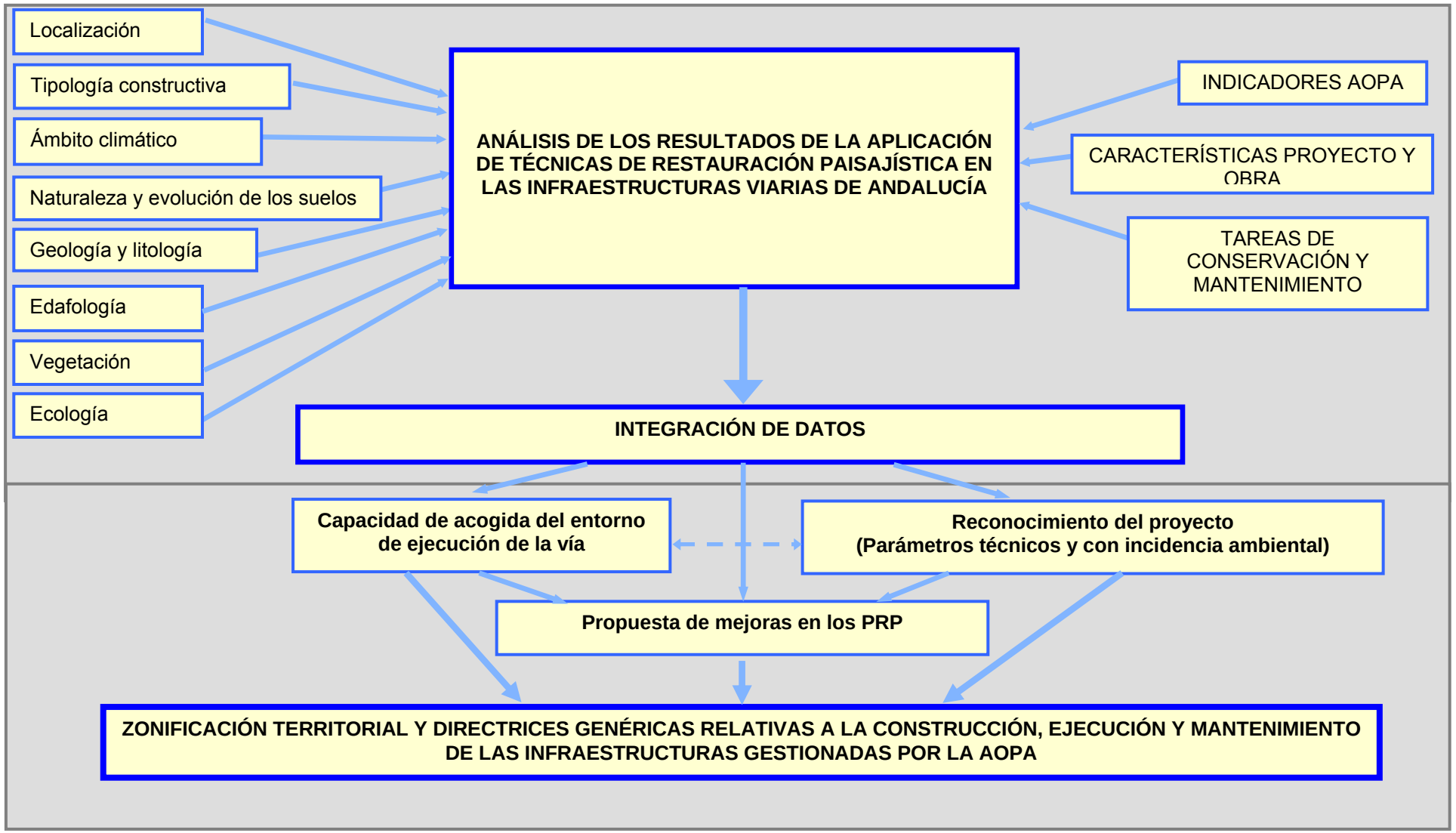


Figura 1. Metodología del Proyecto de Investigación

4. Contenido y resultados globales

Este trabajo ha pretendido establecer una clara metodología de trabajo y de planificación (Figura 1), tratando de definir la manera de realizar el análisis de los trabajos de restauración en la red viaria. En este sentido, el mismo orden que se establece para cada una de las tareas de investigación actúa como estructura con posibilidad de superposición de varias tareas habida cuenta de la duración estimada para ejecutar el proyecto.

4.1. Análisis del entorno de la infraestructura: Selección de obras.

Abordar un proyecto de investigación de esta índole implica como requisito indispensable el control de resultados de las técnicas de restauración paisajística de la red de infraestructuras viarias en el entorno desde un punto de vista global. Y para realizar este control a primera tarea a realizar debe ir encaminada a realizar un análisis del medio natural desde la perspectiva de la ejecución de las infraestructuras viarias. Para ello, de entre todas las infraestructuras (autovías y carreteras convencionales) en las que la AOPA ha ejecutado labores de restauración desde 1996 hasta la fecha actual, se seleccionaron 18 ejes viarios, como muestra representativa de los trabajos de restauración ejecutados y marco de referencia del proyecto de investigación, estableciendo dos principales criterios de selección:

1) Medio natural: Se estudiaron las características ambientales del entorno de la zona de ejecución, procurando tener representación de al menos, una infraestructura viaria por cada una de las principales unidades fisonómicas, paisajísticas, ecológicas y ambientalmente homogéneas existentes en Andalucía: medios rurales de distintas tipología, paisajes de transición, zonas urbanas y periurbanas, espacios naturales protegidos, etc.
2) Características técnicas: Propias de cada una de las infraestructuras, definidas por un proyecto de construcción y particularmente por la tipología de cada uno de los taludes de las obras que han sido restaurados.

La selección de 18 actuaciones en las que se han aplicado técnicas de restauraciones paisajísticas de distintas tipología en función de la infraestructura y del medio receptor, se ha realizado con la perspectiva de verificar la evolución completa de la actuación, desde su fase de ejecución y posterior conservación, hasta su desarrollo en condiciones no asistidas. Con este criterio se han seleccionado las siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Infraestructuras viarias seleccionadas

NUM	CÓDIGO AOPA	DENOMINACIÓN AOPA	TIPO VÍA	LONGITUD (Km)	Terminación Fase ejecución.
1	C-AG1035/ORP0	Correc.desliz.A-92 P.K.272+600 MI Diezma	Autovía	0,4	28/04/2007
2	C-AS5207/ORP0	Restaur.Paisajística LAS JUNTAS-NACIMIENTO	Autovía	25,4	01/05/2003

3	C-CA5018/ORP0	A-382. Tramo II: Pk. 7+900 a 13+000	Autovía	5,1	23/04/2008
4	C-JA1055/ORP0	Duplicación calzada A-316 Vte. de Martos	Autovía	3,0	15/12/2007
5	C-JB0012/ORP0	A-381 TRAMO V. Pk. 11,6 a 28,2	Autovía	16,6	02/05/2004
6	C-VG0017/ORP0	Desd.A-357 Vte.Cartama P.T.A.-Cartama	Autovía	13,5	30/12/2005
7	C-AL1090/ORP0	RP Vte. Mojacar, Subtramo A-370 a ALP-8	Carretera	3,3	01/03/2006
8	C-CO1024/ORP0	A-423 Variante de Montilla. Terminación.	Carretera	7,0	15/03/2002
9	C-ED0014/ORP0	A-484 HINOJOS-VILLAMANRIQUE Pk.0-5 ACOND	Carretera	5,4	15/04/2002
10	C-GR1040/ORP0	Vte. de Baza en A-334, de conex. con A-92N	Carretera	4,0	04/05/2007
11	C-HU5211/ORP0	A-499. S.Silvestre G.-Villanueva C.Acond.	Carretera	14,0	05/04/2005
12	C-JA1045/ORP0	Acondicionamiento A-315 de Ceal A Huesa	Carretera	7,7	15/12/2005
13	C-JA1085/ORP0	Variante de Linares en la A-312	Carretera	4,0	01/05/2007
14	C-PM5093/ORP0	Acond. A-449 Peñarroya - Cruce Cuartanero	Carretera	12,3	06/11/2003
15	C-RG1067/ORP0	Rest. Paisaj.A-369. ATAJATE-PTO DEL ESPINO	Carretera	12,5	30/04/2007
16	C-SE1079/ORP0	A-460 Acond. T:Ruta Plata (N-630)-Guillena	Carretera	4,0	05/03/2006
17	C-SE5041/ORP0	A-351. RP Acond. Tramo El Saucejo-Almargen	Carretera	11,0	16/04/2008
18	C-SS1085/ORP0	A-432.Guadalcanal-LP Badajoz Pk 74-83,1	Carretera	10,5	01/12/2004

4.2. Análisis de las condiciones constructivas de la infraestructura.

Es de sobra conocido que los requerimientos técnicos que se exigen al trazado y al perfil longitudinal de una infraestructura viaria, supone que se produzcan taludes de distintas morfologías litológicas y edafológicas, y de envergadura variable, tanto en desmonte como en terraplén. En cualquier caso, el objetivo principal es proporcionar a la vía radios amplios y pendientes longitudinales suaves. Por tanto, se considera fundamental para el desarrollo del proyecto realizar una profunda caracterización de los métodos usados en la construcción y ejecución de la obra, de forma que pueda ser un elemento fundamental de referencia a la hora de analizar las posteriores técnicas utilizadas en la restauración paisajística. Con ello

no se persigue valorar el proyecto en su solución constructiva, sino el resultado de dicho proyecto en términos de caracterización de taludes (pendientes, alturas, etc.) en relación con la viabilidad de las técnicas de restauración aplicadas.

Así pues, se ha llevado a cabo un estudio acerca de las características técnicas propias de la construcción de infraestructuras viarias en Andalucía, sobre todo de aquellas que afecten o hayan afectado, de una forma u otra, al medio natural en el que se desarrollaron. Fue prioritaria la caracterización de estas superficies que han sido objeto de restauración a los efectos de poder establecer criterios objetivos sobre las posibles pautas de respuesta, y en su caso proponer soluciones más adecuadas al objetivo de la restauración.

Para ello, se tuvieron en cuenta, los siguientes elementos referidos a los mismos:

- Litología y estructura inicial.
- Altura.
- Pendiente y ángulo.
- Forma.
- Propiedades físicas de los materiales (geotecnia).
- Orientación.
- Cuenca visual.

4.3. Elaboración de las fichas de campos

Sobre la base de los dos apartados anteriores, se elaboraron numerosas fichas técnicas que incorporaron, como mínimo, los siguientes datos de cada infraestructura:

1. Localización (ubicación geográfica, altitud, municipios, etc.).
2. Tipología constructiva de la superficie restaurada.
3. Ámbito climático:
    a. Condiciones meteorológicas de ejecución.
    b. Biogeografía.
    c. Bioclimatología.
4. Naturaleza y evolución de los suelos.
5. Características y actuaciones definidas: tanto en fase de proyecto como en obra.
6. Tareas de conservación y mantenimiento.
7. Indicadores utilizados por la AOPA.

Asimismo, para elaborar cada una de las fichas, y dentro de la caracterización ambiental del entorno de cada talud, fue imprescindible hacer referencia a:

1. Geología y Litología actuales.
2. Edafología.
3. Vegetación potencial y real.

4. Caracterización Ecológica de las especies vegetales utilizadas (pudiendo incluirse en ella la caracterización fenotípica).

Además de esto, se añadieron los datos analizados en el apartado sobre condiciones constructivas de cada obra.

4.4. Verificación y análisis estadístico de los trabajos, técnicas y especies empleadas en la restauración.

Tras realizar la caracterización base de cada zona de actuación se procedió a su verificación "*in situ*" a los efectos de poder establecer con criterios objetivos el resultado de las técnicas de restauración aplicada en base de parámetros o indicadores relacionados con el grado de cobertura vegetal, desarrollo vegetativo, identificación de especies, etc.

Los trabajos de campo se realizarán durante un periodo de 2 años, incluyendo en este plazo las visitas a las obras sobre las que se hubieran desarrollado los trabajos preliminares de documentación.

Estos periodos coincidieron con la fase de desarrollo vegetativo de las especies utilizadas o implantadas en la superficie, lo que posibilitará su correcta identificación y valoración.

Los datos obtenidos fueron trasladados a las fichas "de campo", pasando seguidamente a realizar un completo análisis estadístico de los mismos, donde se ha puesto de manifiesto la idoneidad de las técnicas utilizadas para la restauración, así como si ha sido o no adecuada la selección de especies vegetales utilizada sobre la base de las características ambientales de la zona. De este modo, tanto el componente biótico como el abiótico han quedado integrados en función de la capacidad que en cada caso tengan unas áreas y otras para la realización de la infraestructura.

4.5. Integración de datos.

Se incluye en esta fase la integración de los análisis precedentes sobre el medio natural y las infraestructuras. En este punto se han puesto en común los diferentes datos aportados por separado en los estudios detallados del medio y de las infraestructuras usando para ello diversos modelos estadísticos.

De los mismos, se han extraído una serie de conclusiones claras sobre la relación existente entre las infraestructuras restauradas y el medio ambiente en el que se sitúan, conclusiones que servirán para mejorar los actuales modelos de calidad ambiental en restauración paisajística aplicados por la AOPA.

De igual forma, se han definido con claridad la eficacia y eficiencia obtenida de las técnicas y especies empleadas en la restauración en razón del medio, la tipología de la infraestructura y las condiciones de ejecución de esos trabajos de restauración.

4.6. Documento de conclusiones y recomendaciones.

Como último punto del trabajo, se ha elaborado un documento final en el que se describen algunas recomendaciones y exigencias emanadas de este estudio, en lo relativo a la integración de las infraestructuras en el medio natural andaluz. Este documento se ha llevado a cabo "zonificando" la Comunidad Autónoma de Andalucía en función de todos los resultados obtenidos. Asimismo, se han redactado unas directrices genéricas relativas a la

construcción, ejecución y mantenimiento de todas y cada una de las obras de restauración gestionadas por la AOPA.

5. Conclusiones

- La realización de infraestructuras debe considerarse en su marco general, teniendo en cuenta el territorio que actúa de soporte físico de éstas, y el conjunto de actividades económicas y usos inducidos por la propia infraestructura.
- Es evidente que la realización de obras de infraestructuras actúa como factor inductor para el desarrollo de actividades productivas, favoreciendo la integración económica de las regiones, así como el equilibrio y la equidad territorial, además de establecer también una relación inherente entre una actuación de estas características y el medio natural.

- En esta línea, los mismos objetivos que se exigen para la obra pública deberán ser de aplicación bajo la perspectiva ambiental, manteniendo, respetando y potenciando todos aquellos factores del medio natural que pudieran verse afectados por la actuación, de manera que se realicen infraestructuras acordes con el medio e integradas en él, posibilitando un desarrollo sostenible, compatible con la conservación de los recursos naturales.
- En el sector de la obra pública, los Estudios de Impacto Ambiental y los Proyectos de Restauración Paisajística de los proyectos de infraestructuras, han permitido un avance importante en la protección del entorno, constituyéndose como una herramienta útil para procurar la mejor viabilidad del proyecto y la minimización de los efectos negativos de éste sobre el medio natural y socioeconómico.
- El hecho de realizar un análisis comparativo de todas las actuaciones en materia de restauración paisajística llevadas a cabo en las infraestructuras lineales en Andalucía ha permitido mejorar aspectos tales como:

    1. La consideración de los factores ambientales desde las primeras fases de desarrollo del proyecto.
    2. La adecuación de los proyectos y de las medidas preventivas y correctoras en ellos contemplados, a las características naturales del entorno, mejorando la calidad de los trabajos de construcción, ejecución y restauración proyectados.
    3. La calidad "*per se*" de las actuaciones que se realicen, teniendo en cuenta el principio ambiental de "Cautela y Acción Preventiva".
    4. Los plazos de ejecución, programados con antelación suficiente, de forma que las variables climáticas generales no supongan un condicionante negativo para la aplicación de las diferentes medidas preventivas y correctoras.

- La Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía, a través de la Agencia de Obra Pública de Andalucía, inició los procedimientos y actuaciones necesarias para alcanzar los objetivos previstos a corto, medio y largo plazo, con lo que demuestra un firme convencimiento de que es posible compatibilizar el desarrollo con la protección del medio natural.
- Uno de los pilares fundamentales en los que debe apoyarse la mejora en la calidad ambiental de las obras de infraestructura, por tanto, es un mejor conocimiento del medio

natural, especialmente si consideramos la variabilidad y diversidad existente en el territorio andaluz.

- En la medida en que se pueda conocer con mayor nivel de detalle los distintos factores que determinen las características del medio natural, y se interpreten adecuadamente los resultados obtenidos hasta ahora, que manifiestan cual será el comportamiento de éste ante la realización de una obra de infraestructura y la previsible evolución de las distintas variables ambientales, más adecuada será la valoración y protección que se realice del mismo, así como la definición de medidas preventivas y correctoras.
- Por consiguiente, con este proyecto de investigación se ha pretendido profundizar en el conocimiento del territorio andaluz para poder determinar la capacidad de acogida del medio en relación con las infraestructuras, efectuar una clasificación y una valoración sectorial del mismo, y definir las características naturales fundamentales de las distintas unidades que se reconozcan, permitiendo escoger, de forma individualizada y coherente, cuál es la mejor técnica de restauración e integración paisajística aplicable a cada proyecto, facilitando la tarea de toma de decisiones a las distintas instancias de la administración autonómica responsables de la planificación, diseño, construcción, ejecución y conservación de infraestructuras lineales en Andalucía.
- Finalmente, el proyecto ha permitido establecer las oportunas recomendaciones sobre las especies vegetales más adecuadas para la restauración de la red viaria andaluza, identificadas por su viabilidad sobre superficies alteradas caracterizadas por sus parámetros constructivos, lo que facilitará la selección de especies de revegetación en futuras intervenciones.

02-024

THE DILEMMA OF INNOVATION IN THE CONSTRUCTION COMPANY: A DECADE OF LESSONS LEARNED

Pellicer, Eugenio [1]; Yepes, Víctor [1]; Correa, Christian Luis [2]; Alarcón, Luis Fernando [3]

[1] Universitat Politècnica de València, [2] Universidad Católica del Maule, [3] Pontificia Universidad Católica de Chile

Innovation can be defined as the integration of non-trivial ideas capable of generating positive changes that increase a company's competitiveness. For construction companies, innovation is not an easy task, since their production is based on single projects built in different locations. In this paper, the exploratory research conducted by the authors over the last ten years, focused on the implementation, development and monitoring of a standardized innovation management system in a midsize Spanish construction company, is summarized. Collected evidence, also contrasted with other companies as well as with the development of the sector, provide lessons learned, not only for the analyzed company, but also for construction companies in general. Innovation, in this kind of businesses, may not be a spontaneous act that appears on solving a specific problem, becoming a management process that can be systematized and homogenized. It allows quicker identification of the involved tasks in creating new processes, products and services for companies and, therefore, their market competitiveness is improved.

Keywords: *Construction Company; Innovation; Management; Standardization; Sistematization*

EL DILEMA DE LA INNOVACIÓN EN LA EMPRESA CONSTRUCTORA: UNA DÉCADA DE LECCIONES APRENDIDAS

La innovación puede definirse como la incorporación de ideas no triviales capaces de generar cambios positivos que incrementan la competitividad de una empresa. En el caso de las empresas constructoras, innovar no es una tarea fácil, dado que su producción está basada en proyectos únicos que se ejecutan en ubicaciones diferentes. En el presente artículo se sintetiza la investigación exploratoria realizada por los autores, a lo largo de los últimos diez años, centrada en la implantación, desarrollo y seguimiento de un sistema normalizado de gestión de la innovación en una empresa constructora española de tamaño medio. Las evidencias acumuladas, contrastadas también con otras empresas y con la evolución del sector, proporcionan lecciones aprendidas, no sólo para la empresa analizada, sino también para las empresas constructoras en general. La innovación en este tipo de empresas puede dejar de ser un acto espontáneo que aparece en la resolución de un problema concreto, pasando a ser un proceso de gestión que puede ser sistematizado y homogeneizado. Permite acelerar la identificación de las tareas involucradas en la creación de nuevos procesos, productos y servicios en las empresas del sector, y por ende, mejorar su competitividad en los mercados.

Palabras clave: *Empresa Constructora; Innovación; Gestión; Normalización; Sistematización*

Correspondencia: Eugenio Pellicer pellicer@upv.es

Agradecimientos: Esta investigación ha sido financiada parcialmente por los siguientes organismos y proyectos: Universidad Católica del Maule (proyecto MECESUP-UCM0205), Ministerio de Fomento del Gobierno de España (proyecto 2004-36), Universitat Politècnica de València (contratos UPV-2005-0921 y UPV-2008-0629), y Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España (proyecto BIA2014-56574-R). Los autores están también muy agradecidos a Francisco Vea, Ricardo Lacort y Manuel Civera por toda la ayuda prestada durante el desarrollo de la investigación, así como a los múltiples participantes en las diferentes encuestas, entrevistas, presentaciones y reuniones

1. Introducción

La innovación constituye un concepto abierto que puede tomar diferentes significados. Son numerosos los autores que, históricamente, han aportado su propia definición de la innovación, dependiendo fundamentalmente del contexto o ámbito en el que han desarrollado su actividad. Por todo ello, para evitar confusiones, en el ámbito de la presente investigación se define innovación como la aplicación de ideas novedosas para la organización, independientemente de que estas ideas estén enfocadas a productos, procesos, servicios o sistemas organizativos, administrativos o comerciales, capaces de generar cambios positivos que incrementan la competitividad de una empresa (definición adaptada de Gibbons et al., 1994). La gestión de la innovación, por otra parte, puede considerarse como la generación de las condiciones adecuadas en una organización con el fin de llevar a cabo cambios tecnológicos, organizativos o comerciales en un entorno de incertidumbre (Tidd et al., 1997). Habiendo definido estos dos conceptos básicos, se procede a plantear el problema detectado que es punto de partida de la investigación reflejada en este artículo.

La capacidad innovadora de un país depende de diversos factores clave, entre los que destacan las políticas públicas que faciliten el desarrollo de la innovación, la existencia de normas y leyes que garanticen la propiedad intelectual y una continua colaboración entre los centros de investigación y las empresas e instituciones (Gann, 1997; Mitropoulos & Tatum, 2000; Seaden & Manseau, 2001). Es por ello que, aplicando los compromisos asumidos en el año 2000 por la Unión Europea en Lisboa, el gobierno español ha llevado a cabo diferentes iniciativas durante la primera década del nuevo milenio, que por orden cronológico han sido las siguientes:

- Ley 4/2004 de Modificación de Tasas y de Beneficios Fiscales (Gobierno de España, 2004) que invita a que las empresas que inviertan en actividades de innovación puedan obtener incentivos fiscales.
- Programa Ingenio-2010 (www.ingenio2010.es), lanzado en 2005, cuyo objetivo es reducir la brecha en innovación con las restantes economías occidentales mediante la inversión en innovación pública y privada.
- Serie de normas UNE 166000, publicadas en 2006 por AENOR, que tienen por objetivo sistematizar la gestión de la innovación (AENOR, 2006a, 2006b y 2006c).
- Inclusión de incentivos en la licitación de obras públicas (que pueden llegar al 25% en la puntuación final) para las empresas que demuestren llevar a cabo actividades innovadoras, preferentemente tomando como base la serie de normas UNE 166000 (Pellicer et al., 2008).

Es por ello que, en el escenario existente en 2006, muchas empresas constructoras se plantearon si la innovación podía gestionarse como otro sistema empresarial adicional (de un modo similar a la calidad, el medio ambiente o la seguridad), de modo que pudiera ser sistematizada y evaluada externamente por un organismo certificador, siguiendo la serie de normas UNE 166000, por ejemplo (Pellicer et al., 2008). Este es el punto de partida de la investigación sintetizada en este artículo, que genera la siguiente pregunta de investigación principal: ¿puede sistematizarse la innovación en una empresa constructora? A partir de esta pregunta principal surgen dos preguntas de investigación más específicas: ¿Es beneficiosa para la empresa la sistematización de la innovación? ¿Qué barreras existen para sistematizar la innovación?

El presente artículo sintetiza la investigación llevada a cabo por los autores durante la última década (2006-2015) centrada en la implantación, desarrollo, evolución y seguimiento de un

sistema normalizado de gestión de la innovación en una empresa constructora española de tamaño medio. Los hallazgos, contrastados también con otras empresas similares y con el propio sector, proporcionan lecciones aprendidas, no sólo para la empresa analizada, sino también para las empresas constructoras en general.

Para ello, el artículo se organiza del siguiente modo. En primer lugar, se explica el método de investigación llevado a cabo por los autores. A continuación, se explican los procesos de gestión de la innovación implantados en la empresa piloto de acuerdo con la norma UNE 166002. El siguiente apartado justifica el modelo de gestión de la innovación en la empresa desarrollado por los autores. A continuación, se muestran los principales resultados de la implementación en la empresa. En el siguiente apartado se incluyen las lecciones aprendidas más significativas. Finalmente, se presentan las conclusiones, las limitaciones y el trabajo en curso.

2. Método de investigación

Tal y como se ha comentado previamente, en el contexto del año 2006, las empresas constructoras españolas de tamaño grande y mediano entendieron la sistematización de la innovación (siguiendo la serie de normas UNE 166000) como una oportunidad en su desarrollo empresarial que pudiera incrementar su competitividad (Correa et al., 2007; Pellicer et al., 2008). En aquel entonces una única empresa constructora española estaba certificada por la norma UNE 166002 (Pellicer et al., 2008 y 2012). Es por ello que los autores plantearon una investigación exploratoria basándose en la inducción analítica que permite un estudio de caso (Pellicer et al., 2010 y 2012), basándose en la pregunta de investigación siguiente: ¿puede sistematizarse la innovación en una empresa constructora?

Con la finalidad de seleccionar a la empresa objeto de estudio, se investigó el sector de la construcción desde el punto de vista de su estructura -considerando dos variables que definen el tamaño, facturación y número de empleados (Comisión Europea, 2004)-, así como el número de delegaciones regionales. Se examinaron 65 empresas constructoras pertenecientes a las asociaciones FECOVAL, ANCI y SEOPAN, obteniéndose las características de una empresa de tamaño mediano (Pellicer et al. 2012). Se detectaron tres empresas muy próximas a la media, a las que se les ofreció colaborar en la investigación; una de ellas aceptó y pasó a ser el estudio de caso objeto de investigación. Esta empresa constructora ha trabajado en obra civil y edificación desde los años sesenta, presentando una facturación aproximada de 400 millones de euros en 2006 (Pellicer et al., 2010 y 2012).

La unidad de análisis fue la empresa constructora en su conjunto: las oficinas centrales, las delegaciones y las obras. Se llevó a cabo un análisis intenso durante tres años que permitió implantar los diferentes procesos exigidos por la norma UNE 166002 y comprobar su cumplimiento y evolución. Durante ese período de tiempo se visitaron todas las delegaciones, al menos una vez, así como las obras en curso (más de un centenar), fundamentalmente aquellas en las que surgieron potenciales ideas innovadoras. Durante el primer año se llevó a cabo un análisis en profundidad de la empresa (Pellicer et al., 2010), así como la implantación del sistema de innovación según la UNE 166002 (Yepes et al., 2015). Los dos años subsiguientes permitieron identificar los factores de éxito, los beneficios y las barreras a la innovación (Pellicer et al., 2012). En el primer semestre del cuarto año se contrastaron los resultados obtenidos (factores de éxito, beneficios y barreras) con otras empresas que también tenían implantado su sistema de gestión de la innovación según la UNE 166002 (Pellicer et al., 2014). A partir del año 2009 se llevó a cabo un seguimiento de la evolución del sistema de gestión de la innovación, así como de la propia empresa (Pellicer et al., 2012; Yepes et al., 2015).

El estudio del caso llevado a cabo sigue las directrices propuestas por Yin (2003), incluyendo los siguientes seis pasos (Pellicer et al., 2012): (a) revisión de la literatura; (b)

diseño del modelo teórico; (c) obtención de datos; (d) análisis de datos; (e) resultados del estudio; y (f) generalización de resultados. Con los primeros cinco pasos se llevó a cabo la comparación de la teoría con la realidad utilizando múltiples fuentes de evidencias y ligando lógicamente los hechos detectados de modo que se pudiera explicar la realidad analizada. Para cumplir con este objetivo se utilizaron las siguientes fuentes de información (Pellicer et al., 2012 y 2014): (1) observación participante durante cortos períodos de tiempo (normalmente días); (2) reuniones mensuales con directivos de la empresa; (3) análisis de documentos emitidos por la empresa o relacionados con ella (incluyendo páginas web); (4) encuesta externa a 148 empresas constructoras españolas sobre su percepción de la innovación en la construcción; (5) encuesta anual (durante los primeros tres años) a los directivos de la empresa; (6) encuesta a los empleados de la empresa (durante el segundo año de la investigación); (7) encuesta a suministradores y subcontratistas (también durante el segundo año); y (8) seminarios para directivos y clientes celebrado anual o bianualmente desde el tercer año de la investigación.

Con el fin de asegurar la calidad de la investigación mediante el estudio del caso, se siguieron las indicaciones de Yin (2003): (a) utilización de múltiples fuentes de datos (según lo comentado previamente) que permitan triangular los hechos; (b) generación de cadenas de evidencia; (c) contrastación de la teoría con la realidad observada (o “pattern-matching”); y (d) explicación del fenómeno de un modo lógico (o “explanation-building”). Los dos primeros aspectos aseguraron la validación de los constructos (“construct validity”) del estudio de caso (Pellicer et al., 2012), mientras que los dos últimos garantizaron la validación interna (“internal validity”) de la investigación (Pellicer et al., 2012).

La validación externa se llevó a cabo mediante entrevistas semi-estructuradas a directivos de siete empresas constructoras españolas (de las ocho posibles) que tenían un sistema de gestión de la innovación certificado por la UNE 166002 a principios del año 2009 (Pellicer et al., 2014). Se entrevistó a los directivos a cargo del departamento de innovación de la empresa, todos ellos con más de quince años de experiencia en el sector. Adicionalmente, se entrevistó a ocho directivos de la empresa objeto de análisis y a nueve expertos del sector de la construcción, no vinculados a empresas constructoras.

3. Procesos de gestión de la innovación basados en la UNE 166002

La norma UNE 166002:2006 “Gestión de la I+D+i: Requisitos del sistema de gestión de la I+D+i” define el sistema de gestión de innovación (AENOR, 2006c). Este sistema forma parte del sistema global de gestión de la empresa que incluye la estructura organizativa, la planificación, las responsabilidades, los procesos, los procedimientos, los registros y los recursos. La norma UNE 166002 define el modo de desarrollar, implementar, ejecutar, revisar y mantener la política de innovación de la empresa (AENOR, 2006c). El sistema de innovación está dividido en cinco procesos básicos (Yepes et al., 2015): (a) vigilancia tecnológica (según la norma UNE 166006); (b) creatividad; (c) planificación y desarrollo de proyectos de innovación (según la norma UNE 166001); (d) transferencia tecnológica; y (e) protección de resultados.

A continuación se describen los cinco procesos básicos que comprenden el sistema de gestión de la innovación implantado en la empresa piloto (Yepes et al., 2015):

1. La vigilancia tecnológica es un esfuerzo constante y organizado para observar, obtener, analizar, diseminar y recuperar información precisa que sea pertinente para el contexto empresarial. La vigilancia tecnológica busca detectar oportunidades y amenazas, así como anticipar cambios que minimicen la toma de decisiones. El proceso de vigilancia tecnológica está regulado por la norma UNE 166006:2011 “Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva” (AENOR, 2011).

2. Creatividad es la generación de ideas por parte de los empleados que pueden provenir del análisis de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de innovación, o bien de problemas que surgen en las obras. Las ideas se almacenan en una base de datos. Estas ideas se valoran de acuerdo con su factibilidad técnica y económica y su afinidad con las líneas estratégicas previamente establecidas por la empresa.
3. La planificación y desarrollo del proyecto de innovación tiene en cuenta no sólo el diseño detallado del mismo, sino también su implementación en obra. En mucha ocasiones ambos aspectos pueden ser casi paralelos cuando la causa es solucionar un problema que ha surgido en la obra. Normalmente el responsable del proyecto es el propio jefe de obra. Se precisa un informe detallado con la planificación del proyecto, antes de llevar a cabo su implementación; posteriormente, son necesarios informes de seguimiento, finalizando el proceso con la preparación y entrega de un informe final. Este proceso está regulado por la norma UNE 166001:2006 “Gestión de la I+D+i: Requisitos de un proyecto de I+D+i” (AENOR, 2006b); cada proyecto puede ser certificado externamente por un organismo reconocido por el Gobierno de España (Pellicer et al., 2008).
4. La transferencia de tecnología es el proceso de adquisición, transferencia, intercambio, concesión de licencias y permisos, y posicionamiento en el mercado. Está orientado a conseguir una ventaja competitiva en el mercado de los resultados de las actividades de la innovación. Puede finalizar con la firma de un contrato. En cualquier caso, es conveniente llevar a cabo una evaluación de la transferencia.
5. La empresa también busca proteger la información sensible cuando se contratan nuevos empleados o bien se firman acuerdos de cooperación con otras organizaciones, mediante cláusulas de confidencialidad. Como en el caso anterior, también es conveniente llevar a cabo una evaluación de la protección de resultados.

Esta serie de procesos conlleva una retroalimentación del sistema. Para ello es importante disponer de indicadores y también de resultados de las implementaciones realizadas previamente, aunque sean resultados parciales o recomendaciones de los responsables de los proyectos de innovación o de los encargados y jefes de obra (Yepes et al., 2015). Estos resultados pueden almacenarse en una base de datos que puede ser accesible a todos los miembros de la organización. Pueden incluir fuentes habituales de información, registros de la vigilancia tecnológica, ideas, proyectos certificados, colaboradores, etc.

4. Modelo de innovación en empresas constructoras

El modelo de gestión de la innovación propuesto se basa en la teoría de sistemas abiertos (Bertalanffy, 1968); está formado por un conjunto de elementos relacionados entre sí con la finalidad de conseguir objetivos específicos. Toma como punto de partida la propuesta de Seaden y Manseau (2001) centrada en la empresa como sistema de conocimiento, interrelacionada con los suministradores, clientes, recursos, e incluso competidores. El modelo de gestión de la innovación desarrollado (Pellicer et al., 2012 y 2014) considera que las empresas constructoras obtienen ideas novedosas (entradas) de la propia empresa (normalmente a nivel organizativo o comercial), así como de las obras. Estas ideas son transformadas en proyectos de innovación (salidas). Todo ello se desarrolla en el sector de la construcción en el cual se integra la empresa (entorno). Con la finalidad de diseñar una estrategia de innovación adecuada, se considera el entorno de negocio y las capacidades organizativas de la empresa. Estas se reflejan en los objetivos y políticas que facilitan la comunicación en la organización. Como consecuencia, los resultados de los proyectos de innovación tienen un impacto en la empresa y en las obras.

Los resultados de la investigación generaron 18 proposiciones que se grafían en la Figura 1 (Pellicer et al., 2012 y 2014) y se detallan en la Tabla 1 (Pellicer et al., 2012 y 2014). Estas proposiciones se organizan en torno a los siguientes aspectos del proceso de gestión de la

innovación (Correa et al., 2007; Pellicer et al., 2012): impulsores de la innovación, resultados de la innovación, sistema de innovación, entorno de negocio y capacidades organizativas. La Tabla 1 también incluye las contribuciones científicas que apoyan cada una de las proposiciones del modelo.

Figura 1. Modelo de gestión de la innovación y sus proposiciones (Pellicer et al. 2012 y 2014)

Estas 18 proposiciones fueron sometidas a validación, tal y como se ha explicado en el método de investigación. Los resultados de la validación presentaron un amplio consenso entre los tres grupos entrevistados, que confirmaron sin duda 15 de las 18 proposiciones formuladas. Tres de las proposiciones fueron débilmente apoyadas: P4, P15 y P16. La proposición con menor apoyo afirma que adoptando un sistema de gestión de la innovación en la empresa constructora se puede innovar mediante una estrategia previamente definida. Es posible que cuando la gestión de la innovación no es suficientemente madura existan estrategias informales que no permitan percibir la ventaja que supone.

Tabla 1. Proposiciones y principales referencias que las respaldan (Pellicer et al. 2012 y 2014)

CÓDIGO	PROPOSICIÓN	REFERENCIAS
P1	La principal fuente de innovación para la empresa constructora proviene de los problemas técnicos que aparecen en la ejecución de la obra.	Slaughter (1993), Nam y Tatum (1997), Winch (1998)
P2	La empresa constructora innova para cumplir con los requerimientos de los clientes.	Nam y Tatum (1997), Mitropoulus y Tatum (2000), Blayse y Manley (2004)
P3	La dirección impulsa proyectos de innovación para mejorar la competitividad de la empresa constructora.	Tatum (1987), Winch (1998), Slaughter (2000)
P4	La adopción de un sistema de gestión de la innovación en la empresa constructora permite innovar siguiendo una estrategia previamente definida.	Gann y Salter (2000), Seaden et al. (2003), Stewart y Fenn (2006)
P5	La implantación de un sistema de innovación en la empresa constructora obedece a la necesidad de generar una diferenciación positiva que valoren los clientes.	Slaughter (2000), Sexton y Barrett (2003), Van de Ven y Poole (2005)
P6	La empresa constructora innova fundamentalmente en los procesos.	Gann y Salter (2000), Sexton y Barrett (2003)
P7	La implantación de un sistema de gestión de la innovación mejora la gestión del conocimiento.	Winch (1998), Parikh (2001), Hardie et al. (2005)
P8	La empresa constructora que adopta un sistema de gestión de la innovación conoce mejor su entorno externo.	Tatum (1987), Pries y Janszen (1995), Seaden et al. (2003)
P9	El control de los procesos internos de la empresa (producción y gestión fundamentalmente) constituye una fuente de información básica para la generación de ideas innovadoras.	Dulaimi (1995), Stewart y Fenn (2006), Kornish y Ulrich (2011)
P10	La existencia de un sistema de gestión de la calidad certificado según la norma ISO 9001 facilita la implantación de un sistema de gestión de la innovación.	Prajogo y Sohal (2006), Santos-Vijande y Alvarez-Gonzalez (2007), Casadesús et al. (2011)
P11	La existencia de un sistema de gestión de la innovación estimula la contratación de empresas especializadas que aporten valor al proceso innovador.	Blayse y Manley (2004), Wagner (2006)
P12	La implicación activa del jefe de obra en el proceso innovador tiene un impacto significativo en los resultados de la innovación.	Park et al. (2004), Dulaimi et al. (2005)
P13	La innovación en la construcción requiere la participación de equipos multidisciplinares.	Gann y Salter (2000), Bossink (2004)
P14	La adopción de un sistema de gestión de la innovación mejora la capacidad tecnológica.	Tatum (1987), Nam y Tatum (1992), Slaughter (2000)
P15	La adopción de un sistema de gestión de la innovación incrementa la competitividad.	Tatum (1987), Nam y Tatum (1992), Mitropoulus y Tatum (2000)
P16	La certificación de un proyecto de innovación mejora los resultados de la obra.	Marimon y Cristobal (2005), Vea et al. (2010)
P17	La innovación en la construcción se frena cuando los directivos de la empresa constructora no la perciben como una estrategia competitiva.	Nam y Tatum (1997), Slaughter (2000), Blayse y Manley (2004)
P18	La priorización de los procesos productivos dificulta la detección de oportunidades para innovar.	Tatum (1986), Pries y Janszen (1995), Gann y Salter (2000)

5. Resultados de la implantación en la empresa

Una vez llevado a cabo la fase principal de la investigación (años 2006 a 2009) que incluyó la implantación de los procesos y la formulación de las proposiciones que definen el modelo de gestión de la innovación, se llevó a cabo un seguimiento del desempeño de la empresa. La Tabla 2 muestra la evolución de la empresa durante los nueve años en los que ha sido objeto de observación (desde 2006 hasta 2014, aunque en este último año son parciales). Los datos incluyen facturación, beneficios antes de impuestos, empleados con titulación universitaria y empleados trabajando en el departamento de innovación y proyectos de innovación que han sido certificados por un organismo externo. La empresa implantó el sistema de gestión de la innovación en el año 2007 y fue certificada por AENOR en 2008 (Pellicer et al., 2012). Los datos de la Tabla 2 hay que interpretarlos en el contexto de la crisis del sector de la construcción español a partir del año 2008 (Torres Machí et al., 2013; Oviedo-Haito et al., 2014). Para facilitar la comparación con el sector en general, se incluyen también los índices de producción en edificación y obra civil en España para ese período de tiempo (SEOPAN, 2014).

Tabla 2. Evolución de la empresa y del sector de la construcción español para el período 2006-2014 (Yepes et al., 2015)

Indicadores (datos a 31 de Diciembre)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Facturación (en millones de Euros)	451.3	488.1	567.6	591.2	475.6	396.8	279.9	238.6	ND
Beneficio antes de impuestos (en millones de Euros)	6.7	8.2	15.4	17.9	12.2	3.1	-7.8	0.5	ND
Empleados con una titulación universitaria	37	42	53	56	48	45	40	38	39
Empleados trabajando en el departamento de innovación	1	3	4	4	4	4	4	3	4
Proyectos de innovación certificados anualmente	0	1	1	6	11	9	8	5	11
Índice de producción en edificación	183	174	146	121	100	81	78	80	ND
Índice de producción en obra civil	150	147	123	145	100	79	67	63	ND

Analizando los datos de la Tabla 2 se observa que los beneficios de la empresa se triplicaron de 2006 a 2009, mientras que la facturación se incrementó únicamente un tercio y el sector de la construcción se mantuvo estable, al menos en ingeniería civil. En ese período de tiempo hubo un incremento espectacular de proyectos certificados, así como de personal titulado y de técnicos trabajando en el departamento de innovación. Estos resultados muestran los beneficios de la implementación del sistema de gestión de la innovación en una empresa de tamaño mediano, al menos desde el punto de vista de los proyectos de innovación; obviamente, esto no significa necesariamente que hay una relación directa entre beneficios e innovación, siendo ésta una investigación abierta para el futuro.

En cuanto al período 2010-2014, la facturación y los beneficios decrecieron en la empresa, al tiempo que también lo hizo en el conjunto del sector de la construcción español. No obstante, el departamento de innovación se mantuvo estable durante tres años (2010-2012) a pesar de la crisis, conservando el mismo personal y con una producción aceptable en proyectos de innovación.

Por otra parte, el departamento de innovación de la empresa ha adquirido un gran prestigio entre los empleados de la empresa, dado que incluso en tiempos de crisis ha funcionado a buen ritmo. Por ejemplo, se han desarrollado proyectos que incrementaban la productividad en la obra, tales como la optimización de la fabricación, transporte y aplicación de mezclas asfálticas, o la mejora del proceso de cimbrado y descimbrado de forjados de aparcamientos

subterráneos. Otros proyectos han mejorado los flujos de información: entre las oficinas y las obras utilizando dispositivos móviles, con los suministradores y subcontratistas a través de un sistema informatizado, o con los operarios en obra por medio de un procedimiento inteligente de planificación y control. Por estos motivos, los directivos y gestores de la empresa han detectado que, con el tiempo, la empresa se percibe como innovadora por parte de los clientes, suministradores y subcontratistas. Para los directivos de la empresa la implementación del sistema de gestión de la innovación ha sido un éxito.

6. Lecciones aprendidas

La sistematización de la innovación ayuda a asimilar nuevas ideas y, por lo tanto, a propagar conocimientos novedosos en la empresa. Inicialmente, las principales fuentes de creatividad en la empresa constructora fueron la resolución de los problemas en la obra y las demandas de los clientes, contando siempre con el apoyo de la dirección de la empresa. Sin embargo, una vez implementado el sistema, se han seguido los procesos explicados previamente: vigilancia tecnológica, creatividad, planificación y desarrollo de proyectos, transferencia de tecnología y protección de resultados. En cualquier caso, actualmente la resolución de los problemas en obra sigue siendo la principal motor de la innovación, permitiendo que se cumplan varios objetivos: (1) los inherentes a cada una de las obras; (2) la mejora de los procesos productivos replicables en obras futuras; y (3) el incremento de la puntuación del contratista para próximas licitaciones públicas (en el apartado de innovación).

Durante los nueve años que se ha prolongado la investigación, han sido numerosas las lecciones aprendidas sobre la implantación, desarrollo y evolución de la gestión sistemática de la innovación en las empresas constructoras, destacando las siguientes:

- El establecimiento de un sistema de gestión de la innovación modifica la estructura organizativa de la empresa, aunque sólo sea por la creación de un departamento específico de innovación.
- La existencia previa de un sistema de gestión de la calidad facilita y beneficia la implantación de un sistema de gestión de la innovación.
- La empresa constructora innova principalmente por medio de procesos y sus productos relacionados.
- Las oportunidades de innovación se identifican como resultado de la evaluación de los procesos internos de la empresa, así como de las obras y el entorno.
- La identificación, desarrollo y transferencia de soluciones innovadoras requiere la integración de varias disciplinas:
    - La observación del entorno, incluyendo la vigilancia tecnológica, para detectar oportunidades para innovar, soluciones factibles y socios tecnológicos que añaden valor al proceso innovador.
    - La gestión del conocimiento en la organización de modo que se transfieran los hallazgos a otros proyectos, sean de innovación o de producción.
    - La habilidad para detectar las demandas específicas de los clientes.
- La colaboración con socios tecnológicos y la gestión de equipos multidisciplinares son condiciones necesarias para que se produzca la innovación en las empresas constructoras.
- El principal beneficio de la gestión de la innovación es un incremento de la capacidad técnica.

- Las dos principales barreras a la innovación son la priorización de la producción frente a todo y la infraestimación de la innovación como estrategia competitiva por parte de la alta dirección de la empresa.
- Por medio de la estandarización de la innovación se obtienen diferentes beneficios para la empresa: mejora de la organización, incremento de las capacidades técnicas, beneficio económico, y satisfacción del cliente.
- La implantación de un sistema de gestión de la innovación es una oportunidad para implementar en la empresa un sistema de gestión del conocimiento (Pellicer et al., 2008; Yepes et al., 2015).

7. Conclusiones

Este artículo presenta la implantación, desarrollo y evolución de un modelo de gestión de la innovación en empresas constructoras. Está basado en un estudio de caso de una empresa constructora de tamaño mediano, cuyos resultados han sido contrastados mediante entrevistas con otras empresas también certificadas por la UNE 166002. Adicionalmente, la investigación también ha incluido el análisis de la evolución de la empresa, una vez implantado el sistema.

La mayoría de las empresas generan productos y procesos innovadores; sin embargo, la dificultad principal estriba en llevar a cabo una innovación continua y metódica, alejada de esfuerzos puntuales e ideas felices. La innovación debe ser planificada, organizada, dirigida y controlada, como cualquier otra actividad empresarial.

La innovación en las empresas del sector de la construcción puede dejar de ser un acto espontáneo que aparece en la resolución de un problema concreto, pasando a ser un proceso de gestión susceptible de ser sistematizado y homogeneizado. La normalización de la I+D+i, por tanto, permite acelerar la identificación de las actividades involucradas en la creación de nuevos procesos, productos y servicios en las empresas del sector, y por ende, mejorar su competitividad en los mercados. La sistematización de la innovación no solamente facilita la incorporación de nuevas ideas, sino que también incrementa la capacidad para adquirir, desarrollar y utilizar nuevos conocimientos.

La principal limitación de la presente investigación es la generalización de los resultados obtenidos. El modelo no puede generalizarse todavía, a pesar de la contrastación de los resultados de la implantación mediante entrevistas semi-estructuradas con directivos responsables de la innovación en otras empresas certificadas. Para ello debería llevarse a cabo una validación, por ejemplo mediante una encuesta a un número suficiente de empresas con un grado de madurez suficiente en la gestión sistemática de la innovación. El funcionamiento del modelo en otros países, también es otra línea de investigación iniciada por los autores; se espera poder realizar estudios de caso en países como Chile, Portugal o México.

8. Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada parcialmente por los siguientes organismos y proyectos: Universidad Católica del Maule (proyecto MECESUP-UCM0205), Ministerio de Fomento del Gobierno de España (proyecto 2004-36), Universitat Politècnica de València (contratos UPV-2005-0921 y UPV-2008-0629), y Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España (proyecto BIA2014-56574-R). Los autores están también muy agradecidos a Francisco Vea, Ricardo Lacort y Manuel Civera por toda la ayuda prestada durante el desarrollo de la investigación, así como a los múltiples participantes en las diferentes encuestas, entrevistas, presentaciones, reuniones y seminarios realizados.

9. Referencias

AENOR (2006a). *UNE 166000:2006. Gestión de la I+D+i: Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i*. Madrid: AENOR.

AENOR (2006b). *UNE 166001:2006. Gestión de la I+D+i: Requisitos de un proyecto de I+D+i*. Madrid: AENOR.

AENOR (2006c). *UNE 166002:2006. Gestión de la I+D+i: Requisitos del sistema de gestión de la I+D+i*. Madrid: AENOR.

AENOR (2011). *UNE 166006:2011. Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva*. Madrid: AENOR.

Bertalanffy, L. (1968). *General systems theory*. Nueva York: George Braxiller.

Blayse, A.M., & Manley, K. (2004). Key influences on construction innovation. *Construction Innovation*, 4, 143-154.

Bossink, B.A.G. (2004). Managing drivers of innovation in construction networks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(3), 337-345

Casadesus, M., Karapetrovic, S., & Heras, I. (2011). Synergies in standardized management systems: some empirical evidence. *The TQM Journal*, 23(1), 73-86.

Comisión Europea (2004). *The new SME definition user guide and model declaration*. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities.

Correa, C.L., Yepes, V., & Pellicer, E. (2007). Factores determinantes y propuestas para la gestión de la innovación en las empresas constructoras. *Revista Ingeniería de Construcción*, 22(1), 5-14.

Dulaimi, M. (1995). The challenge of innovation in construction. *Building Research and Information*, 23(2), 106-109.

Dulaimi, M.F., Nepal, M.P., & Park, M.S. (2005). A hierarchical structural model of assessing innovation and project performance. *Construction Management and Economics*, 23(6), 565-577.

Gann, D.M. (1997). Should governments fund construction research?. *Building Research & Information*, 25, 257- 267.

Gann, D.M., & Salter A. (2000). Innovation in project-based, service-enhanced firms: the construction of complex products and systems. *Research Policy*, 29 (7-8), 955-972.

Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., & Schwartzman, S. (1994). *The new production of knowledge: the dynamics of science and research in contemporary societies*. Londres: Sage Publications.

Gobierno de España (2004). Ley 4/2004 de modificación de tasas y de beneficios fiscales *Boletín Oficial del Estado*, 314, 42338- 42355.

Hardie, M.P., Miller, G., Manley, K.J., & McFallan, S. (2005). Experience with the management of technological innovations within the Australian construction industry. *Proceedings of the International Conference on Management of Engineering and Technology*, 244-250.

Marimon, F., & Cristobal, E. (2005). A study on ISO 9000 certification process: Consultant profiles and company behaviour. *Managing Service Quality*, 15(3), 290–305.

Mitropoulos, P., & Tatum, C.B. (2000). Forces driving adaptation of new information technologies. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(5), 340-348.

Nam, C.H., & Tatum, C.B. (1992). Strategies for technology push: Lessons from construction innovations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 118, 507-524.

Nam, C.H., & Tatum, C.B. (1997). Leaders and champions for construction innovation. *Construction Management and Economics*, 15(3), 259-270.

Oviedo-Haito, R.J., Jiménez, J., Cardoso, F.F., & Pellicer, E. Survival factors for subcontractors in economic downturns, *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(3), 04013056-1/10.

Parikh, M. (2001). Knowledge management framework for high-tech research and development. *Engineering Management Journal*, 13(3), 27-33.

Park, M.S., Nepal, M.P., & Dulaimi, M.F. (2004). Dynamic modelling for construction innovation. *Journal of Management in Engineering*, 20(4), 171-177.

Pellicer, E., Correa, C.L., Yepes, V., & Alarcón, L.F. (2012). Organizational improvement through standardization of the innovation process in construction firms. *Engineering Management Journal*, 24(2), 23-36.

Pellicer, E., Yepes, V., & Rojas, R.J. (2010). Innovation and competitiveness in construction companies: A case study. *Journal of Management Research*, 10(2), 103-115.

Pellicer, E., Yepes, V., Correa, C.L., & Alarcón, L.F. (2014). A model for systematic innovation in construction companies. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(4), B4014001-1/8.

Pellicer, E., Yepes, V., Correa, C.L., & Martínez-Montes, G. (2008). Enhancing R&D&i through standardization and certification: the case of the Spanish construction industry. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(2), 112-121.

Prajogo, D.I., & Sohal, A.S. (2006). The integration of TQM and technology / R&D management in determining quality and innovation performance. *Omega*, 34(3), 296-312.

Pries, F., Janszen, F. (1995). Innovation in the construction industry: The dominant role of the environment. *Construction Management and Economics*, 13(1), 43-51.

Santos-Vijande, M.L., & Alvarez-Gonzalez, L.I. (2007). Innovativeness and organizational innovation in total quality oriented firms: The moderating role of market turbulence. *Technovation*, 27(9), 514-532.

Seaden, G., & Manseau, A. (2001). Public policy and construction innovation. *Building Research and Information*, 29(3), 182-196.

Seaden, G., Guolla, M., Doutriaux, J., & Nash, J. (2003). Strategic decisions and innovation in construction firms. *Construction Management and Economics*, 21(6), 603-612.

SEOPAN (2014). *Informe Económico 2013*. Madrid: ANCOP.

Sexton, M., & Barrett, P. (2003). A literature synthesis of innovation in small construction firms: insights, ambiguities and questions. *Construction Management and Economics*, 21(6), 613-622.

Slaughter, S. (1993). Innovation and learning during implementation: A comparison of user and manufacturer innovations. *Research Policy*, 22 (1), 81-95.

Slaughter, S. (2000). Implementation of construction innovations. *Building Research and Information*, 28(1), 2–17.

Stewart, I., & Fenn, P. (2006). Strategy: the motivation for innovation. *Construction Innovation*, 6, 173-185.

Tatum, C.B. (1987). Process of innovation in construction firms. *Journal of Construction Engineering and Management*, 113(4), 648-663.

Tidd, J., Bessant, J., & Pavitt, K. (1997). *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change*. Chichester (Reino Unido): Wiley.

Torres-Machí, C., Carrión, A., Yepes, V., & Pellicer, E. (2013). Employability of graduate students in construction management. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 139(2), 163-170.

Van de Ven, A.H., & Poole, M.S. (2005). Alternative approaches for studying organizational change. *Organization Studies*, 26(9), 1377-1404.

Vea, F.J., Pérez, J., Pellicer, E., & Yepes, V. (2010). Sistema de control dimensional y de replanteo de alta precisión de elementos prefabricados singulares. *Revista de la Construcción*, 9(2), 116-125.

Wagner, S.M. (2003). Intensity and managerial scope of supplier integration. *Journal of Supply Chain Management*, 39(4), 4-15.

Winch, G.M. (1998). Zephyrs of creative destruction: understanding the management of innovation in construction. *Building Research and Information*, 26(5), 268-279.

Yepes, V., Pellicer, E., Alarcón, L.F., & Correa, C.L. (2015). Creative innovation in Spanish construction firms. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 141, en imprenta, DOI 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000251.

Yin, R. (2003). *Case study research: Design and methods* (3ª Ed.). Londres: Sage Publications.

02-026

NEW MANAGEMENT APPROACHES IN THE SPANISH BUILDING SUB-SECTOR: PERCEPTION OF PROFESSIONALS

Bisbal, Pedro Juan [1]; Pellicer, Eugenio [1]; Cerveró, Fernando [1]; Ballesteros-Pérez, Pablo [2] [1] Universitat Politècnica de València, [2] Universidad de Talca

The construction sector, in general, and the building sub-sector, in particular, have been classified as non-innovative and too traditional. In other sectors related to the manufacturing industry, at the end of last century, innovative concepts emerged such as quality assurance, lean production, critical chain, earned value, value stream mapping, etc. Furthermore, in Anglo-Saxon countries, new techniques and methods have been appearing and developing, such as last planner system, building information modeling or integrated project delivery, specifically designed for construction. Considering this scenario, this paper presents an exploratory research on the current knowledge and the future training expectations of professionals working in the Spanish building sub-sector regarding these innovative approaches. This research is based on a survey of more than four hundred technical architects throughout Spain. From the analysis of the results new practical recommendations are proposed on training in these novel approaches aiming to improve competitiveness and productivity in the Spanish building sub-sector.

Keywords: *Building; Management; Methods; Professionals; Techniques;*

NUEVOS ENFOQUES DE GESTIÓN EN EL SUB-SECTOR DE EDIFICACIÓN ESPAÑOL: PERCEPCIÓN DE LOS PROFESIONALES

El sector de la construcción, en general, y el sub-sector de la edificación, en particular, han sido calificados como poco innovadores y excesivamente tradicionales. En otros sectores relacionados con la industria manufacturera, a finales del siglo pasado, surgieron conceptos innovadores como el aseguramiento de la calidad, la producción “lean”, la cadena crítica, el valor ganado, el “value stream mapping”, etc. Además, en los países anglosajones también han ido apareciendo y desarrollándose nuevas herramientas y métodos de trabajo como el “last planner system”, el “building information modeling” o el integrated project delivery”, específicamente pensados para la construcción. Considerando este contexto, el presente artículo presenta una investigación exploratoria sobre el conocimiento actual y las expectativas de formación futura que tienen los profesionales del sub-sector de la edificación español respecto a estos enfoques innovadores. Esta investigación se basa en una encuesta realizada a más de cuatrocientos arquitectos técnicos de toda España. A partir del análisis de los resultados se proponen recomendaciones prácticas sobre formación en estos novedosos enfoques con la finalidad de mejorar la competitividad y productividad en el sub-sector de la edificación español.

Palabras clave: *Edificación; Gestión, Métodos; Profesionales; Técnicas*

Correspondencia: Eugenio Pellicer pellicer@upv.es

1. Introducción

El sector de la construcción ha ido ganando en complejidad con el paso del tiempo, sobre todo desde el punto de vista de la gestión (Christodoulou, 2004). Antiguamente los gestores eran artesanos sin educación universitaria y, más recientemente, fueron ingenieros que adquirían los conocimientos necesarios en la misma obra (Arditi & Polat, 2010). No obstante, la magnitud y dificultad de las obras se ha incrementado notablemente, lo que ha conllevado también la demanda de mayores conocimientos y habilidades para llevar a cabo la gestión de las mismas (Gann, 2000).

Son muchos los autores que han destacado que los gestores de hoy en día necesitan conocimientos y habilidades específicas en planificación, contabilidad de costes, finanzas, recursos humanos, contratación, evaluación económica y ambiental, o habilidades directivas, entre otras (Edum-Fotwe & McCaffer, 2000; Christodoulou, 2004; Galloway, 2007; Alarcón & Pellicer, 2009; Arditi & Polat, 2010; Yepes et al., 2012; Pellicer et al., 2013). Por lo tanto, los gestores de proyectos no son demandados únicamente por sus habilidades técnicas, sino también por sus habilidades gestoras y administrativas en todo el ciclo de vida de la infraestructura (Tatum, 1987; Russell & Yao, 1996; Abbudayyeh et al., 2000, Chinowsky, 2002; Trejo et al., 2003; Milosevic et al., 2007). Esta preocupación, a nivel mundial, también es extensible a España (Pellicer et al., 2009).

Este escenario se agrava todavía más si tenemos en cuenta que, ya a finales del siglo pasado, Koskela (1992) indicó que la construcción debía incorporar las nuevas técnicas y herramientas de gestión que tantas mejoras habían aportado a la industria manufacturera, adoptando “la nueva filosofía de producción”. Posteriormente esta propuesta recibió el nombre de *Lean Construction* por adaptación del término *Lean Production* del *Toyota Production System* (Alarcón, 1997); en este punto conviene clarificar que no todas las nuevas técnicas y herramientas aplicables a la construcción forman parte de la filosofía *Lean*. Alarcón y Pellicer (2009) publicaron en español las principales aportaciones de la filosofía *Lean Construction* en un intento de difundir estas nuevas técnicas y herramientas en el sector de la construcción. Todo esto dio lugar, dos años después en la *Universitat Politècnica de València*, a la formación del *Spanish Group for Lean Construction* y a la creación de dos asignaturas específicas sobre *Lean Construction* por primera vez en España (Pellicer et al., 2015). Por otra parte, Salem et al. (2006) han destacado que la implementación de estas nuevas técnicas de gestión ya empieza a producir beneficios, tales como la reducción del coste final o de la duración del proyecto, o una mayor satisfacción entre los intervinientes en el mismo, entre otros. Considerando este contexto como punto de partida, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿son conocidas y aplicadas estas técnicas y herramientas novedosas en el sub-sector de la edificación español?

Por lo tanto, el objetivo de la investigación es determinar el grado de conocimiento y la aplicación de las nuevas técnicas y herramientas de gestión en el sub-sector de la edificación español. La investigación lleva a cabo una encuesta dirigida a arquitectos técnicos españoles. Con los datos obtenidos se realiza un análisis estadístico con el fin de obtener conclusiones. Puede adelantarse que la docencia que se imparte en las escuelas es escasa o nula en relación con estas nuevas técnicas y herramientas en gestión, a excepción de la *Universitat Politècnica de València* que es la pionera en cuanto a esta formación. La aplicación de alguna de estas técnicas y herramientas es mínima entre los profesionales encuestados y la motivación hacia la formación es elevada entre ellos.

El artículo se organiza del siguiente modo. En primer lugar, se definen las técnicas y herramientas que se van a considerar en la investigación. A continuación se explica la encuesta realizada. En el siguiente epígrafe se exponen los resultados obtenidos y, finalmente, se concluye con las contribuciones más importantes de la investigación.

2. Nuevas técnicas y herramientas

Una vez determinado el problema, se procedió a definir las nuevas técnicas y herramientas de gestión más aplicables al ámbito de la edificación, con la finalidad de poder introducirlas como variables en la encuesta. Las técnicas y herramientas que se eligieron como variables fueron las siguientes: *Building Information Modeling* (BIM), Cadena Crítica (CCh), Último Planificador (LPS), *Integrated Project Delivery* (IPD), Kaizen, Kanban, *Lean Construction* (LeanC), Método del Valor Ganado (EVM), Poka Yoke, Seis Sigma (6-Sigma), *Toyota Production System* (TPS), Mapa de la Cadena de Valor (VSM), 5 Por Qués, y 5's. A continuación se define cada una de ellas.

2.1. *Building Information Modeling* (BIM)

Es un modelo virtual del edificio que permite generar e intercambiar información de manera eficiente, creando representaciones digitales de todas las fases del ciclo de vida de la infraestructura, y simulando el rendimiento en la vida real (Azhar et al., 2012). Permite visualizar lo que se va a construir en un entorno simulado para identificar cualquier diseño potencial, detalle constructivo, o cuestiones relacionadas con la conservación y explotación del edificio, permitiendo hacer un seguimiento de todos los elementos que lo componen. Posteriormente se puede generar información correspondiente al edificio, como pueden ser cantidades de materiales para realizar pedidos o solicitar precios, secuencias de actividades para obtener la programación del proyecto, etc. (Azhar et al., 2012).

2.2. Cadena Crítica (CCh)

Es una alternativa al método del camino crítico (CPM), cuando los recursos son limitados. Un mismo recurso disponible puede ser requerido por diferentes tareas de un proyecto, por lo que no podrán realizarse simultáneamente; esto condiciona la asignación de tareas y las holguras del proyecto (Iglesias Sánchez, 2005). Esta teoría elimina las holguras por actividades, concentrándolas en una holgura global para todo el proyecto y, además, introduce las holguras de alimentación en las rutas que no son críticas; para determinar el avance del proyecto. Utiliza la gestión de las holguras en lugar de la gestión del camino crítico que realiza el CPM. Está basada en la teoría de las restricciones propuesta por Goldratt (Goldratt & Cox, 1984), plasmada después para la gestión de proyectos en el libro Cadena Crítica (Goldratt, 1997).

2.3. El Último Planificador (LPS)

El último planificador (*Last Planner System*) es un sistema de planificación y control en cascada a nivel de obra enmarcado dentro de la filosofía *Lean Construction*. El principal propósito de la técnica es la reducción de la variabilidad aplicando tres principios básicos (Rodríguez et al., 2011): (1) coordinación de los últimos planificadores (aquellos que deciden en obra) por medios de reuniones periódicas; (2) compromiso de esos últimos planificadores; y (3) visibilidad pública de los resultados obtenidos semanalmente. El control está basado, entre otros, en el indicador de porcentaje de plan finalizado (PPC). Ballard y Howell (1998) recomiendan la aplicación del sistema del último planificador por medio de tres niveles. Se empieza con una reunión *Pull Sesion* en un espacio habilitado, con todo el equipo de trabajo presente en el que se realiza una planificación del proyecto “aguas arriba”. Esta programación inicial se denomina Plan Maestro. Una vez realizado el plan de trabajo organizado por fases, seguidamente se realizan planificaciones intermedias *Look-Ahead* (seis semanas antes de realizar la actividad/fase). Además se realizan reuniones semanales con el fin de definir el trabajo a realizar en la semana siguiente.

2.4. *Integrated Project Delivery* (IPD)

Es una estrategia de contratación que combina la fase de diseño y construcción mediante un único contrato -denominado relacional (Macneil, 1980)- que vincula al promotor, al constructor y proyectista (Ghassemi & Becerik-Gerber, 2011). Su objetivo es optimizar las fases de diseño y construcción. Según Kent y Becerik-Gerber (2010) hay una serie de principios básicos que deben estar en un contrato IPD para ser considerado como tal: (1) acuerdo entre múltiples partes (normalmente promotor, constructor y proyectista); (2) implicación temprana en el proceso (en la fase de diseño); y (3) riesgos y recompensas compartidos. Ghassemi y Becerik-Gerber (2011) añadieron tres características adicionales: (4) toma de decisiones colaborativa; (5) exenciones de responsabilidad entre los participantes; y (6) planificación desarrollada conjuntamente.

2.5. *Kaizen*

Según Jones y Womack (1996), la expresión *Kaizen* significa la acción del cambio y el mejora continua, gradual y ordenada para crear más valor con menos desperdicio. Se caracteriza por desarrollar una cultura y dar participación a todos los trabajadores, desde la alta gerencia hasta el personal de servicio. Este método fue desarrollado por los japoneses y significa mejora continua. *Kaizen* retoma las técnicas del Control de Calidad diseñadas por Edwards Deming. Basándose en la mejora continua, se involucra en la gestión y el desarrollo de los procesos, enfatizando las necesidades de los clientes para reconocer y reducir los desperdicios y maximizar el tiempo. Con el *Kaizen* se interrelacionan métodos y herramientas como: control total de calidad, *Kanban*, mejora de la calidad, *Just in Time*, cero defectos, desarrollo de nuevos productos, mejora en la productividad, entre otros (Vineet, 2011).

2.6. *Kanban*

Es un sistema de información que permite controlar la fabricación de los productos y que se basa en el sistema *Just in Time*. Según Jones y Womack (1996), se trata de “tarjeta situada en las cajas de piezas que regula la demanda interna en el sistema de producción de Toyota, al indicar la producción y entregas que hay que realizar aguas arriba”. Este sistema nos permite conocer el material disponible, además de saber cuándo hay que reponerlo gracias a las tarjetas que actúan como testigo (Sacks et al., 2009). Otra de las aplicaciones del Kanban es la visualización del flujo: se distribuye el proceso por fases sobre un panel en que se observan los requisitos que se deben cumplir para poder pasar a la siguiente fase.

2.7. *Lean Construction* (LeanC)

Este concepto basado en el *Lean Manufacturing* y el *Toyota Production System* (Alarcón y Pellicer, 2009); abarca diferentes técnicas y herramientas que integran a los agentes intervinientes en todo el ciclo de vida del proyecto, con la finalidad de añadir valor en todo su proceso y eliminar todas las pérdidas posibles. Entre sus objetivos se pretende generar valor para el cliente, dando mucha importancia a la calidad, reducción de tiempos y costes, administración óptima de los recursos e incremento de la productividad, generando las menores pérdidas posibles, produciendo, de esta manera, una gestión integral del proyecto. Según Koskela (1992), los principios de *Lean Construction* son: (a) reducir o eliminar las actividades que no agregan valor (“pérdidas”); (b) considerar sistemáticamente los requerimientos del cliente; (c) reducir la variabilidad; (d) reducir el tiempo del ciclo; (e) simplificar procesos; (f) incrementar la flexibilidad de la producción; (g) incrementar la transparencia de los procesos; (h) mejorar continuamente el flujo; e (i) referenciar con las organizaciones líderes (“benchmarking”).

2.8. Método del Valor Ganado (EVM)

Es un sistema formalizado para la planificación y control de proyectos que permite conocer la situación en cada momento y tomar decisiones respecto al tiempo y el coste simultáneamente (PMI, 2013). EVM trata de integrar bajo un mismo modelo, la gestión del plazo y del coste, indicándonos, en unidades monetarias, el posible retraso o adelanto de las operaciones, así como el infra o sobre coste de un proyecto (Pajares-Gutiérrez & López Paredes, 2007). EVM introduce el indicador EV (*Earned Value*, o valor ganado), que mide el trabajo realmente desarrollado durante la ejecución del proyecto en términos del presupuesto planificado para ese trabajo (PMI, 2013). La relación de EV con los indicadores clásicos de costes planificados y costes reales, da lugar a un conjunto de métricas que permite controlar el coste y el avance del proyecto (PMI, 2013).

2.9. *Poka-Yoke*

Su significado en español es “a prueba de errores”. Es una herramienta japonesa que diseña los procesos con la finalidad de eliminar o evitar equivocaciones sobre todo en actividades repetitivas (Hernández-Matías & Vizán-Idoipe, 2013). De este modo, el operario puede centrarse en las operaciones que añadan más valor, en lugar de dedicar su esfuerzo a comprobaciones para la prevención de errores o a la subsanación de los mismos. Implantar un *Poka-Yoke* supone mejorar la calidad en su origen, actuando sobre la fuente del defecto, en lugar de tener que realizar correcciones, reparaciones y controles de calidad posteriores. Se caracterizan por ser soluciones simples de implantar y muy económicas (Jones & Womack, 1996).

2.10. Seis Sigma (6-Sigma)

Es una herramienta de gestión y control de la calidad, desarrollada por Motorola que permite un aumento notable de simplificación de procesos, mejora de la calidad y eliminación de errores; sus máximas pretensiones son mejorar la satisfacción del cliente, reducir el tiempo del ciclo y reducir los defectos (Schön et al., 2010). El éxito de esta metodología no son los instrumentos que lo fundamentan, si no la infraestructura humana y su formación. No está planteado como un proceso de mejora continua, ya que los proyectos Seis Sigma deben tener una duración limitada en el tiempo.

2.11. *Toyota Production System* (TPS)

Es el sistema de producción automovilística de Toyota. Sus principios componen un sistema integrado de producción y gestión, han sido probados durante la aplicación del día a día a lo largo de muchos años y se aplicaron en las fábricas automovilísticas para posteriormente extenderse a otros ámbitos (Womack & Jones, 1996). TPS busca tres resultados fundamentales (Sugimori et al., 2007): (a) proporcionar al cliente la mejor calidad en los vehículos, al menor coste posible y en el plazo de entrega más reducido; (b) proporcionar a los miembros satisfacción en el trabajo, seguridad en el empleo y el trato justo; y (c) dar la flexibilidad para responder al mercado, obtener beneficio a través de las actividades de reducción de costes y la prosperidad a largo plazo. TPS se esfuerza por lograr la eliminación total de las tres “M”: *Muri* (operaciones ergonómicas o sobrecargas de trabajo), *Muda* (desperdicios) y *Mura* (operaciones irregulares), (Hernández Matías & Vizán Idoipe, 2013); en todas las áreas para que los miembros puedan trabajar sin problemas y eficientemente. Uno de sus principales sistemas es el *Just in Time*, que consiste en la entrega justa de material en el momento necesario para completar un proceso minimizando el stock de productos; este permite el aumento de la productividad, además de reducir las pérdidas en el almacenaje ya que se produce sobre pedidos reales eliminando los desperdicios.

2.12. Mapa de la Cadena de Valor (VSM)

Cadena de valor es el flujo de materiales e información necesario para entregar un producto o un servicio a un cliente (Womack & Jones, 1996). Un mapa de la cadena de valor (*Value Stream Map*) es una representación gráfica de todos los pasos necesarios del proceso para producir un producto o servicio; también incluye el flujo de información correspondiente (Sayer & Williams, 2007). Representa todos los pasos que se realizan (o se prevén) y resalta cualquier ineficiencia en la cadena de valor. Un mapa de la cadena de valor dibuja la ruta desde la entrada de las materias primas hasta la entrega de los productos o servicios terminados al cliente. Este cliente no es necesariamente el consumidor que compra o consume el producto o servicio final, sino que puede ser otra empresa o incluso otro departamento dentro de su propia organización. A continuación, se identifica el mapa de la cadena de valor ideal, es decir una visión del proceso en un mundo perfecto donde todos los pasos sólo agregan valor (Sayer & Williams, 2007). El mapa de la cadena de valor, combinado con el *Kaizen* (mejora continua), es el núcleo central de la filosofía *Lean*.

2.13. 5 Por Qués

Es una técnica sistemática de preguntas para el análisis de problemas con el fin de buscar sus causas principales. Se trata de ir preguntándose "¿por qué?" hasta encontrar la solución, que no siempre se encuentra en 5 preguntas. Esta técnica nos permite la resolución de problemas y el conocimiento de las posibles causas, y con ello la eliminación del desperdicio (Zidel, 2006).

2.14. 5 Eses (5's)

Es una herramienta de gestión para la práctica de la calidad, definida en cinco etapas o principios simples. La inició Toyota con la finalidad de disponer lugares de trabajos mejor organizados, más ordenados y más limpios de forma permanente para lograr una mayor productividad y un mejor entorno laboral. Las 5 Eses (5's) son las siguientes (Hernández-Matías & Vizán-Idoipe, 2013):

1. *Seiri* = Clasificación: Eliminar del espacio de trabajo lo que sea inútil.
2. *Seiton* = Orden: Organizar el espacio de trabajo de forma eficaz.
3. *Seiso* = Limpieza: Suprimir suciedad y mejorar el nivel de limpieza en los lugares.
4. *Seiketsu* = Estandarización: Señalar anomalías y prevenir la aparición de la suciedad y el desorden.
5. *Shitsuke* = Mantener la disciplina: Seguir mejorando y fomentar los esfuerzos en este sentido.

3. Diseño de la encuesta

La encuesta tiene pretende averiguar tres aspectos relacionados con las técnicas o herramientas referidas en el epígrafe anterior entre los arquitectos técnicos españoles: (1) conocimiento de la técnica/herramienta; (2) aplicación de la técnica/herramienta; y (3) motivación para ampliar conocimientos en esa técnica o herramienta.

El primer paso es identificar y definir las variables a tener en cuenta en la encuesta; esto se ha expuesto en el epígrafe anterior. No obstante, se han introducido técnicas o herramientas adicionales, ampliamente conocidas por los profesionales, con la finalidad de que sirvan de contraste, por una parte, y que el encuestado no deje la encuesta en blanco. Estos términos

adicionales son: ISO 9001, Garantía de Calidad (GarC), *Just in Time* (JIT), PERT/CPM, y PMBoK. El cuestionario se divide en tres partes:

1. Breve explicación de la investigación.
2. Caracterización del encuestado: sexo, edad, organización, situación actual, titulación que posee y universidad de procedencia.
3. Preguntas de la investigación: tres preguntas relacionadas con los conceptos abordados en el apartado anterior con el fin de determinar el conocimiento sobre las técnicas expuestas, si se han aplicado en algún momento y si están interesados en formarse. La escala de medida utilizada es categórica nominal, ya que el tipo de preguntas incluyen tres o más categorías que no pueden ordenarse (Hernández Sampieri et al., 2010).

La encuesta se elabora con un formato *on-line*, mediante la aplicación Formularios de Google, generándose un *link* para su posterior envío por correo electrónico o para su publicación en las redes sociales o diferentes soportes informáticos. Se trata de una encuesta relativamente sencilla y que se puede contestar fácilmente sin sobrepasar los diez minutos. En el momento de su diseño se eligió este modelo por las ventajas que podría aportar pudiendo obtener un mayor número de respuestas, evitando describir cada una de las técnicas o herramientas ya que esto podría aumentar el tiempo de dedicación a la misma.

Se realizó una prueba piloto a unos 40 profesionales del sector (no sólo arquitectos técnicos). Una vez ajustada y subsanadas las deficiencias habituales en este tipo de investigaciones, se procedió a la difusión de la misma.

En cuanto al tipo de muestreo, en una primera fase es aleatorio o probabilístico: grupos de arquitectos técnicos por medios de las redes sociales *Facebook* y *LinkedIn*, plataformas de jóvenes egresados, universidades y los colegios profesionales de arquitectos técnicos e ingenieros de edificación. La segunda parte es un muestreo no probabilístico, de conveniencia o de “bola de nieve”, no siendo aleatorio porque se realiza el envío a otros profesionales que se conocía previamente y estos al mismo tiempo lo han hecho llegar a conocidos suyos del mismo sector.

La población objeto de encuesta está compuesta por todos los profesionales que sean arquitectos técnicos (ingenieros de edificación o similar), tanto hombres como mujeres, bien sean colegiados o no. A fecha del 8 de octubre de 2014, el número total de colegiados era de 51.462, de los cuales 40.757 son hombres y 10.705 mujeres. Se supone que la población es infinita, a efectos de representatividad estadística. Por ello, el tamaño de la muestra necesario para que sea considerada como estadísticamente significativa es (Field, 2009):

$$n = N / [1+ e^2(N-1) / z^2pq]$$

Suponiendo un margen de error del 5% y un nivel de confianza del 95% (p=q=0,5; z=1,96), siendo n el tamaño de la muestra y N el tamaño de la población, entonces la muestra mínima es de 384 profesionales.

El número de respuestas obtenidas en esta investigación ha sido de 472. La muestra obtenida es estadísticamente representativa con un margen de error del 5% y un nivel de confianza del 95%.

4. Análisis de resultados

Una vez obtenidos los datos se procede a su depuración y posterior análisis. La escala de medida utilizada en las preguntas es categórica nominal, ya que el tipo de preguntas incluyen tres o más categorías que no pueden ordenarse (Hernández Sampieri et al., 2010). Es por ello que los datos se analizarán mediante:

- Tablas de frecuencia: Sirven para ordenar y organizar los datos estadísticos de acuerdo con el número de veces que aparece el valor de la variable.
- Tablas de contingencia: Permiten registrar y analizar la relación entre conjuntos de dos o más variables, mediante los valores absolutos de respuesta.
- Test Chi-Cuadrado (χ^2): Es una prueba estadística que permite comprobar la relación entre las variables y determinar si existe asociación entre ellas (Ha: Hipótesis alterna), o por lo contrario son independientes (Ho: Hipótesis nula). Se considerará que existe asociación cuando las frecuencias esperadas sean superiores o iguales a 5 y cuando el grado de significancia ("p valor") sea inferior a 0.05 (intervalo de confianza del 95%) descartando de esta forma la hipótesis nula (Field, 2009).

De la muestra final de 472 encuestados, 340 eran hombres, 122 mujeres y 10 no indicaron a qué sexo pertenecían. La muestra obtenida ha sido bastante dispersa entre los rangos de edad. De todos los participantes, el tipo de organización o actividad actual más popular es la de Ejercicio Libre ocupando casi el 50% del total de las respuestas. Del total de la muestra, un 81% estaban colegiados y un 19% no lo estaban. Sin embargo, sólo un tercio del total disponía de estudios de máster. Prácticamente se ha obtenido representación en casi todas las universidades que imparten docencia en esta titulación.

En la Tabla 1 se puede observar el número de profesionales que conoce cada una de las técnicas y herramienta por rangos de edad.

Tabla 1. Conocimiento de cada concepto: Distribución de participantes por edades

	LeanC	LPS	JIT	Kaizen	Kanban	IPD	ISO 9001	BIM	CCh	VSM	TPS	GarC	PMBok	6-Sigma	5's	PERT/CPM	Poka Yoke	5 Por Qué	EVM
<25 años	32	8	22	6	5	10	42	36	22	9	12	31	11	10	10	38	7	11	24
25 - 30 años	26	11	23	8	8	13	75	50	30	9	12	40	19	17	12	51	11	12	22
31 - 35 años	13	1	14	5	2	4	54	34	17	3	4	32	8	7	3	35	4	2	11
36 - 40 años	20	9	15	5	3	10	75	38	28	4	9	47	11	6	7	41	4	6	7
41 - 45 años	14	4	14	5	4	8	54	29	25	4	7	31	13	5	5	33	4	2	11
46 - 55 años	8	6	11	3	1	5	60	25	20	4	7	38	5	3	3	40	0	1	8
>55 años	5	4	9	1	1	4	35	9	10	1	4	26	3	2	0	28	0	0	5
Total	**118**	**43**	**108**	**33**	**24**	**54**	**395**	**221**	**152**	**34**	**55**	**245**	**70**	**50**	**40**	**266**	**30**	**34**	**88**

En la Tabla 2 se muestra la aplicación de las técnicas y herramientas más novedosas, también por rangos de edad. Los términos más novedosos han sido más aplicados por los profesionales que han terminado la formación universitaria en los últimos años; en los conceptos más tradicionales cambia el resultado, siendo en este caso los veteranos en el sector los que más lo han aplicado.

Tabla 2. Aplicación de cada concepto: Distribución de participantes por edades

	LeanC	LPS	JIT	Kaizen	Kanban	IPD	ISO 9001	BIM	CCh	VSM	TPS	GarC	PMBok	6-Sigma	5's	PERT/CPM	Poka Yoke	5 Por Qué	EVM
<25 años	9	3	7	2	3	2	14	8	7	1	3	7	5	1	2	15	2	4	10
25 - 30 años	7		1	1		1	22	17	8	3		12	3	1	1	19		1	6
31 - 35 años	2		2	1			22	5	4			6	2			10		1	2
36 - 40 años	3	1	2			1	40	11	12		2	13	5		2	17		2	3
41 - 45 años	1		4			2	29	12	8			5	6		1	16			4
46 - 55 años	1	3	4			1	28	7	9		1	16	3		1	25		1	2
>55 años	1	1	1				18	5	5		1	13	2			20			4
Total	**24**	**8**	**21**	**4**	**3**	**7**	**173**	**65**	**53**	**4**	**7**	**72**	**26**	**2**	**7**	**122**	**2**	**9**	**31**

Por último, interesa conocer la motivación para la formación futura de los profesionales. Los resultados se muestran en la Tabla 3. Los conceptos *Lean Construction* y BIM son las más demandadas, seguidas por el Último Planificador, *Just in Time*, *Integrated Project Delivery* e ISO 9001 entre todas las demás.

Tabla 3. Formación futura: Distribución de participantes por edades

	LeanC	LPS	JIT	Kaizen	Kanban	IPD	ISO 9001	BIM	CCh	VSM	TPS	GarC	PMBok	6-Sigma	5's	PERT/CPM	Poka Yoke	5 Por Qué	EVM
<25 años	26	16	15	8	7	14	16	25	9	7	10	9	10	8	7	7	6	9	10
25 - 30 años	38	16	16	11	10	20	22	10	12	14	11	16	11	12	10	12	9	10	13
31 - 35 años	15	10	12	6	6	11	10	39	8	7	6	8	8	7	6	5	5	8	12
36 - 40 años	21	10	8	3	2	15	10	23	4	5	2	7	8	3	5	5	3	3	5
41 - 45 años	16	8	5	5	4	13	8	30	6	5	5	4	9	5	5	8	5	6	7
46 - 55 años	14	10	11	7	7	10	10	27	7	5	5	11	9	7	6	6	5	5	11
>55 años	3	3	3	1		1	3	19	1	1	1	1				6			2
Total	**133**	**73**	**70**	**41**	**36**	**84**	**79**	**173**	**47**	**44**	**40**	**56**	**55**	**42**	**39**	**49**	**33**	**41**	**60**

La prueba Chi-Cuadrado se ha aplicado a las cuatro preguntas de la encuesta con las variables de sexo, si habían cursado máster, tipo de máster, tipo de organización, edad y si estaban colegiados o no. En cuanto a la pregunta 1 encontramos un patrón común entre la variable de si han estudiado máster o no ya que existe relación en todos los conceptos; además la variable de si están colegiados o no también encuentra relación en casi todas las variables. En el caso de la edad encontramos relación con los conceptos más novedosos. Con los resultados obtenidos se determina que el tipo de máster estudiado influencia notablemente la relación entre variables, al igual que ocurre en el tipo de organización o actividad a la que se dedican actualmente. Los resultados se incluyen en la Tabla 4. El mismo procedimiento se aplica a las otras dos preguntas.

5. Conclusiones

A finales del siglo pasado dentro de la industria manufacturera surgieron conceptos innovadores como: el aseguramiento de la calidad, la producción *Lean*, la Cadena Crítica, el Valor Ganado, el *Value Stream Mapping*, entre otros, que aportaron grandes avances y beneficios en cada proceso que se aplicaban. El sub-sector de la edificación, inicialmente en los países anglosajones, también ha introducido y desarrollado nuevas técnicas, herramientas y métodos de trabajo como con el *Last Planner System*, el *Building Information Modeling*, o el *Integrated Project Delivey* que fueron pensados de una forma más específica para la construcción.

La presente investigación ha sacado a la luz las técnicas y herramientas de gestión con el fin de realizar una encuesta y detectar el grado de conocimiento, la aplicación y la

motivación por la formación de los profesionales del sub-sector de la edificación. Se encuestaron 472 profesionales (arquitectos técnicos), por lo que la muestra es estadísticamente significativa para un error del 5% y un nivel de confianza del 95%.

Tabla 4. Conocimiento de cada concepto: Prueba Chi-Cuadrado

	Sexo		Edad		Máster		Tipo Máster		¿Colegiado?		Activ Actual	
	F≥5	<0,05	F≥5	<0,05	F≥5	<0,05	F≥5	<0,05	F≥5	<0,05	F≥5	<0,05
Lean Construction	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
El último planificador	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
Just in Time	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
Kaizen	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
Kanban	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO
IPD	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
ISO 9001	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	Ho	NO	NO
BIM	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
Cadena Crítica	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	Ho	NO	SI
VSM	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
TPS	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
Garantía de Calidad	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	Ho	NO	NO
PMBook	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
Seis Sigma	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
5's	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
PERT/CPM	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	Ho	NO	NO
Poka Yoke	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
5 Por Qué	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
EVM	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO

Los resultados muestran que la gran mayoría de los encuestados desconocen estos conceptos. Los más conocidos son *Lean Construction*, *Just in Time*, ISO 9001, *Building Information Modeling*, y Garantía de Calidad, siendo los profesionales egresados de la *Universitat Politècnica de València* los que mayor conocimiento tienen de ellos. Al mismo tiempo se comprueba la gran mayoría de los conceptos son conocidos más por parte de los profesionales más jóvenes, ya que últimamente se están introduciendo en la docencia en algunas universidades. Otros sin embargo tienen un reparto más equilibrado entre los rangos de edades.

En cuanto a la aplicación de alguno de los conceptos, son los más tradicionales los que se han aplicado con más asiduidad por parte de los profesionales como son: PERT/CPM, Garantía de Calidad y la ISO 9901. No obstante llama la atención que los conceptos de *Building Information Modeling*, Cadena Crtítica, *Lean Construction* y *Just in Time*, hayan sido aplicado al menos por un mínimo de 30 profesionales (del total de la muestra) dependiendo del concepto.

Finalmente los profesionales indican una ligera preferencia en la formación de los siguientes conceptos: *Building Information Modeling*, *Lean Construction*, *Just in Time*, Último Planificador, *Integrated Project Delivery* e ISO 9001, sobre las otros conceptos. Estos resultados confirman el interés por aquellos conceptos que están pensados de forma más específica para el sector de la construcción.

6. Agradecimientos

Los autores están muy agradecidos a todos los participantes en la encuesta, así como a aquellas personas que han facilitado su distribución.

7. Referencias

Abudayyeh, O., Russell, J., Johnston, D. & Rowings, J. (2000). Construction engineering and management undergraduate education. *Journal of Construction Engineering and Management*, 126(3), 169-175.

Alarcón, L.F. (1997). *Lean construction*. Rotterdam: Balkema.

Alarcón, L.F., & Pellicer, E. (2009). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin perdidas. *Revista de Obras Públicas*, 3496, 45-52.

Arditi, D., & Polat, G. (2010). Graduate education in construction management. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 136(3), 175-179.

Azhar, S., Khalfan, M. & Maqsood, T. (2012). Building information modeling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 4(12), 15-28.

Ballard, H.G., & Howell, G. (1998). Shielding production: An essential step in production control. *Journal of Construction Engineering in Management*, 124(1), 18-24

Chinowsky, P. (2002). Integrating management breadth in civil engineering education. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 128(3), 138-143.

Christodoulou, S. (2004). Educating civil engineering professionals of tomorrow. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 130(2), 90-94.

Edum-Fotwe F.T., & McCaffer R. (2000). Developing project management competency: perspectives from the construction industry. *International Journal of Project Management*, 18, 111-124.

Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3ª ed.). Londres: SAGE.

Galloway, P.D. (2007). *The 21st century engineer: a proposal for engineering education reform*. Reston (VA): American Society of Civil Engineers.

Gann, D.M. (2000). *Building innovation: complex constructs in a changing world*. Londres: Thomas Telford.

Ghassemi, R., & Becerik-Gerber, B. (2011). Transitioning to integrated project delivery: Potential barriers and lessons learned. *Lean Construction Journal*, 32-52.

Goldratt, E.M. (1997). *Critical chain*. Great Barrington (MA): North River Press

Goldratt, E.M., & Cox, J. (1992). *The goal: a process of ongoing improvement*. Great Barrington (MA): North River Press.

Hernández Matías, J.C. & Vizán Idoipe, A. (2013). *Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación*. Madrid: Fundación EOI.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, M. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill.

Iglesias Sánchez, J.L. (2005). La programación de los proyectos y la cadena crítica de un proyecto. *Partida Doble*, XV(168), 88-103.

Kent, D. C., & Becerik-Gerber, B. (2010). Understanding construction industry experience and attitudes toward integrated project delivery. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(8), 815-825.

Koskela, L. (1992). *Aplication of the new production philosophy to construction*. Stanford: Center For Integrated Facility Engineering, 72.

Macneil, I.R. (1980). *The new social contract: An inquiry into modern contractual relations*. Yale: Yale University Press.

Milosevic, D.Z., Martinelli, R.J. & Waddell, J.M. (2007). *Program management for improved business results*. Hoboken (NJ): Wiley.

Pajares Gutierrez, J. & López Paredes, A. (2007). Gestión integrada del coste y del plazo de proyectos. Más allá de la metodología del valor ganado (EVM). *International Conference on Industrial Engineering & Industrial Management*, 719-728.

Pellicer, E., Cerveró, F., Lozano, A., & Ponz-Tienda, J.L. (2015). The last planner system of construction planning and control as a teaching and learning tool. *Proceedings of INTED2015 Conference*, 4877-4884

Pellicer, E., Yepes, V., & Ortega, A.J. (2013). Method for planning graduate programs in construction management. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 139(1), 33-41.

Pellicer, E., Yepes, V., Teixeira, J.C., & Catalá, J. (2009) Developing learning manuals for European construction project managers. *International Conference on Education and New Learning Technologies EDULearn2009*, Barcelona (Spain), July, 6-8.

PMI (2013). *A guide to the project management body of knowledge* (5ª ed.). Newtown Square (PA): Project Management Institute.

Rodriguez, A. D., Alarcón, L. F. & Pellicer, E. (2011). La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador. *Revista de Obras Públicas*, 3518, 1-9.

Russell, J. & Yao, J.T.P. (1996). Consensus! Students need more management education. *Journal of Management in Engineering*, 12(6), 17-29.

Sacks, R., Treckmann, M. & O. Rozenfeld, P. (2009). Visualization of work flow to support lean construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(12), 1307-1315.

Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A. & Minkarah, I. (2006). Lean construction: From theory to implementation. *Journal of Management in Engineering*, 22(4), 168-175.

Sayer, N.J., & Williams, B. (2007). *Lean for dummies*. Hoboken (NJ): Wiley.

Schön, K., Bergquist, B. & Klefsjö, B. (2010). The consequences of Six Sigma on job satisfaction: a study at three companies in Sweden. International Journal of Lean Six Sigma, 1(2), 99-118.

Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F. & Uchikawa, S. (2007). Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. *International Journal of Production Research*, 15(6), 553-564.

Tatum, C.B. (2007). Balancing engineering and management in construction education. *Journal of Construction Engineering and Management*, 113(2), 264-272.

Trejo, D., Patel, S., Andersen, S., & Cervantes E. (2003). Framework for competency and capability assessment for resource allocation. *Journal of Management in Engineering*, 18(1), 44-49.

Vineet, K. (2011). An overview of Kaizen concept. *VSRD International Journal of Mechanical, Automobile & Production Engineering*, 1(3), 120-125.

Womack, J., & Jones, D. (1996). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. Nueva York: Simon & Schuster.

Yepes, V., Pellicer, E., & Ortega, A.J. (2012). Designing a benchmark indicator for managerial competences in construction at the graduate level. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 138(1), 48-54.

Zidel, T.G. (2006). A lean toolbox—Using lean principles and techniques in healthcare. *Journal for Healthcare Quality*, 28(1), 7-15.

TOPIC 3. PRODUCT AND PROCESS ENGINEERING AND INDUSTRIAL DESIGN

ÁREA TEMÁTICA 3. INGENIERÍA DEL PRODUCTO, PROCESOS Y DISEÑO INDUSTRIAL

03-001

APPLICATION OF THE UPPER BOUND METHOD BY ITS NEW MODULAR CONFIGURATION TO INDENTATION PROCESS WITH TILTED PUNCH

Bermudo Gamboa, Carolina; Martín Fernández, Francisco de Sales; Sevilla Hurtado, Lorenzo Universidad de Málaga

Indentation processes are regaining interest nowadays due to the development of new deformation processes in the current manufacturing industry, as the Incremental Forming Processes or the Localized-Incremental Forming processes. This present article considers the analysis of the indentation process performed with a tilted punch. The aim of this study is to extend the analysis to as many differ indentation cases as possible. The development of the mathematical model for a tilted punch allows to conduct geometric combinations with previous studies that were carried out for flat punch cases. Hence, expanding the analysis of complex geometries. Thus, in this paper, the indentation process with tilted punch, studied by the Upper Bound Theoremt under its new modular configuration is presented. This new modular configuration consists of three modules of two Triangular Rigid Zone each, for the complete adaption to the considered punch shape.

Keywords: *Indentation; Upper Bound Theorem; Triangular Rigid Zone; Tilted punch; Modular distribution.*

APLICACIÓN DEL TEOREMA DEL LÍMITE SUPERIOR MEDIANTE SU CONFIGURACIÓN MODULAR A PROCESOS DE INDENTACIÓN CON PUNZÓN INCLINADO.

Hoy día, los procesos de indentación vuelven a ganar importancia dentro del ámbito de la fabricación debido al desarrollo de nuevos procesos de conformado plástico que se están llevando a cabo en la industria moderna, como son los Procesos de Forja Incremental o los Procesos de Forja Incremental Localizada. En el presente artículo, se considera el análisis del proceso de indentación mediante punzón inclinado, con el objetivo de ampliar el estudio de los distintos casos de indentación posibles. Desarrollando el modelo matemático para punzón inclinado, será posible realizar combinaciones geométricas unido as estudios previos sobre punzones planos, posibilitando el análisis de geometrías complejas. Se presenta el proceso de indentación mediante punzón inclinado, estudiado mediante el Teorema del Límite Superior bajo su nueva configuración modular, compuesto por tres módulos de dos Bloques Rígidos Triangulares cada uno, adaptándose así a la forma del punzón considerado.

Palabras clave: *Indentación; Teorema del Límite Superior; Bloques Rígidos Triangulares; Punzón inclinado; Distribución Modular*

Correspondencia: Carolina Bermudo Gamboa bgamboa@uma.es

Agradecimientos: Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de Málaga – Campus de Excelencia Internacional Andalucía Tech y al Programa de becas FPU del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte por su aportación económica al proyecto de investigación.

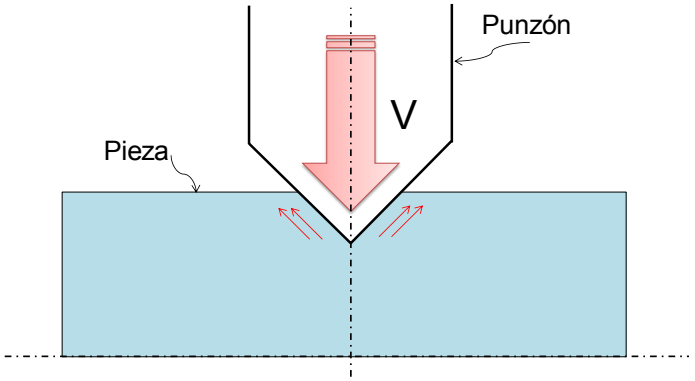
1. Introducción

En los estudios efectuados hasta la fecha relacionados con la indentación, ésta ha sido considerada como un proceso de fabricación secundario debido al tipo de deformaciones que se obtienen a partir de su aplicación, quedando relegada, de este modo, a la realización de ensayos, como los de dureza. La deformación que se produce en una pieza a conformar mediante el proceso de indentación es, generalmente, localizada y de valores reducidos, pudiendo llegar a tener sólo efecto superficial, especialmente en los ensayos de dureza mencionados (Bernal et al. 2012; Chakrabarty 2006).

No obstante, con el reciente desarrollo producido en la industria de manufactura, este proceso se encuentra en auge debido a la gran importancia que presenta como proceso de deformación plástica. Se están consiguiendo significativos avances en procesos basados en la indentación, como puede ser el denominado Proceso de Forja Incremental Localizada (PFIL) o el Proceso de Indentación Múltiple (PIM), ambos clasificados como Procesos de Deformación por Conformado Plástico (PDCP). Este tipo de procesos permite obtener el mismo tipo de deformación que el alcanzado con los procesos actuales mediante la aplicación de unos menores esfuerzos. Además, no requiere matrices con formas complejas, resultando procesos muy flexibles gracias a la posibilidad de ser implementados por completo mediante Control Numérico (Camacho et al. 2012).

Por otro lado, el Teorema del Límite Superior (TLS) mediante su aplicación modular de Bloques Rígidos Triangulares (BRT), desarrollado por F. Martín en 2009 y basado en los estudios llevados a cabo por Kudo en 1960 y 1961, es un método que permite la obtención de los esfuerzos de deformación necesarios para conseguir la deformación estimada en la pieza a deformar, adaptándose al tipo de proceso aplicado. Esta técnica se caracteriza por su sencilla aplicación, una vez que el modelo matemático ha sido generado. Tan sólo con la introducción de algunos de los parámetros conocidos presentes en el proceso, como pueden ser las dimensiones de la matriz o la profundidad de la deformación requerida, el modelo proporciona la magnitud del esfuerzo necesario para la obtención de dicha deformación.

Figura 1: Indentación con punzón inclinado.



En el presente trabajo, el proceso de indentación se estudia desde la perspectiva del TLS. Se ha desarrollado un nuevo modelo modular adaptado a este tipo de procesos de conformado plástico. Se analiza un caso de indentación ejecutado por un punzón inclinado (Figura 1). Una vez desarrollada la formulación matemática pertinente, se podrán estudiar casos de indentación en los que se presenten diferentes combinaciones de punzón plano e inclinado, siendo el modelo simple para casos de indentación solo con punzón plano

abarcado en estudios anteriores (Bermudo, Martín, & Sevilla 2013, 2014a). Por lo tanto, será posible analizar casos de indentación con punzones de superficie más compleja.

Cabe destacar que el caso inclinado dentro de los procesos de indentación es uno de los casos de estudio desarrollados en los últimos años (Goryacheva, Murthy, & Farris 2002; Sackfield, Dini, & Hills 2005) debido a sus diversas aplicaciones en la industria actual (Babaei et al. 2012; Tajul, Maeno, & Mori 2014). Por ello, en el campo de estudio tratado hasta ahora, resulta esencial incluir el proceso de indentación con punzón inclinado.

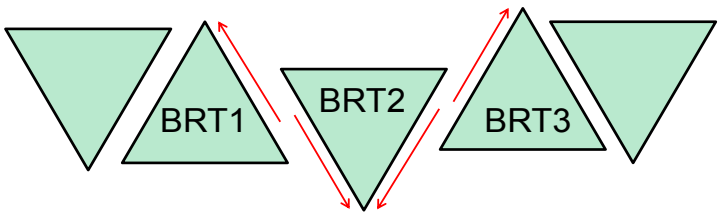
2. Metodología

Para lograr una deformación plástica específica no es necesario el conocimiento del valor exacto de la energía requerida para alcanzar dicha deformación. El TLS aporta el valor de energía que garantiza que la deformación se lleva a término. A pesar de que el TLS no aporta el valor exacto de energía requerida, si provee de un valor mínimo que asegura la deformación plástica de la pieza. Además, gracias a su simplicidad en comparación con otros métodos de análisis, este método es especialmente apto para casos de deformación plana.

La complejidad inherente a las teorías de deformación plástica ha condicionado a lo largo de los años el desarrollo de los métodos analíticos (Chakrabarty 2006). Por el contrario, la aplicación del TLS mediante módulos de BRT resulta ser la opción que presenta menor complejidad de análisis. Aunque los resultados obtenidos mediante este nuevo acercamiento del Teorema son aproximados, aportan soluciones considerablemente precisas basadas en una resolución del problema relativamente sencilla. Los BRT son la opción cinemático-geométrica que permiten alcanzar soluciones precisas de los factores principales que forman parte del proceso de indentación. Esta opción se aplica, inicialmente, bajo la suposición de deformación plana.

El modelo de BRT asume que las tensiones y deformaciones causadas por la deformación en el material sólo se producen en los límites de plano de cada bloque (Figura 2). A lo largo de estos planos tienen lugar las velocidades de discontinuidad o velocidades relativas. Los demás puntos que componen el BRT se moverán con la misma velocidad y en la misma dirección.

Figura 2: Bloques Rígidos Triangulares considerados.



Desde el punto de vista teórico y bajo condiciones generales, el TLS puede expresarse de la siguiente forma: el trabajo realizado por las fuerzas superficiales de tracción (o compresión) llevadas a cabo en un cuerpo rígido-plástico perfecto siempre será menor o igual que el trabajo realizado por las fuerzas superficiales de tracción (o compresión) de cualquier campo de velocidades cinemáticamente admisible (Johnson & Mellor 1983).

La expresión general, bajo hipótesis de deformación plana, es la siguiente:

$$\int_{S_v} T_i \cdot v_i \cdot dS_v \leq \int_{S_D} k \cdot [v^*] \cdot dS_D^* + \int_{S_F} T_i \cdot v_i^* \cdot dS_F \qquad (1)$$

Siendo:

T_i: Esfuerzos externos aplicados a la pieza a deformar.

v_i: Campo de velocidades real.

S_v: Superficie donde se aplican las fuerzas externas.

S_D*: Superficie de discontinuidad.

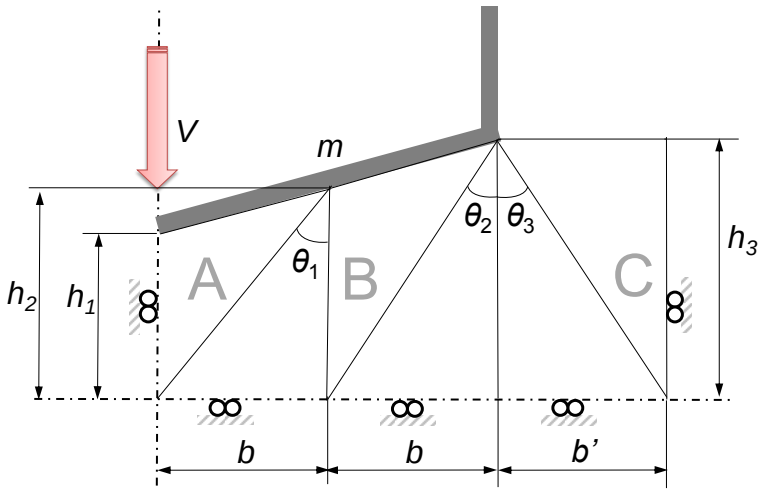
v_i*: Campo de velocidades cinemáticamente admisible.

S_F: Superficie expuesta a tensiones externas.

Con el fin de abarcar la indentación con punzón inclinado, se analizará una inclinación simple del punzón. El punzón se trata con una simetría vertical y con un sólo tipo de inclinación. Por tanto, se considera para este estudio un punzón con una sola punta.

La implementación tiene lugar con la aplicación del modelo del TLS mediante BRT óptimo desarrollado en anteriores estudios (Bermudo, Martín, & Sevilla 2014), mostrado en la Figura 3 3. El modelo óptimo desarrollado está compuesto por tres módulos de dos BRT cada uno. Dos de estos módulos se encuentran situados bajo el punzón, quedando el tercero en la parte exterior del mismo. El tercer módulo representa el material que no está en contacto directo con el punzón pero que también sufre deformación plástica debido a la presión que el material precedente ejerce sobre él en su intento de fluir lateralmente hacia el exterior.

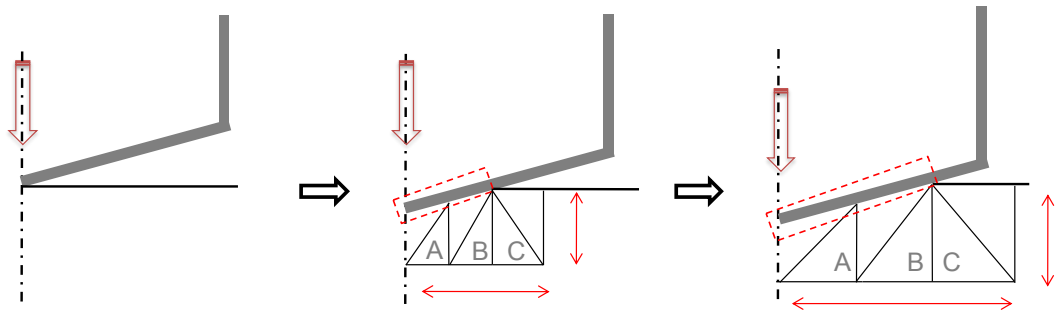
Figura 3. Modelo óptimo implementando a un caso de punzón inclinado.



La primera problemática surgida se debe a la deformación producida en la pieza en los primeros instantes del proceso, ya que no existe un contacto total del punzón con la pieza, como en la Figura 3.

Por lo tanto, será necesario realizar un estudio transitorio para la fase en la que el punzón se encuentra penetrando la pieza y la base del mismo aún no presenta un completo contacto con el material. Gracias a la consideración modular del modelo, es posible dividir la fase inicial en fases donde exista un contacto completo, aumentando el tamaño del modelo cada vez que el punzón se introduce más en la pieza y más material entra en contacto con él. Por ende, se analizan diversos problemas de espesor infinito hasta que el punzón presente un contacto completo. En la Figura 4 se muestra la adaptación del modelo conforme el punzón avanza en su penetración.

Figura 4: Adaptación del modelo modular durante la deformación.



La principal dificultad radica en la especificación del modelo a seguir para estas primeras fases de deformación, barajando las siguientes opciones:

Opción 1.

Se asume un contacto parcial entre el punzón y la pieza a deformar. Manteniendo el ángulo óptimo justificado para casos de indentación con punzón plano (48.2°) para θ_1 (Bermudo, Martín, & Sevilla 2014), será posible deducir los valores para θ_2 y θ_3, así como para b', h_1, h_2, y h_3, siendo θ_2 y θ_3 iguales en este caso.

El problema de esta opción radica en que, cuando la inclinación del punzón crece, h_1 decrece, aportando valores negativos en esa altura para valores de inclinación a partir de 45°. Es por ello que esta solución se excluye del proceso de análisis debido a las restricciones que presenta en términos geométricos.

Opción 2.

Esta configuración mantiene h_3 como la altura óptima hallada para casos de indentación con punzón plano y el ángulo óptimo para el ángulo exterior θ_3. θ_1 y θ_2, así como h_1 y h_2 se deducen a partir de las variables conocidas. No obstante, esta opción muestra valores negativos para h_1 a partir de 30° de inclinación, por lo que se descarta igualmente.

Opción 3.

En este caso, la altura óptima para h_1 y los ángulos óptimos para θ_1 y θ_3 se mantienen. Asimismo, se obvia que los módulos interiores tengan bases iguales, por lo que estas bases variarán dependiendo de la penetración del punzón. Esta configuración presenta inconsistencias en la longitud de la base del segundo módulo. Éste se ve reducido al aumentar la inclinación del punzón, presentando valores con base negativa para ángulos a partir de 20°. Esta opción se descarta.

Opción 4.

No es posible mantener el ángulo óptimo que se obtiene de la resolución del caso de indentación mediante punzón plano ya que algunas de las variables geométricas relacionadas con el proceso presentan valores negativos. De acuerdo con esto, continuando con la altura óptima para h_1 es determinante para garantizar que el primer módulo abarque suficiente material y omitir la posibilidad de perder ningún módulo debido a esos valores negativos. Adicionalmente, los módulos bajo la influencia directa del punzón se situarán a distancias equivalentes, es decir, cubrirán la mitad de la superficie del punzón en contacto con el material cada uno.

Esta condición permite deducir los ángulos θ_2 y θ_3. Si $\theta_3=\theta_2$ y la base del módulo exterior es igual a la de los módulos previos, la base exterior será $b'=b$. El valor final de $p/2k$, siendo p el esfuerzo y k el límite de tensión a cortadura, para la consideración finita (Figura 3) sobrepasa los valores obtenidos para la consideración infinita a factores de forma menores a

la unidad, incluso trabajando con inclinaciones razonables en el punzón, por lo que no pueden considerarse resultados válidos.

No obstante, considerando $\theta_3=\theta_1$, la opción 4 no muestra este problema en los resultados finales sea cual sea la inclinación del punzón. Ésta será la opción adoptada para la implementación final del modelo modular en caso de indentación mediante punzón inclinado.

3. Resultados

Para la verificación de los resultados obtenidos mediante la aplicación del nuevo modelo modular del TLS a un proceso de indentación mediante punzón inclinado, se realiza una comparativa con los resultados obtenidos mediante el programa DEFORM 2D, basado en el Método de Elementos Finitos (MEF). Los resultados mediante MEF muestran que sólo existe una diferencia en los esfuerzos hasta lograr un completo llenado del punzón (Figura 5 y 6), es decir, hasta que se produzca un contacto completo del área inclinada del punzón con la pieza a deformar (Figura 3). Al mismo tiempo, los resultados obtenidos mediante el TLS presentan estas mismas diferencias para distintas configuraciones del punzón pero, al contrario que con el MEF, estas diferencias en los valores se mantienen durante todo el proceso de penetrado (Figura 7).

Por lo que, a excepción de las etapas en las que la superficie del punzón aún no está en contacto total con la superficie de la pieza, los resultados son similares, llegando a la conclusión de que el modelo matemático desarrollado para el caso de punzón inclinado sólo será necesario en los momentos iniciales de la deformación, siendo preciso el cambio al modelo implementado para punzón plano una vez la superficie inclinada del punzón esté en total contacto con la pieza.

Este comportamiento de los resultados y la decisión adoptada para la aplicación del TLS se asemeja a la solución que aplica el método del Campo de Líneas de Deslizamiento CLD, en la que se considera que, una vez el punzón penetra en la pieza, el área directamente situada bajo el punzón pasa a formar parte de él, por lo que puede ser interpretado como punzón plano y el área que sufre mayor deformación es la que está situada bajo esta porción de material adherida al punzón (Prager & Hodge 1951).

Una vez tenida en cuenta esta excepción, es posible confrontar una comparativa con los resultados obtenidos mediante DEFORM 2D. En la Figura 8 y en la Figura 9 se observa que, aplicando ambos métodos, el nuevo modelo del TLS y el método numérico MEF, los resultados son similares y siguen el mismo patrón.

Luego, en casos de procesos de indentación donde el punzón utilizado presente una geometría inclinada simple, la introducción del modelo del TLS para punzón inclinado será solo necesaria en los primeros instantes de la deformación. Una vez que los valores de p/2k para caso inclinado excedan los valores de p/2k obtenidos en la implementación del modelo modular para caso de punzón plano, el modelo para caso de punzón inclinado será reemplazado por el modelo para caso de punzón plano y el análisis continuará bajo la configuración de punzón plano.

Figura 5: Resultados MEF para diferentes grados de inclinación.

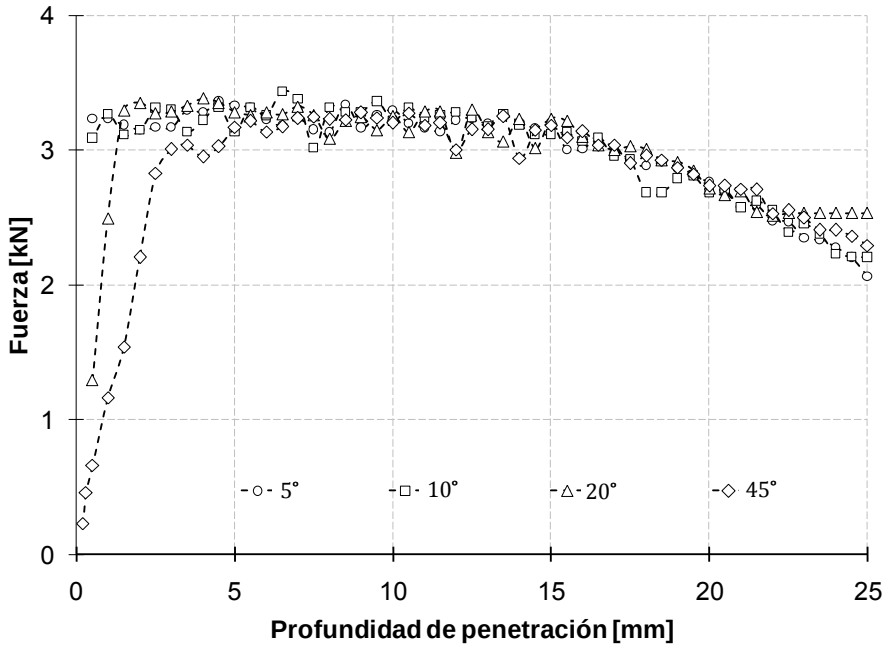


Figura 6: Detalle de la fase inicial de deformación (MEF).

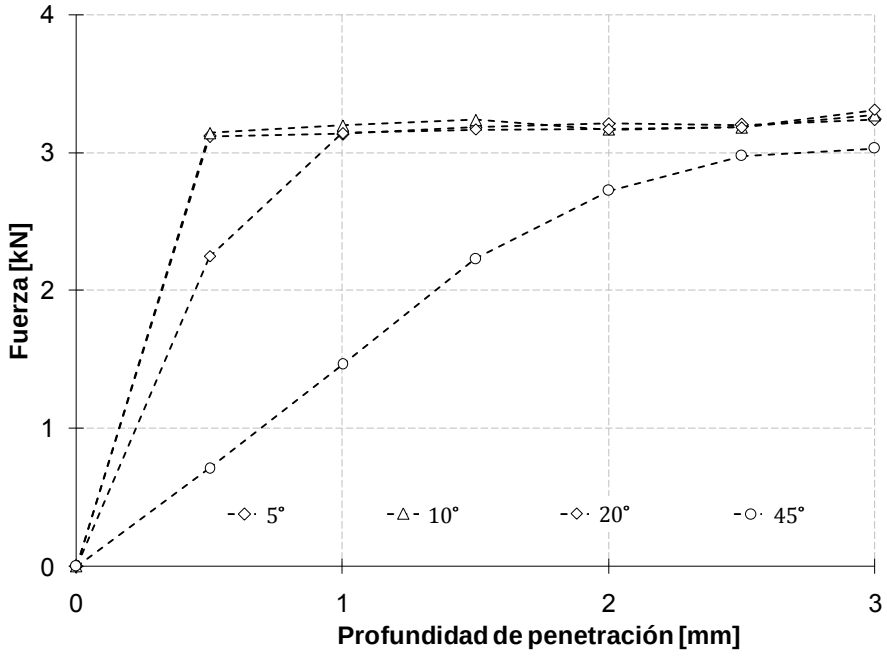


Figura 7: Resultados del TLS para diferentes inclinaciones.

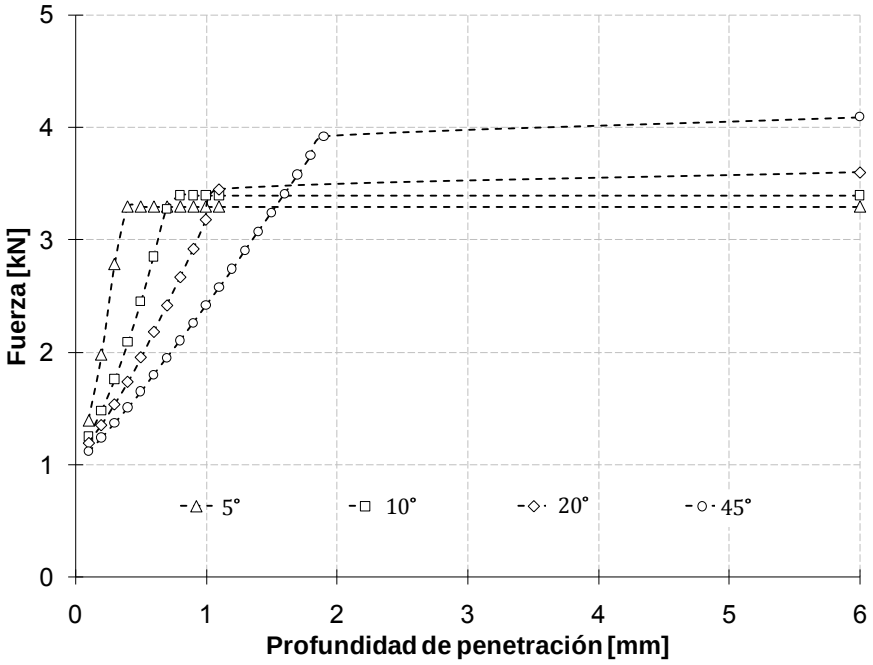


Figura 8: Comparativa del TLS y MEF para 20° de inclinación.

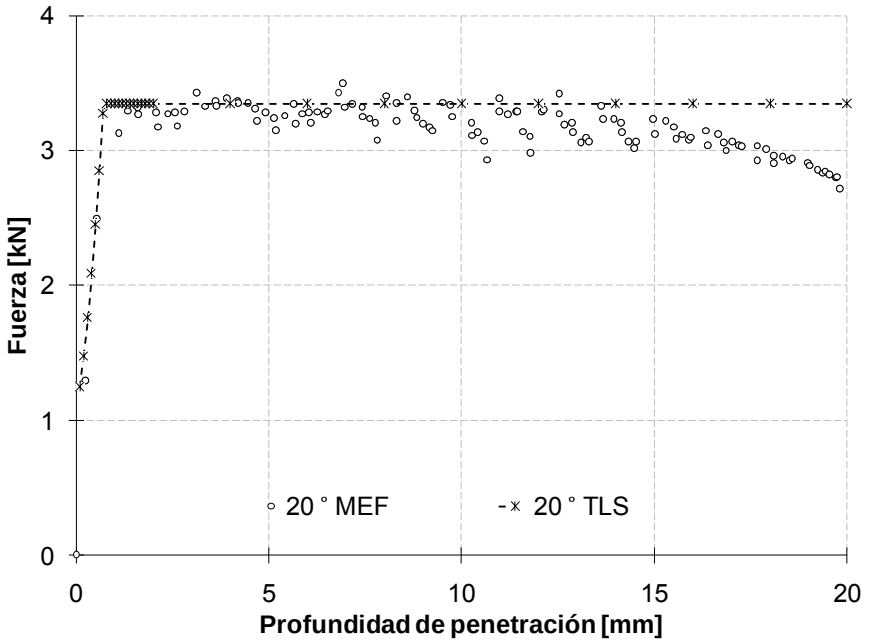
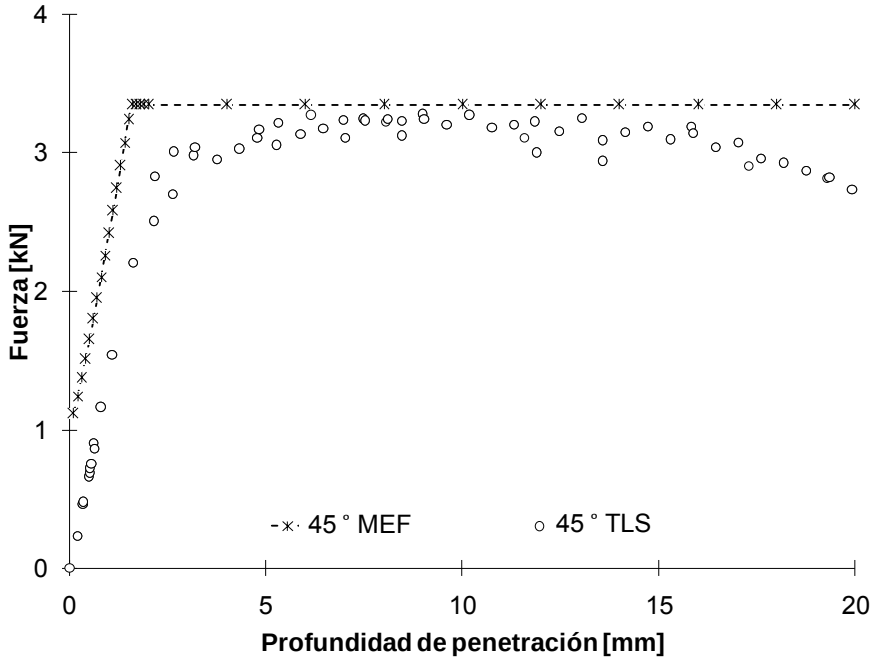


Figura 9: Comparativa del TLS y MEF para 45° de inclinación



4. Conclusiones

Mediante el estudio mostrado en el presente artículo, se aporta la solución analítica de la aplicación del nuevo modelo modular del TLS para casos de indentación mediante punzón plano. Para ello, se han considerado diferentes opciones de análisis, siendo la 4 la más adecuada. La diferencia con los otros casos estimados, es que en esta opción, h_1 se mantiene como altura óptima, determinado su valor en estudios anteriores para casos de indentación con punzón plano, y los ángulos θ_3 y θ_2 serán iguales, sabiendo que cuando $\theta_3=\theta_2$, $b'=b$.

Además, en este trabajo, para la correcta validación del modelo analítico desarrollado, se ha realizado una comparativa con MEF. Se hace uso del programa DEFORM 2D para la aplicación de los casos específicos de indentación con punzón inclinado. Se encuentra que, ya en las primeras etapas del proceso de deformación, los resultados obtenidos para diferentes inclinaciones difirieron. Una vez que la superficie del punzón se encuentra en total contacto con la pieza de trabajo, los resultados obtenidos no presentan significativas, concluyendo que, una vez que la superficie del punzón está completamente llena, esta área del material deformado de la pieza de trabajo se convierte en parte del punzón. Esta nueva área que se une con el punzón puede interpretarse como un todo y, por tanto, como un punzón plano. Así, el área de la pieza de trabajo que sufre más distorsión se encuentra directamente debajo de este material adherido al punzón.

La comparativa con los resultados obtenidos con MEF demuestra que la solución alcanzada con la aplicación de la nueva configuración modular del TLS para indentación con un punzón inclinado es precisa debido a la similitud en la evolución de ambos análisis. Los resultados presentados en el presente estudio, demuestran, una vez más, la idoneidad del TLS en el análisis de un proceso de indentación.

Por tanto, se presenta un método de menor complejidad que los existentes en el estudio de los esfuerzos necesarios en la deformación llevada a cabo por un proceso de indentación. Por un lado, desde la perspectiva matemática, la aplicación de la nueva configuración

modular del TLS implica una aplicación más sencilla en comparación con otros métodos, tales como el MEF. Por otro lado, desde la perspectiva analítica, la consideración modular presenta una ecuación final, simplificando la resolución del problema matemático.

5. Referencias

Babaei, A., Faraji, G., Mashhadi, M. M., & Hamdi, M. (2012). Repetitive forging (rf) using inclined punches as a new bulk severe plastic deformation method. Materials Science and Engineering: A, 558, 150-157.

Bermudo, C., Martín, F., & Sevilla, L. (2013). Analysis and selection of the modular block distribution in indentation process by the upper bound theorem. Procedia Engineering.

Bermudo, C., Martín, F., & Sevilla, L. (2014a). Optimización del modelo modular en procesos de indentación mediante el teorema del límite superior. Anales de Ingeniería Mecánica, 19, 97.

Bermudo, C., Martín, F., & Sevilla, L. (2014b). Selection of the optimal distribution for the upper bound theorem in indentation processes. Materials Science Forum, 797, 117-122.

Bernal, C., Camacho, A. M., Arenas, J. M., & Rubio, E. M. (2012). Analytical procedure for geometrical evaluation of flat surfaces formed by multiple indentation processes. Applied Mechanics and Materials, 217-219, 2351-2356.

Camacho, A. M., Marín, M. M., Rubio, E. M., & Sebastian, M. A. (2012). Application of different simulation strategies for the analysis of multi-stroke localised-incremental forming operations. Materials Science Forum, 713, 19-24.

Chakrabarty, J. (2006). Theory of plasticity. U.K.: Elsevier Science.

Goryacheva, I. G., Murthy, H., & Farris, T. N. (2002). Contact problem with partial slip for the inclined punch with rounded edges. International Journal of Fatigue, 24(11), 1191-1201.

Johnson, W., & Mellor, P. P. B. (1983). Engineering plasticity: Ellis Horwood Limited.

Kudo, H. (1960a). Some analytical and experimental studies of axi-symmetric cold forging and extrusion—i. International Journal of Mechanical Sciences, 2(1–2), 102-127.

Kudo, H. (1960b). An upper-bound approach to plane-strain forging and extrusion-i. International Journal of Mechanical Sciences, 1(1), 57-83.

Kudo, H. (1961). Some analytical and experimental studies of axi-symmetric cold forging and extrusion—ii. International Journal of Mechanical Sciences, 3(1–2), 91-117.

Martín, F. (2009). Desarrollo, integración y optimización en el estudio del proceso de forja mediante el teorema del límite superior a través del modelo de bloques rígidos triangulares. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga, Málaga.

Prager, W., & Hodge, P. G. (1951). Theory of perfectly plastic solids. Wiley, New York: John Wiley & Sons.

Sackfield, A., Dini, D., & Hills, D. A. (2005). The finite and semi-infinite tilted, flat but rounded punch. International Journal of Solids and Structures, 42(18–19), 4988-5009.

Tajul, L., Maeno, T., & Mori, K.-i. (2014). Successive forging of long plate having inclined cross-section. Procedia Engineering, 81, 2361-2366.

03-002

SERVITIZATION AS A STRATEGY FOR THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF MORE ECO-EFFICIENT PRODUCTS

Fernandez Alcala, Jose
Maria Ihobe

According to the ISO 14040:2006 standard, life cycle is defined as the consecutive and interlinked stages of a product system, from raw material extraction to final disposal stages. The Ecodesign methodology takes into account all the environmental aspects at all stages of the product development process, striving for minimising the environmental impact of products throughout their life cycle and identifying, priority areas for action to reduce it. The use of Ecodesign has spread in the industrial sector in the past 20 years with great results in improving the eco-efficiency of products placed on the market. However, due to the voluntary nature that the application of this methodology affects the mode of action of a company, those measures that go against the core of their business model principles have not had much application, rather the opposite. This is especially relevant in relation to the strategies for optimising product life, dematerialisation during manufacture or application of a product - service system, since greater durability threatens the traditional business model based on product sales. This abstract presents a methodology to carry out a change in the business model through the development of new products based on the concept of servitization.

Keywords: *Servitization; product service system; Ecodesign, product life cycle.*

LA SERVITIZACIÓN COMO ESTRATEGIA PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS MÁS ECOEFICIENTES

De acuerdo con la norma ISO 14040:2006, Ciclo de Vida son las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema producto, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. El Ecodiseño es la metodología que considera los aspectos ambientales a lo largo del proceso de desarrollo de productos, esforzándose para conseguir minimizar el impacto ambiental de un producto a lo largo de su Ciclo de Vida; identificando áreas prioritarias de actuación para poder reducirlo. El uso del Ecodiseño se ha extendido en el sector industrial en los últimos 20 años con grandes resultados en la mejora de la ecoeficiencia de los productos. Sin embargo, debido a su carácter voluntario, aquellas medidas que están en contra de los principios básicos del modelo de negocio de la empresa, no se han aplicado correctamente. Esto es especialmente relevante con aquellas estrategias que alargan la vida del producto, como la desmaterialización o la aplicación de un sistema producto – servicio, ya que una mayor durabilidad pone en riesgo el modelo de negocio tradicional basado en la venta de productos. Este abstract presenta una metodología ideada para cambiar el modelo de negocio, mediante el desarrollo de productos más ecoeficientes, basado en la servitización.

Palabras clave: *Servitización; Sistema producto servicio; Ecodiseño; Ciclo de Vida de producto.*

Correspondencia: Jose María Fernández Alcalá jose_maria.fernandez@ihobe.net

1. INTRODUCCIÓN

El Ecodiseño, como metodología para la mejora ambiental de un producto desde la temprana fase de diseño, implica la toma en consideración de estrategias de mejora a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida del sistema de producto analizado.

Sin embargo, debido a su carácter voluntario, aquellas medidas que están en contra de los principios básicos del modelo de negocio de la empresa, no se aplican correctamente. Esto es especialmente relevante con aquellas estrategias que alargan la vida del producto, como la desmaterialización o la aplicación de un sistema producto – servicio, ya que una mayor durabilidad pone en riesgo el modelo de negocio tradicional basado en la venta de productos.

Es por ello que para poder alcanzar el desarrollo pleno de los principios del Ecodiseño es necesario plantear modelos de negocio alternativas, en base al concepto de los sistemas producto-servicio.

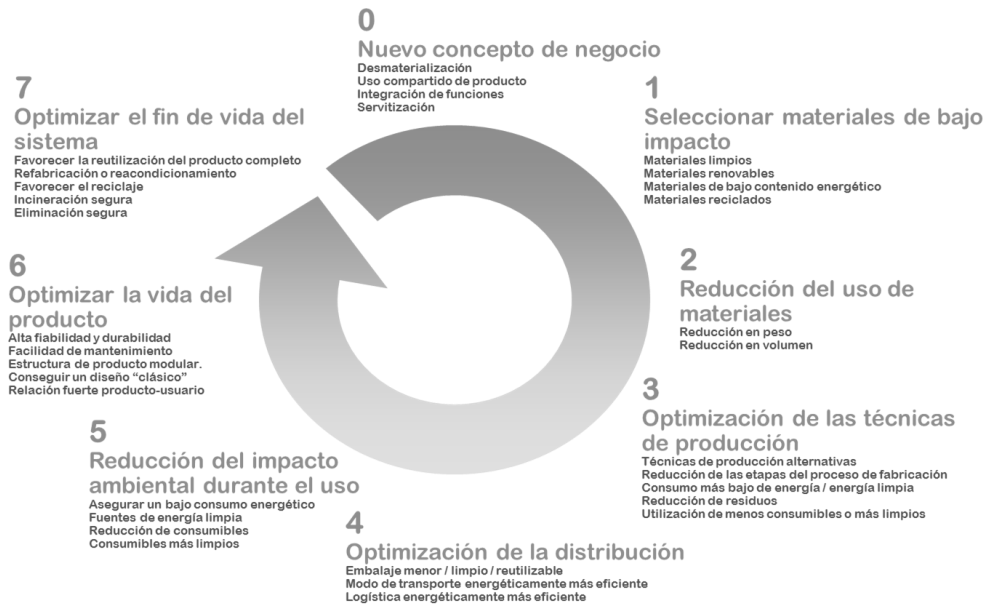
El objetivo del presente trabajo es describir las implicaciones de la servitización como estrategia para el desarrollo de productos más ecoeficientes, adentrándose en el alcance conceptual de los potenciales servicios aplicables sobre un producto, orientados a una reducción del impacto ambiental asociado al ciclo de vida del mismo.

2. METODOLOGÍA

El Ecodiseño es la metodología que considera los aspectos ambientales a lo largo del proceso de desarrollo de productos, esforzándose para conseguir minimizar el impacto ambiental de un producto a lo largo de su Ciclo de Vida; identificando áreas prioritarias de actuación para poder reducirlo (Brezet, 1998).

Estas pueden quedar esquematizadas de forma genética en la herramienta de la “rueda de Ecodiseño”, recogida en la figura 1 y adaptada por Ihobe en 1999 a partir del trabajo desarrollado por Brezet en 1996. En ella, se recogen ocho grandes estrategias de rediseño del producto a lo largo de las diferentes etapas del ciclo de vida (selección de materias primas, producción, distribución, uso y fin de vida).

Figura 1.- Identificación de las ocho estrategias de Ecodiseño de un producto.



A la hora de poner en marcha un proyecto de Ecodiseño, y con el conocimiento a detalle del perfil ambiental de un producto, el diseñador identifica de estas, aquellas medidas que puedan aportar un mayor grado de mejora ambiental. Esas potenciales medidas son priorizadas desde el punto de vista técnico y económico.

De todas ellas, las que inciden directamente en la reducción de costes del fabricante (reducción del uso de materias primas, menores envases y embalajes, logísticas de distribución más eficientes,…) son fácilmente aplicables. De igual manera, aquellas que no tienen un impacto económico negativo para el fabricante y que pueden representar importantes mejoras económicas en el usuario (como es por ejemplo la mayor eficiencia en la fase de uso, menor uso de consumibles,..) son también integradas en los nuevos diseños. Este tipo de medidas, especialmente la eficiencia energética en la fase de uso ha tenido un gran impulso en Europa con el establecimiento del etiquetado de eficiencia energética, cuya primera versión se publica en el año 1992, a través de la directiva 92/75/CEE. Este sistema, obliga a los fabricantes de cierto tipo de equipos a informar al consumidor del comportamiento energético del producto durante la fase de uso, en base a ensayos en determinadas condiciones de funcionamiento. Esa información se muestra tanto en valores absolutos como en función de una comparativa con respecto a un valor medio de los productos existentes en el mercado en el momento de la publicación de los criterios por cada categoría de producto afectada. Y debe ser expuesta mediante una etiqueta directamente sobre el producto, con unas determinadas dimensiones prefijadas en la norma y mediante un fácilmente interpretable sistema de letras y colores.

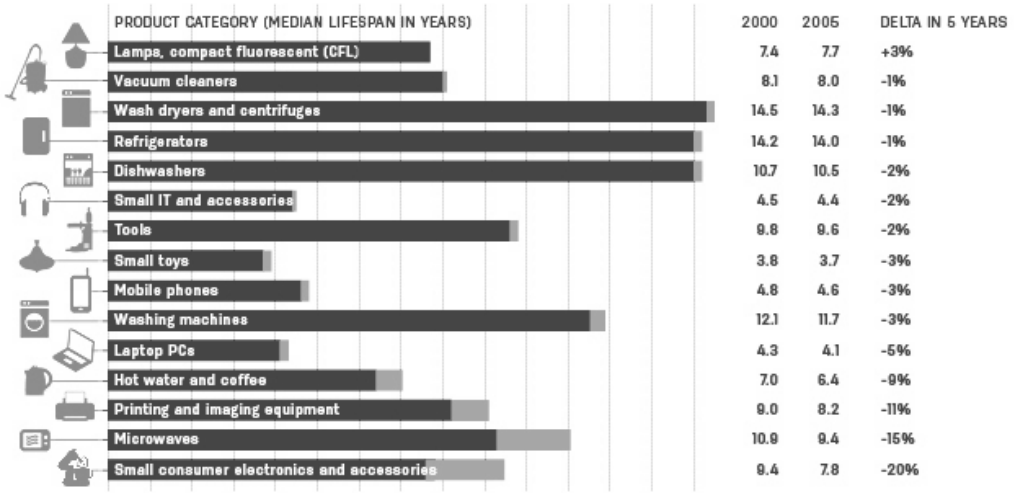
Durante las década de los 90, los fabricantes de este tipo de equipos, comenzaron una rápida carrera por optimizar los parámetros de eficiencia energética de los equipos. Era sin lugar a dudas un aspecto este que no había sido tenido en cuenta hasta entonces. Los fabricantes se habían esforzado en asegurar unas buenas prestaciones en torno al resultado obtenido por los equipos. La eficiencia energética no era un aspecto que mejorara la rentabilidad económica en las empresas y tampoco era un aspecto demandado por el consumidor. El etiquetado energético supuso, por tanto, centrar la atención del producto en la eficiencia. La administración se preocupó además de sensibilizar al consumidor en las implicaciones que la eficiencia energética tenía en relación a su factura eléctrica, esto es, en “su bolsillo”.

Esta mejora en la eficiencia trajo consigo sin embargo, un empeoramiento de otro factor clave en el diseño de los productos, cual es la durabilidad.

Dado que los fabricantes eran capaces de sacar al mercado, cada cortos periodos de tiempo, nuevos productos más eficientes desde el punto de vista energético, incluso desde el punto de vista ambiental, era preferible acortar la vida de los productos, para así no perpetuar en activo productos poco eficientes. Dado que ello iba a traer asociado una mayor generación de residuos en el fin de vida de estos equipos, se puso en marcha en 2002 un nuevo instrumento legal, la Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Con este nuevo instrumento legal, el impacto ambiental asociado a la gestión de esos residuos así como a la fabricación de un nuevo equipo quedaba en poco tiempo compensada por el uso de un equipo mucho más eficiente. Además, esto permitía a los fabricantes aumentar la venta de productos.

Así, como resultado no esperado de estos instrumentos legales de mejora ambiental, en el comienzo de las década del 2000, los productos con importante impacto en la fase de uso comenzaron a acortar su durabilidad, tal y como queda demostrado por Wang y otros autores (2013) en la figura 2.

Figura 2.- Acortamiento en la durabilidad de equipos eléctricos y electrónicos entre 2000 y 2005, en base a datos recogidos en Holanda

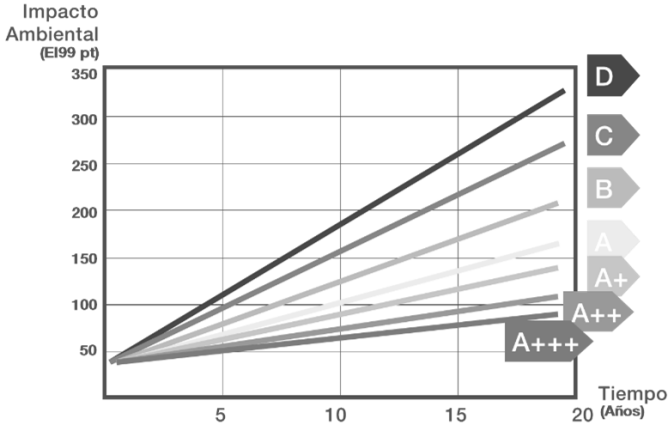


2.1. El fin del paradigma de la bondad ambiental de la baja durabilidad de los productos

El esfuerzo de los equipos de diseño y desarrollo de productos con alto impacto ambiental en la fase de uso, por tratar de aumentar su eficiencia energética durante la misma, ha dado importantes resultados. El etiquetado de eficiencia energética ha sido uno de los instrumentos ambientales de mayor éxito en Europa en la última década.

En la figura 3 se muestra, tomando como ejemplo un frigorífico de uso doméstico, el impacto ambiental total acumulado en el trascurso de los años de diferentes modelos en función de su calificación energética. Como se puede apreciar en la figura, todos ellos tienen un impacto ambiental inicial asociado a su fabricación, seguido de un incremento gradual asociado a la fase de uso. En aquellos equipos con bajas eficiencias energéticas (calificación energética C o D) el impacto ambiental asociado a la etapa de uso domina el impacto ambiental total del producto (alcanzando el 70-80% del impacto ambiental total). Por el contrario, en aquellos equipos muy eficientes (calificación energética A++ o A+++), el impacto ambiental en la fase de uso es menos del 50% del impacto total, siendo en todos los casos el impacto en la fase de producción muy similar. Como se puede observar además, globalmente, mejorando la eficiencia energética en la fase de uso, el impacto ambiental de este tipo de productos se ha conseguido reducir a menos de una tercera parte.

Figura 3.- Impacto ambiental total acumulado a lo largo de los años por modelos de frigoríficos domésticos de diferente calificación energética (Elaboración propia)



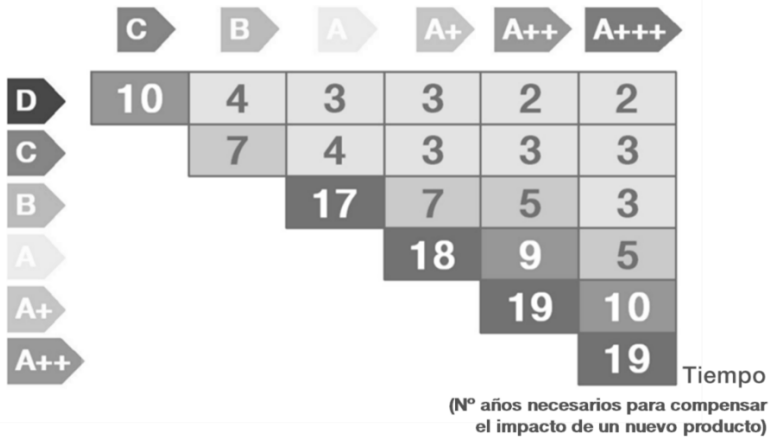
Sin embargo, en los últimos años se ha observado que la mejora tecnológica está empezando a dar síntomas de madurez. Los nuevos equipos que se lanzan al mercado ya no presentan significativos niveles de mejora en la eficiencia energética en la fase de uso, con respecto a sus predecesores. Este parámetro de diseño, en otros tiempos no controlado, parece estar cerca de su optimización técnica para la tecnología actual. A no ser que se produzca un salto tecnológico, es difícil que se puedan alcanzar nuevas mejoras.

Este colapso en la mejora de la eficiencia, así como el cada vez menor peso que la fase de uso representa en el total del impacto ambiental asociado a la vida de este tipo de productos, obliga a cuestionar el paradigma de la bondad ambiental de la baja durabilidad de los productos.

La Figura 4 representa el número de años necesarios para compensar, desde el punto de vista ambiental, el impacto asociado a la fabricación de un nuevo producto, en este caso, y siguiente el ejemplo anterior, un frigorífico de uso doméstico. Como se puede observar, la sustitución de un producto de muy baja eficiencia energética (Tipo C o D) por uno de alta eficiencia (tipo A+ o A++) quedaba compensada ambientalmente en apenas 3 años. Esto es, en 3 años ya se había compensado ambientalmente la fabricación de un nuevo equipo que sustituyera un equipo de baja eficiencia, de tal modo que era mejor para el medio ambiente su sustitución por uno nuevo, que mantener el antiguo. En algunos casos, este tiempo era aún menor.

Sin embargo, a medida que los productos se han ido sustituyendo y por tanto disponen de mejores parámetros de eficiencia energética, el número de años necesarios para compensar la sustitución por uno más eficiente se ha ido incrementando, superando la cifra de 14 años que es el valor que en la actualidad ofrecen los productos de este tipología en el mercado.

Figura 4.- Tiempo necesario para compensar ambientalmente el impacto asociado a la sustitución por un equipo más eficiente (Elaboración propia).



Con ello, se acaba el paradigma de la bondad ambiental de las bajas durabilidades de los productos y entra en juego un nuevo reto para los fabricantes, el aumento de la durabilidad de los productos que fabrican y ponen en el mercado.

2.2. Mayores durabilidades implican un cambio en el modelo de negocio

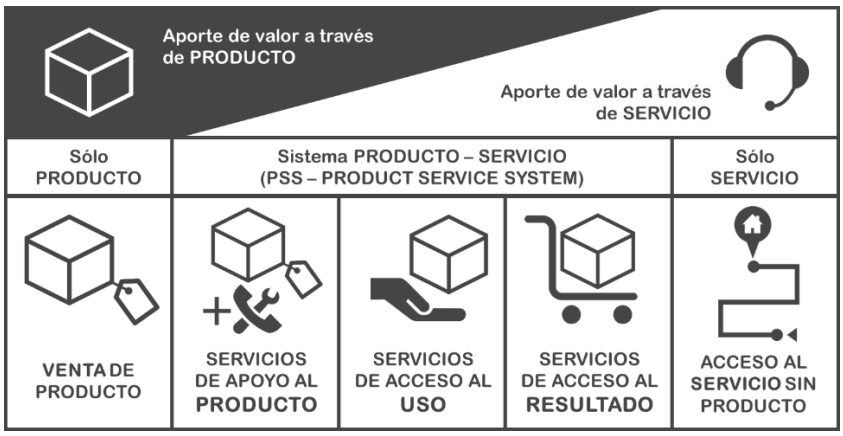
El nuevo horizonte, en el que la eficiencia energética deja paso al aumento de la durabilidad de los productos, plantea un importante reto que es necesario resolver previamente. La mayor durabilidad de los mismos va a llevar asociado una reducción en el número de unidades fabricadas y vendidas y por tanto una reducción en la facturación de las empresas. Para que este nuevo reto pueda ser exitoso, es necesario buscar fórmulas que permitan no poner en peligro los puestos de trabajo asociados a la industria de fabricación de equipos y para ello es necesario repensar el modelo de negocio tradicional asociado a la fabricación y venta.

El término servitización, empleado originalmente por Vandermerwe y Rada (1988), hace referencia al proceso de creación de valor mediante la agregación de servicios a productos. Con la servitización se definen nuevas propuestas de valor a clientes que incluyen productos (bienes tangibles) y una serie de servicios asociados al mismo. Es importante no confundir la servitización con el mero crecimiento del sector servicios, concepto este que quedaría mejor definido por el término “terciarización”.

2.3. La servitización aplicada a la ingeniería de producto

La servitización aplicada a la ingeniería de producto sigue los pasos descritos por Tukker (2004), esquematizado en la figura 5 y que representa el concepto del sistema producto-servicio, modelo de negocio intermedio basado en una mezcla de productos fabricados y servicios de apoyo y soporte.

Figura 5.- Etapas sucesivas para la incorporación de la servitización asociada a producto.



Este modelo establece tres etapas para conseguir la evolución desde el modelo de negocio basado 100% en fabricación y venta de producto al basado 100% en prestación de servicios, que son:

- **Servicios de apoyo al producto:** Basado en el modelo tradicional de fabricación y venta de producto, el fabricante lo complementa con la prestación de una serie de servicios asociados a las diferentes etapas de su ciclo de vida. Si bien en un principio, estos servicios permiten a la empresa diversificar su fuente de ingresos, dependiendo de la tipología del producto y del grado de desarrollo de esta estrategia, se podrá alcanzar un punto en el que la facturación pase de ser dominada por la venta de productos a suponer mayor peso la prestación de servicios sobre esos productos.
- **Servicios de acceso al uso:** A partir del momento en el que los servicios dominan la cuenta de resultados de la empresa fabricante, la venta del producto es menos importante que la fidelidad y cercanía al cliente. Cambiando el concepto de propiedad del producto, se establece un nuevo modelo de negocio en el que el pago se realiza por el acceso al uso del producto, manteniendo la empresa fabricante la propiedad del mismo. Nuevos servicios entran en juego, en este caso más dirigidos a actividades de soporte al cliente y al negocio.
- **Servicios de acceso al resultado:** El uso de un producto está siempre asociado a la consecución de un resultado. El uso no siempre es indicativo de la idoneidad del producto para la adecuada consecución del resultado buscado. Por ello, el siguiente paso hacia la servitización, en el que se produce una mayor lejanía del usuario al producto, consiste en que el pago se realice en función del resultado buscado y obtenido.

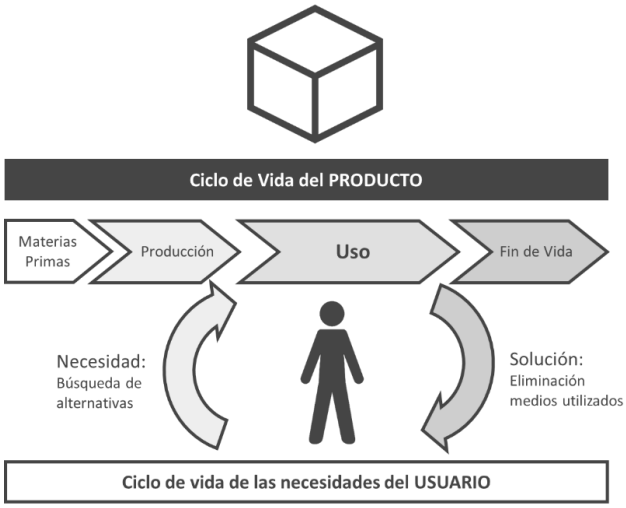
2.4. La consideración del doble ciclo de vida

Un primer aspecto para poder desarrollar el concepto de servitización en producto reside en el conocimiento del doble ciclo de vida, desarrollado por Tan, McAloone y Andreasen (2006), esquematizado en la figura 6 y compuesto por:

- El **Ciclo de Vida del producto**, que representa las sucesivas etapas que van desde la adquisición de las materias primas necesarias para el producto, su transformación hasta obtener las piezas y componentes del mismo, su montaje en fábrica, distribución, uso o utilización y fin de vida. Sólo con toda esta información se pueden controlar todos los aspectos necesarios para medir el impacto ambiental del producto y, por tanto, sus opciones de mejora.
- El **Ciclo de Vida de las necesidades del usuario**, que representa las diferentes etapas que el usuario del producto desarrolla desde que surge la necesidad de disponer de un determinado producto, hasta que logra resolver dicha necesidad, dando con la solución necesaria, pasando por el uso del producto seleccionado para cubrirla e incluyendo el modo en que desarrolla este uso.

Ambos ciclos de vida están íntimamente relacionados, ya que son dos formas de visualizar el modelo de negocio, desde la perspectiva del producto al que accede un usuario y desde la perspectiva de las necesidades de ese usuario.

Figura 6.- Relación entre el Ciclo de vida de producto y ciclo de vida del usuario.



Un principio básico en un proceso de servitización de producto es, manteniendo la visión de este doble ciclo de vida, conocer mejor las necesidades del usuario del producto y por tanto, teniendo en cuenta estas, identificar nuevas prestaciones.

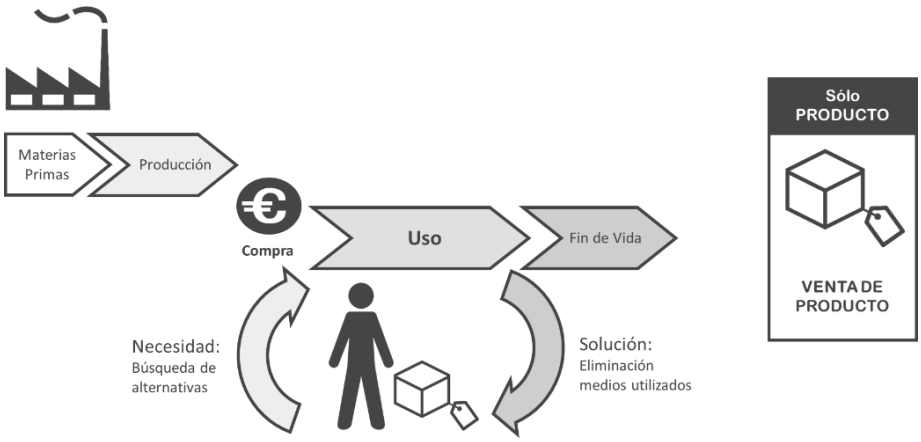
Este enfoque ha tenido diversos desarrollos industriales a nivel europeo, siendo quizás el más significativo el desarrollado por el equipo de la Universidad técnica de Dinamarca (DTU) en 2013 en el marco del proyecto PROTEUS para el sector naval danés.

3. RESULTADOS

Aplicando el concepto del doble ciclo de vida y el potencial de aplicación de servicios a lo largo de los mismos, obtenemos tres grandes etapas de desarrollo en el modelo de servitización a implementar. Para verlos a detalle, tomamos como punto de partida el modelo de negocio tradicional basado en la fabricación y venta de un producto, expresado en la figura 7. En este, la empresa transfiere la propiedad al usuario del mismo en el momento de la compra. Ello le aporta

a la empresa fabricante la fuente de ingresos que suporta su modelo de negocio y a partir de ese momento, la responsabilidad del producto recae en el usuario, que es además, su propietario.

Figura 7.- Modelo tradicional basado en la fabricación y venta de un producto.



El punto de partida para la estrategia de servitización del producto, comienza con la identificación de potenciales servicios de apoyo que poder ofrecer al usuario del mismo. Es el comienzo de la etapa de servicios de apoyo al producto.

Dentro de esta primera etapa es posible distinguir a su vez 4 diferentes fases, a medida que los servicios empiezan a coger más importancia en el modelo de negocio. La primera de estas fases, descrita en la figura 8, consiste en la prestación de servicios a lo largo de las diferentes etapas del ciclo de vida en manos del cliente, como son las etapas de uso y de fin de vida. De modo general, se pueden identificar dos tipos de servicios en cada etapa.

En la etapa de **uso o utilización** del producto se podrán establecer servicios orientados a:

- **Instalación y puesta en marcha del producto:** Se ofrece al cliente todos aquellos aspectos relacionados con el transporte a su domicilio, la correcta recepción, instalación así como la puesta en marcha y aseguramiento del correcto funcionamiento. Dependiendo de la tipología del producto implicado, podrá cubrir también la programación para su correcta operación en función del perfil y las necesidades del cliente.
- **Mantenimiento y reparación:** Una vez en uso, el usuario tendrá acceso a servicios de mantenimiento periódico y reparación en caso de avería. Se ofrecerán alternativas como la inspección “in-situ” en casa del cliente o la creación de una red de servicios técnicos. Estos servicios podrán ser a medida o implantados mediante un sistema de “call-center” de atención al usuario.

Por su parte, en la etapa de fin de vida, se ofertarán servicios asociados a:

- **Recogida del producto** una vez finalizada su vida útil o una vez cumplida la necesidad que motivó su compra por parte del usuario.
- **Recuperación del residuo**, mediante técnicas de desmontaje, separación de componentes, reutilización de aquellos que puedan tener valor, reciclaje de las materias primas,…

Todos estos servicios no llevan asociado ninguna modificación sobre el diseño del producto, que se mantiene tal como fue inicialmente concebido. Estos servicios lo que sí que van a permitir es un mejor comportamiento ambiental, ya que tanto una correcta instalación como un mantenimiento adecuado asegurarán que la vida del producto sea la definida en las especificaciones técnicas de fabricación. De igual modo, los servicios de fin de vida asegurarán que se produzca la gestión más adecuada del residuo, evitando o minimizando su impacto al medio ambiente.

Figura 8.- Fase 1 de la etapa de servicios de apoyo al producto.

La segunda fase de la etapa de servicios de apoyo al producto supone la implantación de servicios que permitan alargar la vida útil del producto más allá de lo que definen sus especificaciones técnicas. Esta etapa, descrita en la figura 9, supone la inclusión de las primeras modificaciones en el diseño del producto, de modo que este permita poder aplicar las siguientes tipologías de servicios:

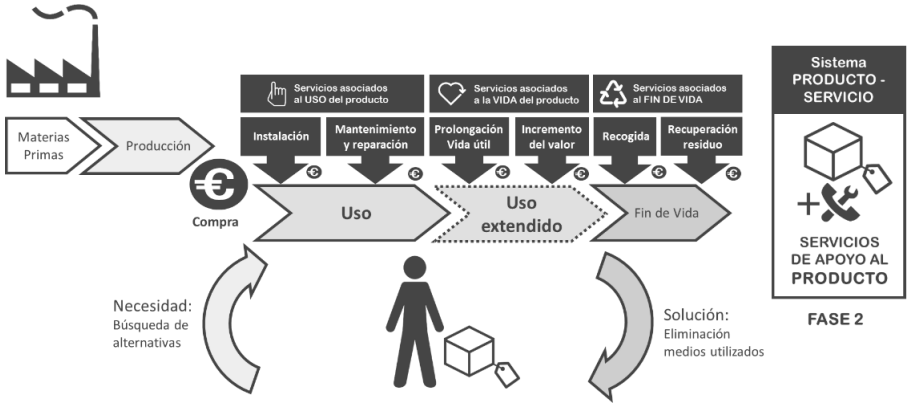
- **Prolongación de la vida útil:** El producto modifica su diseño para posibilitar el reacondicionamiento del mismo, esto es, la vuelta a las condiciones iniciales de puesta en el mercado, mediante la sustitución de aquellas piezas críticas. A su vez, se ofrecen servicios de extensión sobre la garantía del producto o la monitorización del mismo para evitar que se generen fallos técnicos e interviniendo sobre el mismo antes de que estos lleguen a producirse.
- **Incremento del valor del producto inicial:** El producto no sólo permite su reacondicionamiento sino también su actualización y modernización. Esto es, dispone de un diseño flexible que permite incorporar nuevas prestaciones no previstas inicialmente en su origen. El producto es capaz de ofrecer nuevas prestaciones simplemente en base a pequeños ajustes.

El resultado es un producto con una vida que se alarga sobre la inicialmente prevista y que además se adapta mejor a las necesidades y expectativas del cliente en cada momento. El desarrollo de esta fase está condicionada a que los ingresos obtenidos por la empresa fabricante a través de la prestación de todos estos servicios sean superiores al recorte que le va a suponer una mayor durabilidad de producto y por tanto un menor reemplazo del mismo. Menos productos fabricados pero que, junto con los servicios asociados, reportan mayores ingresos a la empresa implicada.

Además de esta simple ecuación, la empresa deberá tener en cuenta que la aplicación de estos servicios le va a permitir una mayor cercanía al cliente (y por tanto, una mayor fidelidad de este a la empresa). De igual modo, una mayor durabilidad del producto va a suponer una mejora en su imagen de marca por parte del usuario. A su vez, la primera empresa que acometa esta evolución en su modelo de negocio obtendrá la ventaja añadida del posicionamiento frente a la competencia y su diferenciación.

Desde el punto de vista ambiental, vidas más largas, así como una mejor respuesta a las necesidades del usuario, reduce de forma significativa el impacto ambiental.

Figura 9.- Fase 2 de la etapa de servicios de apoyo al producto.

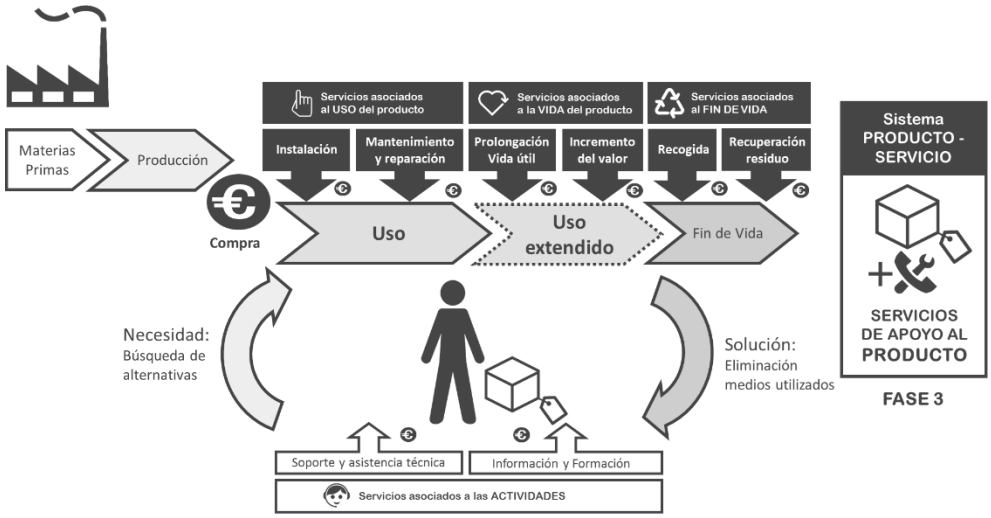


En la tercera fase de la etapa de servicios de apoyo al producto, descrita en la figura 10, la empresa fabricante comienza a alejarse del producto, pasando a prestar servicios de apoyo directamente al cliente. Es la fase de los servicios asociados a las actividades con el cliente, que se subdividen en:

- **Soporte y asistencia técnica:** El usuario del producto demanda en muchos momentos apoyo y asistencia para la resolución de dudas en relación al mismo. A través de este bloque de servicios, la empresa fabricante, el mejor conocedor del producto, ofrece respuesta a todas estas cuestiones. En función de la tipología de producto y del usuario del mismo, puede suponer incluso la cesión de personal propio de la empresa fabricante al cliente para la resolución de problemas concretos.
- **Información y formación:** Un manejo adecuado de un producto puede requerir cierta información. A través de este bloque de servicios, la empresa fabricante ofrece soluciones de información (manuales de producto, documentación técnica, información ambiental del producto,…) y de formación al cliente. Esta formación podrá incluso estar dirigida a personas que no son directamente clientes de la empresa, pero que sí desempeñan el rol de usuarios finales del producto.

La empresa diversifica su actividad con ingresos vinculados a servicios no directamente relacionados con su producto. Al igual que en los casos anteriores, todo ello permite una mayor cercanía al cliente, condición indispensable para la puesta en marcha de la últimas de las fases previstas en esta etapa para la servitización del producto.

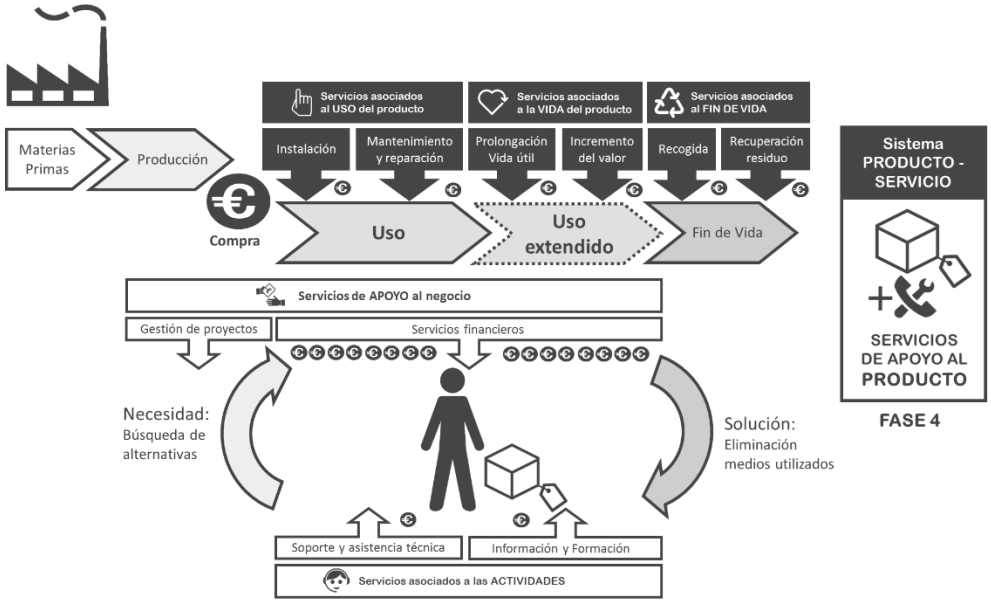
Figura 10.- Fase 3 de la etapa de servicios de apoyo al producto.



La cuarta y última fase de esta etapa consiste en apoyar al cliente en los momentos previos a la propia adquisición o compra del producto que da origen a la relación con la empresa fabricante. Descrita en la figura 11, los servicios ofrecidos en este punto se centran en apoyar al cliente a dar forma a la necesidad y a la búsqueda de alternativas de solución al problema planteado. Este bloque identificará servicios asociados a:

- **Gestión de proyectos:** El acercamiento al cliente conseguido en las fases anteriores, permite que el usuario pueda solicitar a la empresa fabricante el diseño de soluciones técnicas en base a su catálogo de productos (o incluso en base al de la competencia) que dé respuesta a sus necesidades. En este caso, el servicio consistiría básicamente en la gestión del proyecto técnico, previo por tanto a la compra del producto.
- **Servicios financieros:** Apoyo para buscar la mejor financiación que permita al cliente la compra del producto requerido.

Figura 11.- Fase 4 de la etapa de servicios de apoyo al producto.



En este punto de la servitización, la empresa fabricante dispondrá de un abanico de servicios lo suficientemente amplio como para plantear un nuevo modelo de relación con el cliente en el que, en lugar de ofrecer servicios individualizados para cada necesidad, exista una opción de acceso a un paquete integral que agrupe todas las prestaciones anteriores.

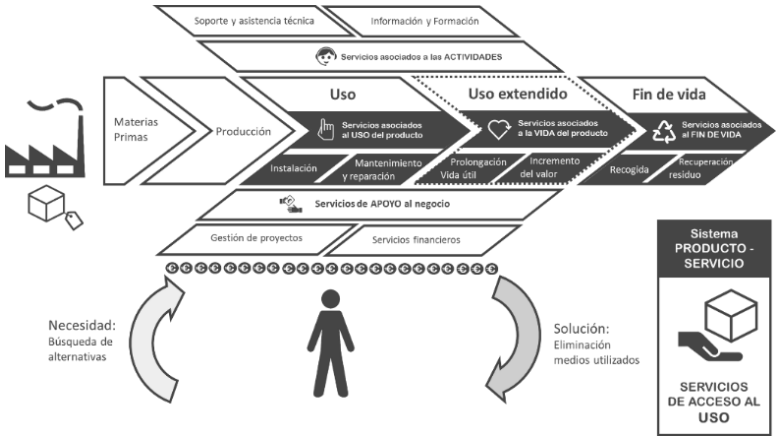
Esta solución integral, que se denomina “servicio de acceso al uso”, constituye la segunda etapa en la servitización de producto y se muestra esquemáticamente en la figura 12. En ella, el usuario accede globalmente a todos los servicios anteriores en base a un nuevo modelo de pago, asociado ya no a la compra del producto y a los servicios individuales solicitados, sino al uso que haga del mismo.

En este nuevo modelo de negocio, la propiedad del producto puede incluso quedar en todo momento en manos de la empresa fabricante, de tal modo, que el usuario en lugar de realizar un pago asociado a la compra, realiza pequeños abonos durante el tiempo que disponga de acceso al uso del producto. Con este modelo, la relación entre la empresa fabricante y el producto cambia radicalmente. Una vez que la propiedad del producto no se transfiere al usuario del mismo, su venta deja de ser la base del modelo de ingresos de la empresa. En este momento, la fabricación y el propio producto en sí mismo se convierten en un coste más asociado al sustento del modelo de negocio. Por tanto, y con el objetivo de poder reducir al máximo los costes del servicio para

ser más competitivo, la empresa fabricante podrá realizar mejoras en el diseño del mismo para permitir que el servicio prestado sea lo más económico posible.

Así, las estrategias asociadas a optimizar ambientalmente la vida del producto se desarrollarán en toda su amplitud.

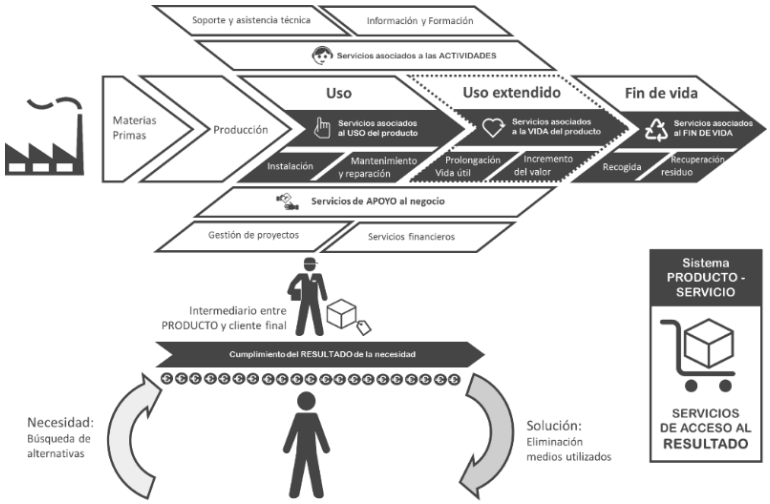
Figura 12.- Segunda etapa de implantación basado en el acceso al uso del producto.



La tercera y última de las etapas de este camino hacia la servitización del producto, consiste en basar el modelo de negocio no ya en el acceso al uso, sino en el acceso al resultado. En ella, el cliente ya no acede directamente al producto. Este sigue existiendo como elemento clave para dar respuesta a la necesidad planteada por el cliente, pero ya no es utilizado directamente por él. En la mayor parte de los casos, es un intermediario el que hace uso del producto en nombre del cliente final y este recibe únicamente el resultado obtenido. El modelo de negocio cambia también y el pago se realiza por el resultado obtenido ya que el cliente desconoce la intensidad del uso del producto que ha sido necesario para cubrir su necesidad planteada. El éxito de este modelo de negocio radica en que ese intermediario que maneja o utilizada el producto para conseguir el resultado deseado por el cliente, es un agente experto en el manejo del mismo, que asegura su uso del modo óptimo previsto. Esta optimización en el uso le asegura la posibilidad de ofrecer un precio competitivo y por tanto este intermediario entre el producto y el cliente final es ahora quien asumirá su propiedad. Otra opción sería que la misma siga en manos de la empresa fabricante, como en la etapa anterior.

En la figura 13 se muestra esquemáticamente el funcionamiento de esta etapa.

Figura 13.- Tercera etapa de implantación basado en el acceso al resultado esperado del producto.



4. CONCLUSIONES

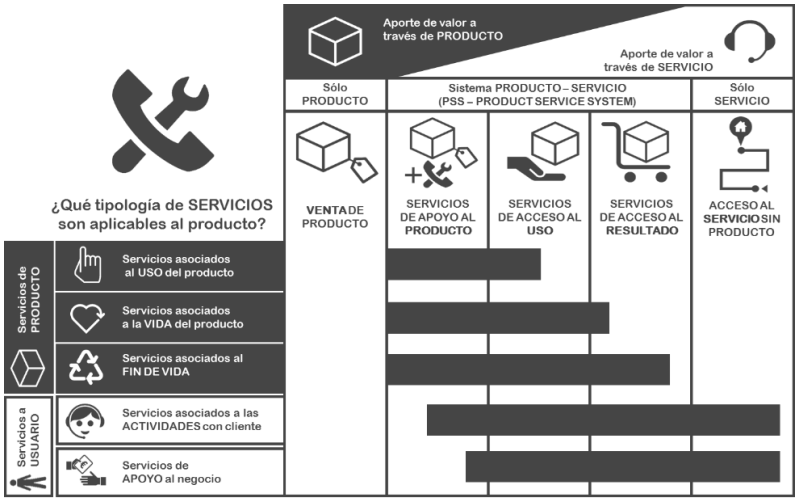
La servitización de producto es una estrategia de actuación que aúna el desarrollo de nuevos modelos de negocio para las empresas al mismo tiempo que oferta soluciones más ecoeficientes, ya que permite implementar soluciones que aumentan la durabilidad de producto y optimizar la gestión en su fin de vida. Para ello, existen diferentes fases de aplicación, en base al concepto de doble ciclo de vida. En cada etapa y subfase, en función de la cercanía al usuario, se irán aplicando unos u otros. Todo ello estará además personalizado y adaptado a la estrategia de servitización que cada empresa despliegue.

Representados en la figura 14, y tomando como punto de partida el enfoque definido por Tan (2011), se muestran todas las tipologías de servicios aplicables, graduados en base a dos extremos, uno de ellos representado por el producto en sí mismo y el otro representado por el usuario del mismo.

Figura 14.- Representación gráfica de las tipologías de servicios aplicables al producto.

La empresa que aplique el proceso de servitización, comenzará ofertando aquellos servicios asociados a su área de mayor conocimiento, como es el propio producto. A medidas que su puesta en marcha le permita desarrollar un mayor acercamiento al cliente, los servicios ofertados irán alejándose del producto y se centrarán más sobre el usuario. Este proceso gradual de mayor servitización y mayor alejamiento del propio producto, permitirá a la empresa ir evolucionando en la aplicación de los principios del sistema producto-servicio. En línea con lo expuesto por Tukker y Tischner (2006), en un proceso de servitización total en la que ya no exista siquiera el producto, todos los servicios estarán únicamente relacionados con el usuario. La Figura 15 muestra cómo la evolución en la tipología de servicios que se apliquen (bien sobre el producto o sobre el cliente) va a estar directamente relacionado con el grado de servitización que la empresa esté desarrollando en su modelo de negocio.

Figura 15.- Relación entre servicios aplicables y etapas previstas en la servitización de producto.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brezet, H. (1996). LiDS - Life Cycle Design strategies. TU Delft. Holanda.

Brezet, H. (1998). PROMISE Manual. TUDelft, TME Institute y TNO Product Centre. Holanda

Clinton, L. & Whisnant, R. (2014). Model Behavior. 20 Business Model Innovations for Sustainability. SustainAbility Inc. Nueva York. EEUU.

Comisión Europea. (1992) Directiva 92/75/CEE del Consejo, de 22 de septiembre de 1992, relativa a la indicación del consumo de energía y de otros recursos de los aparatos domésticos, por medio del etiquetado y de una información uniforme sobre los productos.

Ditte Oh Yung Sook Mikkelsen (2012). Development of archetypical Product/Service-System approaches for the maritime industry. Master thesis. Design and Innovation. DTU Management Engineering. Technical University of Denmark. Dinamarca.

Hellek Finken, K. & McAloone, T.C. & Avlonitis, V. & Garcia I Mateu, A. & Bejbro Andersen, J. & Mougaard, K. & Neugebauer, L. & Hsuan, J. (2013) PSS ToolBook: A workbook in the PROTEUS series, PRO-04. Denmark. Technical University of Denmark. Dinamarca.

Henriksen, K. & Bjerre, M. & Almasi, A.M. & Damgaard-Grann, E. (2012). Green Business Model Innovation Series. Oslo.Norway. Nordic Innovation: Macmillan.

Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco (2000). Manual Práctico de Ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos. Bilbao. España.

Osterwalder, A. & Pigneur, Y. & Smith, A. (2010). Business Model Generation, www.businessmodelgeneration.com.

Porter, E. M. & Van der Linde, C. (1995). Towards a new conception of the environment–competitiveness relationship. Journal of Economic Perspectives. Vol. 9, 97–118.

Rennings, K. (2000). Redefining innovation: Eco-innovation research and the contribution from ecological economics. Ecological Economics Vol. 32, 319–332.

Tan, A.R. & McAloone, T.C. & Andreasen, M.M. (2006). What happens to Integrated Product Development. Models with Product/Service-System approaches?. 6th Integrated Product Development Workshop.

Tan, A.R. (2011). Service-oriented strategies: a framework for development and the contribution to material productivity. BIO Intelligence Service. Paris. Francia.

Tukker, A. (2004). Eight types of Product-Service Systems: Eight Ways to Sustainability?. Business Strategy and the Environment. Vol. 13, 246–260.

Tukker, A. & U. Tischner (2006). New Business for Old Europe: Product-service development, competitiveness and sustainability. Greenleaf Publishing, Sheffield. Reino Unido.

Vandermerwe, S. & Rada, J. (1988). “Servitization of business: Adding value by adding services”. European Management Journal, Vol. 6 N. 4, 314-324.

Wang, F. & Huisman, J. & Stevels, A. &Baldé, C.P. (2013). Enhancing e-waste estimates: Improving data quality by multivariate Input–Output Analysis. Journal of Waste Management. Elsevier.

03-004

THE PRINCIPLES OF CIRCULAR ECONOMY IN PRODUCT ENGINEERING

Fernandez Alcala, Jose
Maria Ihobe

Circular economy is defined as the one that aims to produce goods and services while reducing the consumption of raw materials, water and energy. It is therefore an economic concept which seeks to implement a new economy - not a linear one, based on the principle of "closing the life cycle" of products, services, waste, materials, water and energy. A circular economy has important implications for the management of product engineering, which is enriched with principles such as extended producer responsibility or ecodesign. New design strategies, such as design for reuse, recycling, remanufacturing or renovation and modernization of the product have to be taken into account from the early stages of design. This concept allows to extend the life cycle of the product, at the same time creating new jobs and businesses associated with the recovery of the product as a whole, component parts, materials and raw materials, inserting all new in circular concept of the activity associated with product engineering.

Keywords: *Circular economy; remanufacturing; reuse; design; product.*

LOS PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LA INGENIERÍA DE PRODUCTO

Se entiende por economía circular a aquella que tiene por objetivo la producción de bienes y servicios al tiempo que reduce el consumo de materias primas, agua y energía. Es por tanto un concepto económico que persigue implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía. Una economía circular presenta importantes implicaciones en la gestión de la ingeniería del producto, que se ve enriquecida con principios como la responsabilidad extendida del productor o el Ecodiseño. Nuevas estrategias de diseño, como el diseño para la reutilización, el reciclaje, la remanufactura o la renovación y modernización del producto han de ser tenidas en cuenta desde las tempranas fases de diseño. Este concepto permite alargar el ciclo de vida del producto, al mismo tiempo que crea nuevos empleos y negocios asociados a la recuperación del producto en sus conjunto, las piezas que lo componente, los materiales y las materias primas básicas, insertando todos ellos de nuevo en un concepto circular de la actividad asociada a la ingeniería de producto.

Palabras clave: *Economia circular; remanufactura; reutilización; diseño; producto.*

Correspondencia: Jose María Fernandez Alcala jose_maria.fernandez@ihobe.net

1. INTRODUCCIÓN

Hay múltiples definiciones de lo que se entiende por una economía circular en la literatura. La Fundación Ellen MacArthur (2013) define la economía circular como un sistema vivo que crea valor asociado al uso de los productos, en vez de asociado al consumo de recursos y energía. Para ello, sostiene que la durabilidad de los productos y recursos es la clave. Principios básicos de la economía circular son utilizar recursos naturales y no tóxicos, el diseño para el desmontaje y emplear energías de origen renovable.

Para la Agencia Federal Alemana de Medio Ambiente (2012) y el Gobierno de Holanda (2014), una economía circular es un sistema económico basado en la reutilización de productos y materiales, así como en la conservación de los recursos naturales. También se esfuerza por lograr la creación de valor para las personas, la naturaleza y la economía en cada parte del sistema.

De forma teórica, una economía es circular cuando los materiales circulan infinitamente. Esto significa que el sistema económico funciona a través de los principios ecológicos, según los cuales:

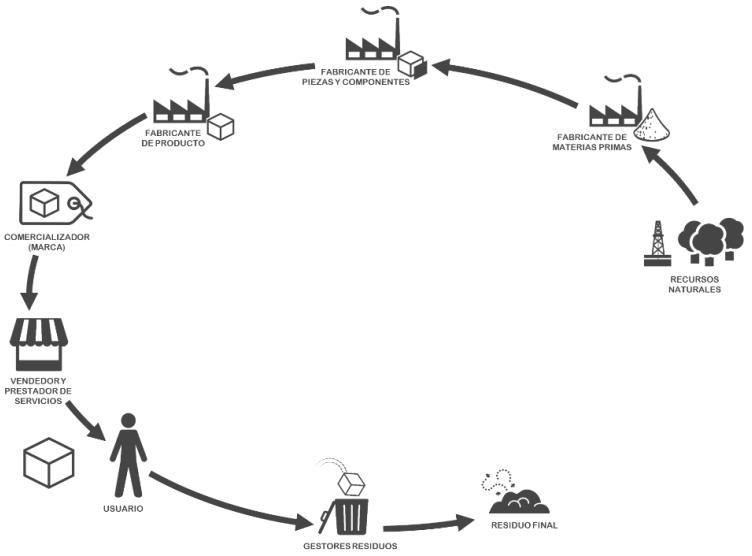
- Todos los recursos pueden ser utilizados en otras partes del sistema económico de forma sostenible (limpio, seguro y socialmente responsable) y todos los residuos se utilizan como recurso;
- Los recursos renovables y el uso más inteligente de los actuales procesos físicos se convierten en la base de la economía;
- La minería de los recursos biológicos y geológicos se realiza de forma sostenible;
- La energía consumida es de origen renovable; y
- Nuevos tipos de organizaciones y modelos de negocio surgen para hacer esto posible.

Fruto de todo ello, la Comisión Europea (2013) considera que la economía circular puede aportar oportunidades reales en la creación de empleo en Europa.

Economía circular aplicada a la ingeniería de producto productos

Los principios de la economía circular también son aplicables a la ingeniería de producto. Todo producto dispone de un Ciclo de Vida que comienza con la obtención de materias primas y componentes necesarios para su fabricación a partir de recursos naturales, pasando por su montaje, distribución, comercialización, uso por parte del cliente que adquiere dicho producto y fin de vida una vez que dicho producto es desechado y se convierte en un residuo que es necesario gestionar. Este ciclo de vida de producto queda esquematizado en la figura 1.

Figura 1.- Ciclo de Vida de un producto



Este ciclo de vida así definido constituye un sistema ineficiente que no es capaz de cerrar el ciclo de los materiales. Por lo tanto, en una economía circular, como punto de partida debiéramos asegurar que se produjera la reutilización de ese residuo final, convirtiéndolo en nuevas materias primas que reintegrar al proceso constructivo, reduciendo, e idílicamente eliminando por completo, la cantidad de recursos naturales a extraer. Este sería el primero de los anillos en la circularidad de ese nuevo modelo económico, el relativo a la gestión de los residuos.

Sin embargo, existen otros anillos que son posibles cerrar en este sistema de producto, asociados a un mayor uso del producto, asegurando su recirculación en el sistema antes de que el producto se haya convertido en un residuo. Todos ellos constituyen la aplicación de la economía circular aplicada a la ingeniería de producto.

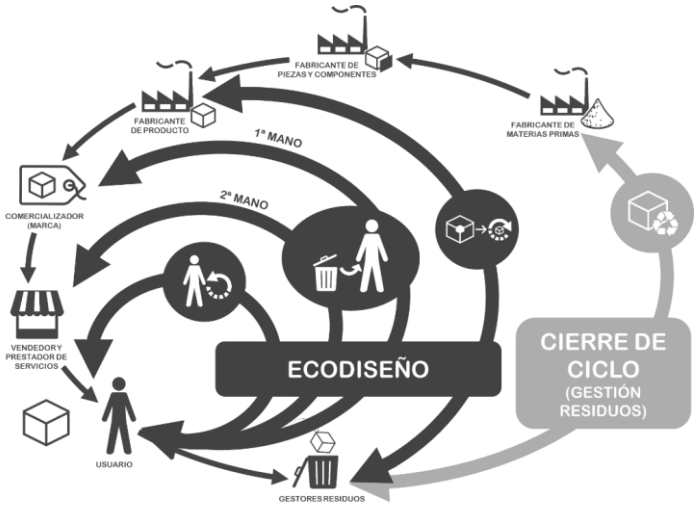
2. OBJETIVOS

El objetivo de la presente ponencia es identificar las estrategias de actuación que desde la ingeniería de producto pueden favorecer los principios de una economía circular. Tal y como se detalla en la figura 2, partiendo del concepto del ciclo de un producto, es posible trazar hasta cinco cierres de anillo entre las diferentes etapas identificadas para así poder asegurar la mayor circularidad posible de los recursos y por tanto de los conceptos económicos aplicados al producto. Esto se materializa en una serie de estrategias, que son:

- Aumentar la vida útil del producto (mismo usuario)
- Fomentar la reutilización del producto (nuevo usuario y a través de mercados de segunda mano).
- Asegurar la recuperación del producto y su nueva puesta en el mercado (nuevo usuario).
- Fomentar la recuperación parcial del producto (piezas y/o componentes)
- Asegurar el reciclaje de las materias primas del producto (gestión de residuos)

Todas ellas pueden verse reforzadas desde un adecuado diseño en la fase de ingeniería de producto. Las cuatro primeras están íntimamente relacionadas con el Ecodiseño, metodología de diseño de producto que, tomando en consideración el comportamiento ambiental del mismo a lo largo de todo su ciclo de vida, persigue el desarrollo de nuevos productos que minimicen su impacto ambiental. En el Ecodiseño, dos áreas prioritarias de actuación son las relativas al “diseño para prolongar la vida útil del producto”, así como el “diseño para un adecuado fin de vida”. La quinta estrategia, la relativa al cierre del ciclo asociada a la gestión de residuos, está principalmente en manos de las empresas dedicadas a la obtención de materias primas secundarias, gestores de fin de vida, recicladores y procesadores de materias primas de origen reciclado. Sin embargo, como podremos ver más adelante, también es posible facilitar su aplicación desde el diseño de producto.

Figura 2.- Anillos en la circularidad del Ciclo de Vida de un producto



3. METODOLOGÍA

A continuación, se analiza en mayor profundidad las diferentes estrategias de actuación que son aplicables desde el diseño del producto, en base a los diferentes anillos de circularidad en la economía asociada a un producto descritos en la figura 2.

3.1. ¿Cómo aumentar la vida útil del producto? (mismo usuario)

El punto de partida hacia la economía circular aplicada al producto comienza durante la fase de uso o utilización por parte del cliente que lo adquiere o bien simplemente accede al mismo. En la medida en que ese producto es retenido por parte de su usuario por más tiempo, aseguramos una mayor eficiencia en el uso de los recursos que han sido necesarios para su obtención.

Para poder aumentar la vida útil del producto se identifican a su vez tres subestrategias:

- **Diseño para la durabilidad**

Entendemos por vida técnica de un producto, la duración estimada de un producto en condiciones normales de uso y predefinida en la fase de diseño. El diseño para la durabilidad es la estrategia de diseño cuyo objetivo es alargar esta vida técnica del producto, asegurando un diseño robusto de los componentes que permita una mayor durabilidad del mismo.

El diseño para la durabilidad se plantea como estrategia contraria al concepto de "obsolescencia programada", cuyo objetivo es reducir intencionadamente desde el diseño la vida técnica de un producto, para así poder incrementar sus ventas.

Para la aplicación del diseño para durabilidad, existen una serie de recomendaciones genéricas de diseño, recogidas en la tabla 1.

Tabla 1.- Pautas de actuación en el "diseño para el durabilidad"

Diseño para la **DURABILIDAD**
- Establecer un diseño de producto robusto que asegure la durabilidad tanto del producto en su conjunto como de aquellos componentes críticos.
- Asegurar largas disponibilidades de repuestos del producto.
- Prescribir dispositivos de soporte de producto (conectores, sistemas operativos, suministros,…) unificados y no cambiantes en el tiempo.
- Prescindir de cromados y otros acabados superficiales que con el uso puedan deteriorarse, dando lugar a una imagen poco atractiva del producto.
- Si el producto dispone de iconografía sobre el mismo para su adecuado manejo (mando de instrucciones, accionamientos,…) es preferible grabar dichos elementos que utilizar sistema de impresión que con el uso y la limpieza puedan borrarse (haciendo más difícil el manejo por parte del usuario).

- **Diseño para la fidelización**

Estrategia de diseño cuyo objetivo es aumentar el grado de relación afectiva entre el usuario y el propio producto, para asegurar que el producto no sea desechado voluntariamente por el usuario del mismo antes de la vida técnica estimada. En muchas ocasiones y debido a presiones emocionales o de tendencias de mercado incitadas por los propios fabricantes, los productos son desechados antes de cumplir su vida técnica de forma voluntaria por su usuario. Un diseño clásico de producto (no afectado por las modas) que sea capaz de crear un lazo de afectividad con el usuario, permitirá que la vida real del producto sea próxima a su vida técnica.

El diseño para la fidelización se plantea como estrategia contraria al de la "obsolescencia percibida", cuyo objetivo es que el producto sea desechado de forma voluntaria antes incluso del fallo técnico del producto.

La tabla 2 recoge algunas pautas de actuación en la fase de diseño para asegurar el diseño para la fidelización de un producto.

Tabla 2.- Pautas de actuación en el "diseño para la fidelización"

Diseño para la **FIDELIZACIÓN**
- Establecer un diseño de producto clásico, no afectado por las modas cambiantes.
- Si no se desea un diseño clásico, plantear un diseño que pueda ser fácilmente reconfigurado por el cliente a las nuevas tendencias (colores, acabados superficiales,…).
- Establecer una fuerte relación de pertenencia entre el producto y cliente, de tal modo que se trabaje la idea del no rechazo a deprenderse del mismo por parte del cliente.
- Establecer un diseño de producto modular y ampliable/reducible en tamaño y prestaciones, de forma que pueda adaptarse a nuevos requerimientos de cliente.
- Diseño de producto flexible, que sea capaz de dar adaptarse a necesidades cambiantes del cliente (en función de su evolución).

- **Diseño para la reparabilidad**

Estrategia de diseño orientada a facilitar el mantenimiento y reparabilidad del producto en caso de fallo o avería. Un mal uso del producto o el simple fallo accidental del mismo no es motivo para que un producto deba ser necesariamente desechado. La reparabilidad de un producto debe ser analizada desde la fase de diseño para asegurar que aquellos fallos más comunes puedan ser fácilmente resueltos. De igual modo, aquellos componentes que requieran un mantenimiento periódico, deberán estar fácilmente accesibles, lo cual redundará en una reducción de costes y un precio de reparación competitivo que evite su desecho.

Para poder aplicar mejor esta estrategia de diseño, conviene conocer a detalle el proceso habitual que se sigue para la reparación de un producto, esquematizado en la figura 3, y que supone:

- La entrega del producto averiado por parte del propietario del mismo, a través de la red de agentes de servicio técnico o similar.
- La diagnosis del producto, para conocer con exactitud el origen de la avería.
- El desmontaje de aquella parte del producto que sea necesaria para poder acceder al componente a reparar.
- La reparación propiamente dicha, bien sea mediante la intervención directa en el problema detectado, o mediante la sustitución de piezas defectuosas.
- El montaje del producto.
- Un test de verificación del correcto funcionamiento del producto una vez reparado.
- La devolución al cliente, a través del medio seleccionado.

Figura 3.- Procesos que sigue la reparabilidad de un producto

Un correcto "diseño para el reciclaje" deberá tener en cuenta estas etapas, para tratar de minimizar tiempos y costes en cada una de ellas. De ello dependerá en gran medida la competitividad en el mercado de la reparabilidad frente al desecho y sustitución por un nuevo producto. Algunas pautas de actuación para la aplicación de esta estrategia quedan recogidas en la tabla 3, en base a lo definido por Autodesk (2012) en su programa de apoyo a la reparabilidad de producto.

Tabla 3.- Pautas de actuación en el "diseño para la reparabilidad"

Diseño para la **REPARABILIDAD**
- Utilice conjuntos modulares que permiten la sustitución de componentes críticos.
- Garantizar un acceso fácil a las piezas que puedan necesitar mantenimiento periódico.
- Utilice conectores robustos, que permitan fácil montaje-desmontaje.
- Estandarizar entre líneas de productos y a través de las diferentes generaciones del mismo (ver más adelante "diseño para la estandarización").
- Establecer servicios de asistencia técnica así como recambios a precio competitivo.
- Definir documentación técnica libremente accesible o de código abierto.
- Incluir listados de piezas y referencias.
- Crear interfaces de usuario y herramientas de solución de problemas para diagnosticar problemas.

3.2. ¿Cómo fomentar la reutilización del producto? (nuevo usuario)

Una vez que el producto ha sido desechado por su usuario, el objetivo es ser capaces de fomentar nuevos usos del mismo, y la forma más fácil es mediante la reutilización del producto en mercados secundarios y dirigidos a un cliente diferente al original.

La reutilización tiene una base tecnológica relativamente sencilla, ya que no implica procesos industriales complejos ni costosos.

Previo a la reutilización se asegura que el producto funciona correctamente, procediendo a su reparación si fuera necesario. Sin embargo, no se plantea ninguna modificación o mejora adicional. La figura 4 muestra el proceso habitual que se sigue para la reutilización de un producto. A diferencia de la reparación, en la reutilización toma especial relevancia la logística inversa para la recogida del producto y el acceso a nuevos canales de comercialización.

Figura 4.- Procesos necesarios para la reutilización de un producto

Por su sencillez, es una de las alternativas más ecoeficientes para la reducción de residuos industriales. De forma general, la reutilización es una estrategia medioambiental mucho más beneficiosa para el medio ambiente que el reciclaje, por lo que deberá ser priorizada, siempre que las características de los productos lo hagan posible y no se pongan en riesgos otros aspectos, como por ejemplo su seguridad y fiabilidad. Ahí radica la importancia de la diagnosis previa del producto.

3.3. ¿Cómo asegurar la recuperación del producto y su nueva puesta en el mercado? (nuevo usuario)

Más allá de la reutilización directa del producto en mercados secundarios, existen otras vías de recuperar el producto, con mayor nivel de intervención sobre el mismo, e incrementando así su valor en el mercado.

En este caso, a diferencia de lo que ocurría en los dos anillos anteriores, las estrategias no son complementarias sino que son excluyentes. Es necesario por tanto elegir la más adecuada para cada caso. La selección estará directamente relacionada con el valor de mercado del producto reutilizado, entendido éste como el importe neto que razonablemente podría esperar recibir un oferente por el intercambio de un bien o servicio en la fecha de valoración, mediante una comercialización adecuada, y suponiendo que existe al menos un demandante con potencial económico, correctamente informado de las características del producto, y que ambos, tanto la oferta como la demanda, actúan libremente y con un objetivo específico. Al final de la presente ponencia se dan unas pequeñas pautas a la hora de seleccionar la estrategia a implementar.

En este anillo de actuación podemos distinguir tres diferentes subestrategias:

- **La renovación del producto**

Estrategia que persigue no sólo la reutilización del producto sino su mejora estética, para que tenga una apariencia de nuevo, incrementando así su valor de mercado. La renovación incluye también la diagnosis y reparación del producto en caso de que fuera detectado algún problema. Puede incluir alguna mejora funcional menor, pero su destino sigue siendo principalmente mercados de segunda mano. Las etapas a seguir para la renovación del producto, descritas en la figura 5, son las mismas que para la reutilización, junto con una limpieza y adecuación estética del producto, previo a su comercialización.

Figura 5.- Procesos necesarios para la renovación de un producto

- **El reacondicionamiento del producto.**

Va más allá de la renovación del producto e incluye una inspección en profundidad que asegure su correcto funcionamiento, con garantía en el producto entero, pero sin tener un estatus de producto nuevo. Las etapas a seguir, descritas en la figura 6, incluyen tanto la inspección como la sustitución preventiva de aquellas piezas y componentes que, aun siendo operativas, pueden plantear un problema de integridad en el corto plazo. Su destino sigue siendo mercados de segunda mano, pero en este caso pueden competir con productos de altas prestaciones.

Figura 6.- Procesos necesarios para el reacondicionamiento de un producto

- **La remanufactura del producto**

De acuerdo con Hauser y Lund (2008), la remanufactura es la estrategia de recuperación de producto más avanzada. Para Steinhilper (1998), cubre no sólo los aspectos de la renovación y el reacondicionamiento de forma conjunta, sino que persigue la modernización e incorporación de nuevas funcionalidades en el producto. Estas nuevas funcionalidades pueden ir desde mejoras en el diseño original derivadas del aprendizaje de la puesta en el mercado del producto (fallos frecuentes, errores en el diseño original,…) hasta nuevas prestaciones y funcionalidades añadidas que son aplicables con la incorporación de nuevos componentes. Esta etapa adicional se suele aplicar en la fase final del proceso de recuperación, tal y como recoge la figura 7.

El resultado es un producto con iguales o mejores prestaciones que el original y las mismas garantías que un producto nuevo, pudiendo introducirse así en mercados de primera mano.

Figura 7.- Procesos necesarios para la reutilización de un producto

3.4. ¿Cómo Fomentar la recuperación parcial del producto (piezas y/o componentes)?

Una vez que ya no es viable la recuperación del producto en su conjunto, es necesario analizar la posibilidad de recuperación parcial de algunas piezas del mismo, principalmente aquellas

que tengan una durabilidad mayor que la del resto del producto en condiciones de fiabilidad y aquellas con suficiente valor en el mercado como para compensar los costes necesarios del proceso industrial asociado para su recuperación.

Existen diferentes estrategias de diseño que facilitan esta recuperación parcial del producto:

- **Diseño para el desmontaje**

Constituye uno de los procesos fundamentales en todas las estrategias de economía circular aplicada al producto. Como hemos podido ver, casi todas las estrategias incluyen en mayor o menor medida el desmontaje total o parcial del producto. Incluso para el reciclaje del producto es necesario algún tipo de desmontaje previo. Por tanto, la primera consideración a tener en cuenta es que, dependiendo de cuál sea el destino de las piezas, el desmontaje tendrá unas características u otras. Así, la reutilización obliga a un desmontaje mucho más cuidadoso que el reciclaje, pero en todo caso, es un proceso que consume recursos y tiempo y que condiciona la calidad final del producto.

Varios son los factores que condicionan el proceso de desmontaje, las más importantes:

- Número de piezas diferentes en el producto.
- Tipo de unión de las piezas a recuperar del resto del conjunto. Distintos tipos de unión, ordenados de mayor a menor facilidad de desmontaje serían: adherencia, velcro, pestañas o pinzas, encajado, atornillado, ajuste por apriete, soldadura con el mismo material, soldadura con otro material adicional, adhesivo o pegamento.
- Características de las piezas a desmontar: accesibilidad, volumen, peso, fragilidad, peligrosidad,…
- El destino de las piezas a desmontar, ya mencionado anteriormente.
- Las condiciones del proceso en su conjunto: número total de piezas, tiempo estimado de desmontaje, calidad exigida,…

Un parámetro importante y que cada vez está siendo mejor estudiado es el tiempo de desmontaje, un parámetro fácilmente medible y que da una clara orientación del coste económico de desmontaje de un producto.

Todo esto, permite definir una serie de pautas de actuación a tener en cuenta durante el proceso de diseño del producto que faciliten su desmontaje. Tomando como punto de partida lo desarrollado por Fernandez (2007), en la tabla 4 se indican algunas pautas genéticas de actuación.

Tabla 4.- Pautas de actuación en el "diseño para el desmontaje"

Diseño para el **DESMONTAJE**
- Seleccionar tipos de uniones que faciliten el desmontaje, priorizando sistemas mecánicos frente a uniones permanentes.
- En el caso de uniones atornilladas: ▪ Asegurar que estas uniones son visibles y fácilmente accesibles (facilitando el uso de la herramienta necesaria). ▪ No obligar a roscar más longitud de la estrictamente necesaria. ▪ Emplear tornillos con la cabeza lo más resistente posible, para evitar que se desgaste o deforme en el proceso de desmontaje. ▪ Unificar el tipo de cabeza de tornillo empleada en todo el producto (evitando tener que cambiar de herramienta en el proceso de desmontaje).
- Realizar diseños modulares, con cierta autonomía entre la parte electrónica, mecánica, estética,…
- Tener en cuenta la accesibilidad de todas las uniones para que se pueda operar de manera sencilla.
- Reducir el número de operaciones necesarias para el desmontaje.
- Introducir asas, muescas, acabados superficiales, indicaciones,… en el producto que faciliten las tareas de desmontaje.
- Elaborar manuales de instrucciones para el desmontaje.

- **Diseño para la estandarización**

Estrategia de diseño de producto orientada al establecimiento de una serie de normas obligatorias a seguir, dentro del departamento de ingeniería de producto de una empresa, para asegurar que tanto los materiales empleados, como los componentes, sistemas de unión y en general aquellas piezas de uso común en diferentes modelos, cumplen una serie de requisitos comunes de homogeneidad. El objetivo es reducir las variaciones de sus tipos y grados, logrando unas características comunes de calidad y favoreciendo las tareas asociadas a la gestión de fin de vida de los productos y en especial, las estrategias de recuperación del producto.

El diseño para la estandarización, lejos de suponer un freno en el proceso de diseño de los ingenieros y diseñadores, facilita la toma de decisiones y es una fuente de reducción de costes económicos en la empresa, ya que al tener ciertos componentes normalizados, su aplicación será efectiva en diferentes modelos al mismo tiempo, reduciendo el número de stocks en la empresa, obteniendo un precio menor al requerir un mayor número de unidades y facilitando el servicio de los equipos técnicos de mantenimiento y reparación.

La tabla 5 recoge algunas pautas de actuación para la aplicación del diseño para la estandarización.

Tabla 5.- Pautas de actuación en el "diseño para la estandarización"

Diseño para la **ESTANDARIZACIÓN**
- Analizar los componentes comunes o asimilables para distintas tipologías de producto y establecer normas internas que fijen sus características comunes (intercambiabilidad).
- Asegurar la estabilidad en prescripción de componentes estándar a lo largo del tiempo.
- En caso de no ser posible la estandarización, fijar reglas de complementariedad o compatibilidad de diferentes soluciones.
- Unificar el tipo de uniones (métrica, roscados, adhesivos,…).
- Unificar o compatibilizar los accesorios, recambios, consumibles, conectores,… para diferentes productos de la misma familia.

- **Diseño para la reutilización de piezas y componentes**

Estrategia de actuación orientada a la reutilización parcial de aquellas piezas de algo valor y funcionalidad, sometiendo el resto del producto a estrategias de reciclaje y valoración. Será de aplicación en aquellos casos en los que no es posible o recomendable recuperar íntegramente un producto, bien desde un punto de vista técnico o porque simplemente el mercado no es receptivo a la comercialización de productos recuperados. La tabla 6 recoge algunas pautas de actuación para su aplicación.

Tabla 6.- Pautas de actuación en el "diseño para la reutilización de piezas"

Diseño para la **REUTILIZACIÓN** de piezas y componentes
- Identificar aquellas piezas de alto valor susceptibles de reutilización y ubicarlas de modo accesible.
- En ese tipo de piezas, prescindir de uniones permanentes (adhesivo, soldado,…) optando por uniones mecánicas desmontables y que no dañen el producto (clipajes, roscados,…).
- Evitar que las uniones se deterioren, es decir, que se oxiden o desgasten los roscados, que cambien las propiedades de adherencia, que se trabe el deslizamiento de piezas,…
- Plantear desde el equipo de ingeniería incrementar la vida técnica de piezas de alto valor teniendo en cuenta sus ciclos de reutilización.
- Asegurar largos ciclos de estandarización para piezas reutilizables en otros modelos del producto.

3.5. ¿Cómo asegurar el reciclaje de las materias primas del producto (gestión de residuos)?. Diseño para el reciclaje

Entendemos como reciclaje a todas aquellas actividades que conducen a que todos o parte de los materiales constituyentes de un producto pasen a un nuevo ciclo de producción, tras la aplicación de diversos procesos de identificación, separación, clasificación y tratamiento.

La norma alemana VDI 2243:2002-07 trata sobre los aspectos técnicos y económicos del reciclado de productos y propone estrategias para poder aumentar su reciclabilidad. Su objetivo es proporcionar a los responsables de producto y en particular, a los desarrolladores y/o diseñadores, información, instrucciones y ayuda en la toma de decisiones durante la fase de desarrollo del producto, con el fin de poder preparar y seleccionar las mejores posibilidades, alternativas técnicas y económicas para aumentar la reciclabilidad al final de su vida útil. La tabla 7 recoge algunas pautas de actuación para su aplicación.

Tabla 7.- Pautas de actuación en el "diseño para el reciclaje"

Diseño para el **RECICLAJE**
- De ser posible, optar preferiblemente por soluciones monomateriales.
- En caso de ser necesarios distintos materiales, seleccionar materiales similares o compatibles, reprocesables conjuntamente o fáciles de separar por medios industriales (densidades, contenido magnético, infrarrojos,…).
- Utilizar uniones pegadas sólo para aquellas piezas compatibles entre sí en el proceso de reciclado, asegurando que el pegamento utilizado tenga una composición que sea compatible con las materias primas de las piezas que se unen.
- Identificar y etiquetar las diferentes partes para su correcto tratamiento posterior.
- Asegurarse de que de entrada, los materiales seleccionados sean todos reciclables.
- Utilizar uniones que estén fabricadas en los mismo materiales que las partes que unen (cordón de soldadura, remaches,…).
- En el caso de plásticos, marcar los materiales según la norma UNE-EN ISO 11469:2001.
- Reducir la pintura y en general los recubrimientos superficiales: inmersión, anodizado, electrodeposición,…ya que pueden contaminar el material y hacerlo inviable en el proceso de reciclado.

En aquellos casos en los que no es posible reciclar los materiales directamente, previo a su aprovechamiento energético o a su gestión controlada, existe también la posibilidad de recuperación de materias primas más básicas. Así por ejemplo, en algunos plásticos, en lugar de ser posible reciclar directamente un cierto tipo de material, es posible obtener alguna de las sustancias previas necesarias para la obtención de dicho material. Es por ello, que distinguiremos entre el diseño para el reciclaje (estrategia asociada a la recuperación de materiales y de mayor valor ambiental) del diseño para la recuperación de materias primas.

4. RESULTADOS

Tal y como hemos podido comprobar a lo largo de la presente ponencia, existen diferentes estrategias resultantes de la aplicación de los principios de la economía circular a la ingeniería de producto.

La selección de la estrategia a aplicar dependerá de diferentes factores, desde económicos hasta estratégicos. Será también decisiva la implantación de nuevos modelos de negocio dentro de la empresa que puedan dar soporte a su aplicación y puesta en marcha.

Sin embargo, desde el punto de vista ambiental, el conjunto de estrategias asociadas a la recuperación del producto y su nueva puesta en el mercado (que cubre la renovación, reacondicionamiento y la remanufactura) están claramente por encima del proceso más tradicional de recuperación de materiales o materias primas.

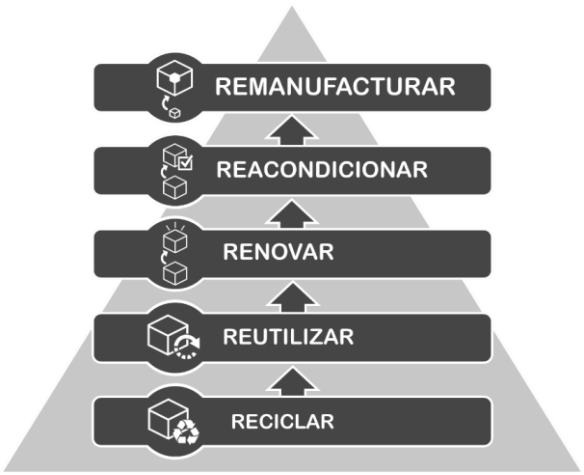
A diferencia del reciclaje que recupera sólo una parte de los materiales, las estrategias de recuperación de producto evitan tener que pasar nuevamente por las fases industriales convencionales del desarrollo y fabricación de un nuevo producto, permitiendo así recuperar la mayor parte de los recursos necesarios para su procesamiento. De acuerdo con Hauser y Lund (2012), la remanufactura permite recuperar entre el 85% y el 95% de los materiales y la energía consumidos en el producto orginal. Del mismo modo, estas estrategias aprovechan y maximizan el conocimiento incorporado en el producto durante su diseño y fabricación.

A su vez, la reutilización directa del producto, por similares características, aunque en menor medida, también está por encima del propio reciclaje.

Por último, entrando al detalle de las tres subestrategias definidas para la recuperación del producto y su nueva puesta en el mercado, la remanufactura será, dado que es la que mayor valor de mercado y fiabilidad aporta al cliente, la mejor desde el punto de vista ambiental, seguida del reacondicionamiento y la renovación.

La figura 8 muestra por tanto la jerarquía ambiental para las estrategias de diseño para el fin de vida del producto.

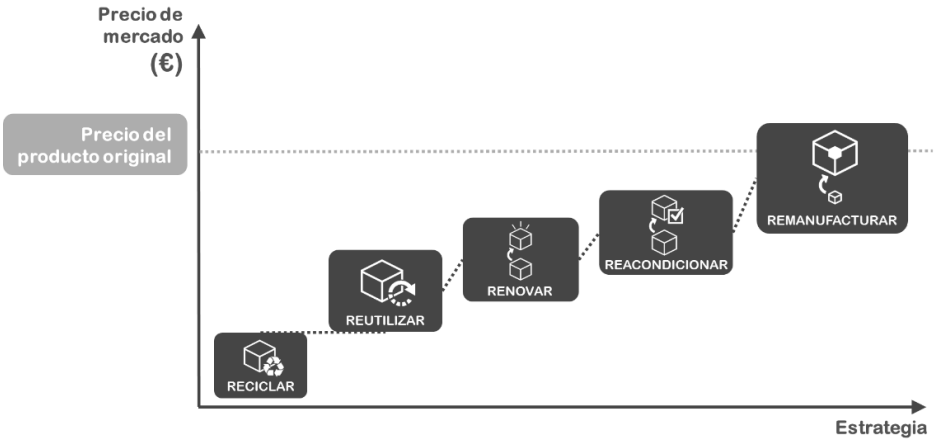
Figura 8.- Jerarquía ambiental en las estrategias de Economía Circular de producto



Otro importante aspecto a tener en cuenta a la hora de seleccionar la estrategia más adecuada para un determinado producto será el rendimiento económico a obtener. Tal y como hemos visto, cada una de las estrategias lleva asociados una serie de procesos de trasformación. De acuerdo a lo descrito en la figura 8, a medida que subimos niveles en la jerarquía de estrategias a aplicar, interviene un mayor número de procesos y cada uno de ellas tendrá un coste de aplicación, variable en función de la tipología de producto. En definitiva, es de suponer que el nivel más alto, el relativo a la remanufactura, tendrá el mayor coste de obtención.

Al mismo tiempo, si tenemos en cuenta el valor o precio de mercado que podremos obtener con el producto resultante de las diferentes estrategias de actuación llevadas a cabo, por normal general, ocurre que, debido a sus características mejoradas, un producto remanufacturado puede llegar a alcanzar un precio en el mercado igual o incluso superior al precio del producto original. Una estimación del valor de mercado con cada estrategia, en relación al precio del producto original se representa en la figura 9.

Figura 9.- Relación entre el precio original y el precio resultante de las estrategias de Economía Circular de producto



En el lado contrario, el valor de mercado obtenido por un producto reciclado será el menor de todos ellos. Al igual que en los costes, este precio dependerá de muchos factores y deberá

ser analizado cuidadosamente para cada tipología de producto. Por ejemplo, mientras un producto remanufacturado perteneciente al sector de TICs (por ejemplo, un teléfono móvil inteligente), es difícil que pueda alcanzar un precio superior al del original, debido a la rápida renovación de prestaciones tecnológicas de este tipo de equipos, en productos mecánicos (por ejemplo motores eléctricos), donde la tecnología es más madura y se valoran otros aspectos como la fiabilidad y la durabilidad, un producto remanufacturado sí que podrá alcanzar un gran precio. En todas estas consideraciones, de acuerdo con Hellek, McAloone y otros autores (2013), el modelo de negocio establecido y la predisposición de la empresa a establecer modelos alternativos es una cuestión a considerar en la toma de decisiones.

En definitiva, se deberá seleccionar aquella estrategia que maximice el beneficio, esto es, la diferencia entre el valor de mercado y los costes de recuperación del producto.

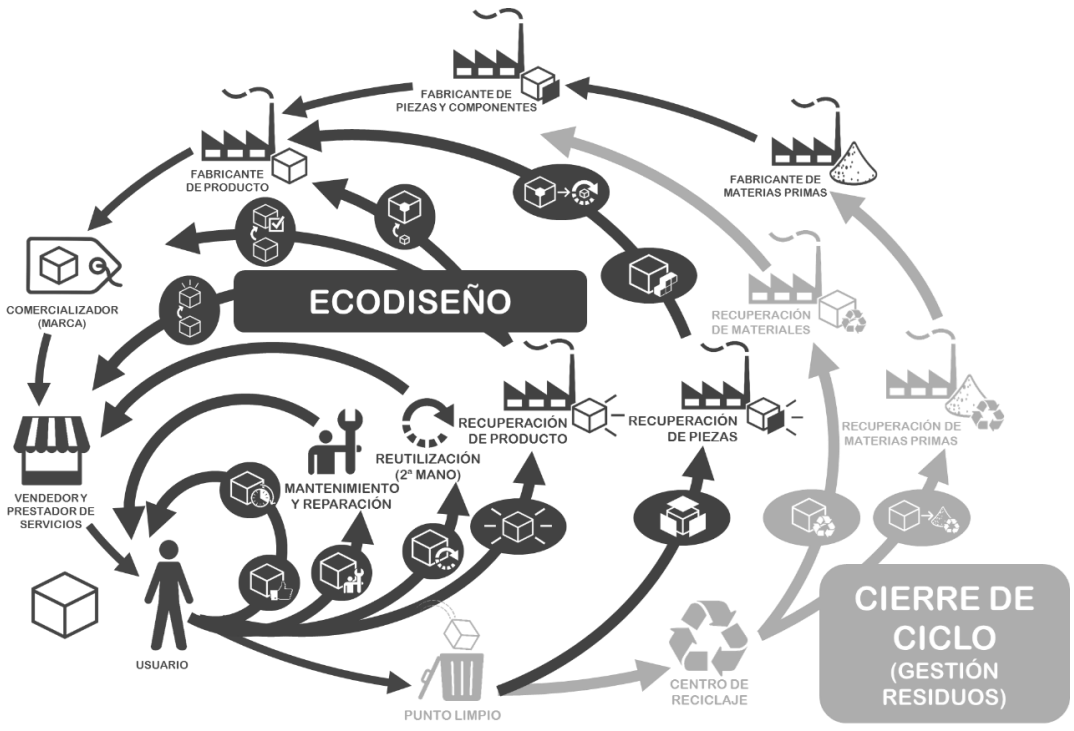
5. CONCLUSIONES

Se conoce como Economía Circular a aquella que tiene por objetivo la producción de bienes y servicios al tiempo que reduce el consumo de materias primas, agua y energía. Es por tanto un concepto económico que persigue implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía.

Desde la ingeniería de producto es también aplicable este principio y no únicamente desde la visión tradicional del cierre de ciclo asociado a la gestión de los residuos de producto al final de su vida útil, sino que es posible desarrollar hasta 12 estrategias diferentes.

La figura 10 recoge a modo de resumen todas estas estrategias descritas en la presente ponencia, asociadas a los diferentes anillos de circularidad que pueden conseguirse a lo largo de la vida de un producto.

Figura 10.- Resumen de las principales estrategias de actuación de la Economía Circular en la ingeniería de producto



No todas las estrategias serán aplicables al mismo tiempo y la selección de las más idóneas dependerá tanto de la tipología de producto analizado como de las condiciones del mercado. Sin embargo, en lo que todas coinciden es en la reducción del impacto ambiental asociado y en un mejor y más eficiente uso de los recursos naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autodesk (2012). Design for Product Lifetime. Sustainability Workshop. Disponible en : http://sustainabilityworkshop.autodesk.com

Ellen Macarthur Foundation (2013). Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. Reino Unido.

European Commission (2013). The opportunities to business of improving resource efficiency. Bélgica. AMEC Environment & Infrastructure and Bio Intelligence Service.

European Environment Agency (2013). Towards a green economy in Europe. EU environmental policy targets and objectives 2010–2050. EEA Report No 8/2013. Dinamarca.

Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) (2012). Memorandum for a Green Economy. Berlin. Alemania. The Federation of German Industries (BDI).

Fernandez Alcalá, J.M. (2007). Ingeniería del diseño ecológico de productos industriales. Bilbao. España. Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco.

Gobierno de Holanda. Departamento de Medio Ambiente (2014). Knowledge Map Circular Economy.

Hauser, W. & Lund, R.T. (2008). Remanufacturing: Operating Practices and Strategies. Boston. EEUU. Boston University.

Hauser, W. & Lund, R.T. (2012). Remanufacturing: An American Resourse. Colorado. EEUU. Professional electrical Apparatus Recyclers League.

Hellek Finken, K., McAloone, T.C., Avlonitis, V., Garcia I Mateu, A., Bejbro Andersen, J., Mougaard, K., Neugebauer, L., Hsuan, J. (2013) PSS ToolBook: A workbook in the PROTEUS series, PRO-04. Dinamarca. Technical University of Denmark.

Lund, R.T. (2012). The Database of Remanufacturers. Boston. EEUU. Boston University.

Professional electrical Apparatus Recyclers League (2010). Reconditioning: The Ultimate Form of Recycling. Colorado. EEUU.

Steinhilper, R. (1998). Remanufacturing: The Ultimate Form of Recycling. Stuttgart. Alemania. Fraunhofer IRB Verlag.

UNE-EN ISO 11469:2001 “Plásticos. Identificación genérica y marcado de productos plásticos”. Madrid. España. AENOR.

VDI 2243:2002-07 “Recycling-oriented product development” (Desarrollo de productos orientada al reciclaje). Alemania. Beuth Verlag GmbH.

03-005

ON ESTIMATING THE CAPACITY INDEX OF A PROCESS BY USING SAMPLING STRATIFIED

Moya Fernández, Pablo José
Universidad de Granada

Currently, the statistical quality control is essential in the business world due to the competitive market in which it operates. The companies are required to have a suitable manufacturing process, hence, the importance of being accurate when evaluating the quality of a process. In practice, the capacity potential index and the located capability index are the common measures used for the analysis of the process capability. Traditionally, samples of products are selected under simple random sampling without replacement, and this is the information used for the determination of the various capability indices. This paper proposes a new process capability index, which is based upon the idea of stratified sampling. The proposed methodology assumes the concept of rational subgroups, which we also describe in this paper. Note that the concept of rational subgroups is similar to the principles of stratified sampling, and this implies that a new estimator with desirable properties can be defined. In addition, the suggested estimator can provide a more accurate view of reality.

Keywords: *Statistical Quality control; process capability analysis; rational subgroups; estimation method.*

ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE CAPACIDAD DE UN PROCESO MEDIANTE MUESTREO ESTRATIFICADO

En la actualidad, el control estadístico de calidad resulta fundamental en el ámbito empresarial debido al mercado competitivo en el que se opera. Tener un proceso de fabricación adecuado es básico para la empresa y, de ahí, la importancia de ser precisos en la evaluación de calidad del proceso. Hasta ahora se han utilizado para el análisis de capacidad de procesos algunos índices como el índice de capacidad potencial y el índice de capacidad localizado. Tradicionalmente se ha utilizado el muestreo aleatorio simple sin reemplazamiento para obtener las muestras de artículos en los que se basaban la determinación de estos índices de capacidad. En este trabajo se propone un nuevo índice de capacidad, basado en la técnica de muestreo estratificado con el que determinar la adecuación del proceso. Para esto será determinante el concepto de subgrupos racionales que se describe en este trabajo. En otras palabras, se expone que el concepto de subgrupo racional se adapta a los principios del muestreo estratificado y, por tanto, se consigue un nuevo estimador con mejores propiedades y que puede proporcionar una visión más fiel de la realidad.

Palabras clave: *Control estadístico de calidad; análisis de capacidad de un proceso; subgrupo racional; método de estimación*

Correspondencia: Pablo José Moya Fernández

pjmoyafernandez@gmail.com Agradecimientos: Juan Francisco

Muñoz; Encarnación Alvarez; Elisabeth Lahoz

1. Introducción

La calidad de los productos y/o servicios que se utilizan deberían ser uno de los aspectos más importantes a tratar por las empresas que los fabrican o bien los ofrecen. El control estadístico de calidad (Besterfield 1994; Chakraborti et al 2008; Montgomery 2009; Gutiérrez, 2013) es una de las numerosas herramientas que pueden utilizarse para evaluación y seguimiento de calidad de productos y servicios. En particular, los gráficos de control son unas técnicas incluidas dentro del control estadístico de calidad que permiten determinar si un determinado proceso de producción está fabricando o no productos dentro de unas determinadas especificaciones fijadas de antemano. En otras palabras, se trata de determinar si el proceso de producción se encuentra bajo control, en cuyo caso los productos cumplirán con las especificaciones establecidas. En caso contrario, se dice que el proceso está fuera de control.

Dentro del control estadístico de calidad se han definido una serie de índices que permiten conocer si el proceso puede considerarse apto o no para producir productos dentro de las especificaciones correspondientes. Algunos de estos índices son el índice de capacidad potencial y el índice de capacidad localizado (véase Montgomery 2009, pg. 351; Besterfield 1994, pg. 148).

Por otra parte, es importante tener en cuenta que tanto los gráficos de control como los índice de capacidad anteriormente comentados están basados en muestras, es decir, el control de calidad de productos se basa en las observaciones tomadas en los productos en una serie de muestras, las cuales se utilizan para la estimación de los parámetros asociados al proceso, estimación de los índices de capacidad, etc. El diseño muestral comúnmente utilizado para la selección de tales muestras es muestreo aleatorio simple sin reemplazamiento.

El esquema de muestreo utilizado para la selección de muestras puede producir resultados satisfactorios, es decir, las estimaciones podrían ser más precisas y tener sesgos más pequeños. Este hecho puede resultar fundamental para obtener gráficos de control e índices de capacidad más precisos que reflejen de la mejor forma lo posible el estado real del proceso de producción. Por ejemplo, es conocido que bajo determinadas condiciones el muestreo estratificado (Kish, 1965; Cochran 1977; Fernández y Mayor 1994; Särndal et al. 1992; Lohr 1999; Singh 2003) es más preciso que el tradicional muestreo aleatorio simple.

Los principales objetivos que se persiguen en este trabajo son: (i) definir el índice de capacidad localizado utilizando muestreo estratificado; (ii) evaluar empíricamente el comportamiento del índice de capacidad propuesto; y (iii) comparar tales resultados con el índice de capacidad localizado existente y que generalmente se utiliza en las empresas y procesos de fabricación. Para lograr estos objetivos, este trabajo presenta la estructura que se describe a continuación. En la Sección 2 tras una breve introducción al control de calidad y se presentan los conceptos clave de este trabajo: subgrupos racionales, índices de capacidad y muestreo estratificado. En la Sección 3 se plantea, como novedad, la estimación del índice de capacidad localizado mediante muestreo estratificado. En la Sección 4 se evalúa numéricamente el comportamiento del índice de capacidad propuesto mediante un estudio de Simulación Monte Carlo. Se comparan los resultados obtenidos con el comportamiento empírico del índice de capacidad utilizando muestreo aleatorio simple y se comprueba que pueden obtenerse resultados satisfactorios en términos de sesgo y eficiencia. Las principales conclusiones se describen en la Sección 5.

2. Índices de Capacidad y Muestreo Estratificado.

2.1. Introducción al control de calidad

El control de calidad puede definirse (véase, por ejemplo, Amor, 2005; Montgomery, 2009) como el conjunto de técnicas cuantitativas mediante las cuales se miden las características de calidad de un producto, se comparan con unas determinadas especificaciones fijadas de antemano, y se toman acciones correctivas apropiadas cuando hay muchos elementos que no cumplen los requisitos o condiciones fijadas.

En este trabajo se asume que la característica de calidad es una variable que se denota por X. Además se asume que dicha variable X tiene distribución Normal con media μ y desviación típica σ, es decir, $X \rightsquigarrow \mathcal{N}(\mu, \sigma)$, donde μ denota la media del proceso o característica y σ es la desviación típica. Destacar que generalmente los parámetros μ y σ son desconocidos por lo que se utiliza la estimación puntual de los mismos. En este caso se seleccionan m muestras de tamaño n mediante muestreo aleatorio simple sin reemplazamiento cuando se tiene certeza de que el proceso se encuentra bajo control. En la Tabla 1 se recoge la notación utilizada para denotar las observaciones recogidas en las m muestras, donde x_{ij} denota el valor de X para la i-ésima muestra y la j-ésima observación.

Tabla 1. ***Observaciones obtenidas en m muestras de tamaño n de la característica X***

Muestra	Observaciones			
1	x_{11}	.	.	x_{1n}
.	.	x_{ij}	.	.
.	.	.	.	.
m	x_{m1}	.	.	x_{mn}

Dado el conjunto de observaciones especificado en la Tabla 1, la estimación de la media poblacional (μ) viene dada por la expresión

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{x}} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \bar{x}_i \tag{1}$$

donde $\bar{x}_i$ es la media muestral de muestra i, definida como $\bar{x}_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}$.

Por su parte, la desviación típica del proceso (σ) puede ser estimada mediante diferentes métodos basados en: (i) las cuasi desviaciones típicas, (ii) los rangos de las muestras, y (iii) las cuasi desviación típica combinada de la muestra. Los estimadores se determinan como sigue:

$$\hat{\sigma}_S = \frac{\bar{S}}{c_4[n]};\ \hat{\sigma}_R = \frac{\bar{R}}{d_2[n]};\ \hat{\sigma}_p = \frac{S_p}{c_4[1 + m(n-1)]} \tag{2}$$

donde $\bar{S} = m^{-1}\sum_i^m S_i$ es la media de las cuasi desviación típicas de las muestras, definidas como $S_i = \left(\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(x_{ij} - \bar{x}_i)^2\right)^{1/2}$; $\bar{R} = m^{-1}\sum_{i=1}^{m} R_i$ es la media de los rangos $R_i = \max(x_{ij}) - \min(x_{ij})$ y $S_p = \left(\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} S_i^2\right)^{1/2}$; $c_4[\cdot]$ y $d_2[\cdot]$ son constantes basadas en los tamaños muestrales y las cuales están definidas, por ejemplo, por Chen (1997). Además, el

Apéndice VI de Montgomery (2009) contiene tablas para estas constantes y para varios valores de n.

El control de calidad distingue varios tipos de límites:

- Limites de tolerancia natural: son consecuencia de la variabilidad natural del proceso. Vienen dados por los extremos del intervalo en el que toma valores la variable del proceso, X. Asumiendo el método USA, los límites de tolerancia natural de un proceso suelen venir dados por $\mu \pm 3\sigma$.
- Límites de control: Son los límites de tolerancia natural basados en una muestra de tamaño n. Por ejemplo, en el caso de parámetros conocidos, usando el método USA y para el problema de controlar la media del proceso, los correspondientes límites de control están dados por $\mu \pm {}^{3\sigma}/_{\sqrt{n}}$.
- Límites de Especificación: son límites dados sin tener en cuenta la variabilidad del proceso. Estos límites son impuestos por agentes externos. Se distingue entre Límite Inferior de Especificación (LIE) y Límite Superior de Especificación (LSE).

El siguiente concepto relevante en el contexto del control estadístico de calidad que se utiliza en este trabajo es el definido por Shewhart (1931) como subgrupos racionales. Este concepto está relacionado con una recopilación de datos de la muestra óptima, en el sentido de obtener resultados y conclusiones más fiables. Según Montgomery (2009), las muestras deberían seleccionarse de modo que si en el proceso existen causas asignables, la posibilidad de que existan diferencias entre los subgrupos o muestras sea máxima, mientras que la probabilidad de diferencias debido a estas causas asignables dentro de un subgrupo sea la mínima posible. Este concepto de subgrupos racionales está estrechamente relacionado con el esquema o escenario apropiado para el uso de un muestreo estratificado. Esta relación directa entre subgrupos racionales en el control estadístico de calidad y el muestreo estratificado ha sido el punto de partida o la motivación para este trabajo.

Por tanto, queda de manifiesto la importancia del concepto de subgrupos racionales, puesto que permite una selección de muestra que incrementa la información del control estadístico de la calidad. Así mismo, es necesario un cuidadoso estudio del proceso de producción para la elección de la estrategia a seguir en la elaboración de los subgrupos racionales.

2.2. Análisis de Capacidad

El análisis de capacidad de un proceso tiene como objetivo evaluar la aptitud de un proceso para producir unidades dentro de los límites de especificación. Este análisis de capacidad de un proceso se puede efectuar mediante el índice de capacidad y el índice capacidad localizado.

El índice de capacidad potencial de un proceso se define como el cociente entre la amplitud de los límites de especificación y la amplitud de los límites de tolerancia natural del proceso. Matemáticamente, el índice de capacidad potencial, C_p, de proceso se obtiene mediante la siguiente expresión

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}, \tag{3}$$

donde $6\hat{\sigma} = LST - LIT$. Con el índice de capacidad potencial de un proceso se compara la variabilidad natural del proceso con el rango de valores permitidos en el proceso y definidos a través de los límites de especificación, dando lugar a una de las siguientes situaciones: (i) $C_p = 1$, el proceso está marginalmente apto para cumplir con los límites de especificación; (ii) $C_p < 1, LSE - LIE < 6\hat{\sigma}$; el proceso no es capaz de cumplir con los límites de

especificación; y (iii) $C_p > 1, LSE - LIE > 6\hat{\sigma}$; el proceso se considera apto para cumplir con los límites de especificación.

En resumen, cuanto mayor sea el índice de capacidad potencial de un proceso, mayor será la capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones. En la práctica, las empresas consideran una cota mínima del índice de capacidad dada por $C_p \geq 4/3$, y establecen como meta la obtención de un nivel $C_p \geq 5/3$. Por último, destacar que índice de capacidad potencial es adimensional, y esto permite comparar entre distintos procesos de forma que se pueda conocer el proceso que tiene una mayor capacidad.

El índice de capacidad localizado se utiliza cuando la línea central del gráfico de control no coincide con el punto medio de los límites de especificación y su interpretación es similar al anterior índice. De esta manera, el índice de capacidad localizado se define como:

$$C_{pk} = (1 - k)C_p, \tag{4}$$

donde k es la distancia relativa entre la media del proceso ($\hat{\mu} = \bar{\bar{x}}$) y el punto medio de los límites de especificación ($\mu_0 = (LIE + LSE)/2$), es decir:

$$k = \frac{|\mu_0 - \hat{\mu}|}{(LSE - LIE)/2} \tag{5}$$

De nuevo se presentan tres posibilidades: (i) k=1, la distancia entre la media del proceso y el punto medio de los límites de especificación es nula; (ii) k>1, que la distancia entre la media del proceso y el punto medio de los límites de especificación es superior que la mitad de la amplitud del intervalo, lo que implica que el proceso producirá un número excesivamente alto de artículos defectuosos; y (iii) k<1, la distancia entre la media del proceso y el punto medio de los límites de especificación es inferior que la mitad de la amplitud del intervalo, lo que indica que la media del proceso se encuentra entre los límites de especificación pero esto no significa que el proceso esté produciendo un número óptimo de artículos conforme a las especificaciones.

2.3. Muestreo Estratificado

El muestreo estratificado es una técnica de muestreo muy conocida y utilizada en por los organismos oficiales de estadística así como otras agencias u organismos encargados de realizar estudios y que persigan el objetivo de obtener estimaciones más precisas. En el muestreo estratificado se divide la población en subpoblaciones o estratos, y en cada uno de estos subgrupos de individuos se selecciona una muestra, de forma que la muestra total de individuos estará formada por la unión de todas las muestras obtenidas en los distintos estratos. Cuando se aplica un muestreo aleatorio simple en la selección de muestras en cada estrato, al muestreo estratificado se le denomina muestreo aleatorio estratificado.

Para que el muestreo estratificado pueda obtener estimaciones más precisas que el tradicional muestreo aleatorio simple, los estratos deben ser heterogéneos entre sí, mientras que los individuos pertenecientes a un mismo estrato deberían tener valores homogéneos en la variable objeto de estudio. Se observa que estas condiciones de heterogeneidad entre estratos y homogeneidad dentro de estratos son las que se persiguen con la idea de subgrupos racionales introducidas en el campo del control estadístico de calidad. Se pretende utilizar un esquema de muestreo estratificado en el problema de estimación del índice de capacidad de un proceso, dado que dicho índice depende del parámetro desconocido μ, y por tanto se requiere de una estimación precisa de dicho parámetro.

3. Estimador propuesto de Índice de Capacidad usando Muestreo Estratificado.

El objetivo principal de la sección anterior ha sido introducir, de forma muy breve, la notación y conceptos básicos en el campo del control estadístico de calidad así como el conocido muestreo estratificado. Una vez conocidos estos conceptos, a continuación se resumen las condiciones y escenarios que se asumen en este trabajo:

(C1) La característica de calidad se mide mediante una variable X.

(C2) La variable X tiene distribución Normal con parámetros μ y σ, es decir, $X \rightsquigarrow \mathcal{N}(\mu, \sigma)$.

(C3) Se usan m lotes de productos para la estimación de la media poblacional μ.

(C4) El tamaño de cada lote de productos se denotará como N_i, es decir, el i-ésimo lote contiene N_i productos.

(C5) En cada lote se selecciona una muestra de productos mediante mediante muestreo aleatorio simple sin reemplazamiento.

(C6) Las muestras obtenidas en los distintos lotes de productos tienen el mismo tamaño muestral, el cual se denotará como n, siguiendo la notación habitual dentro del contexto de control estadístico de calidad.

En esta sección se propone estimar el índice de capacidad localizado utilizando la técnica de muestreo denominada muestreo estratificado. En líneas generales, este proceso se basa en seleccionar m muestras, de tamaño n cada una de ellas, correspondientes a varias poblaciones objetivo (lotes) de ese proceso, medir la característica de calidad objeto de estudio, la cual se supone distribuida de forma normal, y aplicar los índices que analizan la capacidad del proceso. La idea principal es agregar el muestreo estratificado en la estimación del parámetro desconocido μ, de manera que el estimador resultante sea más eficiente y con sesgos más pequeños.

Cuando se presentó el concepto de subgrupos racionales se hizo hincapié en que estos subgrupos deberían, ante causas atribuibles en los procesos, hacer máximas las diferencias entre grupos y mínimas las diferencias dentro de ellos. En consecuencia, por este motivo es razonable pensar que puede resultar favorable utilizar el muestreo estratificado tomando cada uno de estos subgrupos racionales de manera similar a un estrato. Así, los aspectos que en un principio se presentaban como desventajas atribuibles a las peculiaridades técnicas en el muestreo estratificado no tienen repercusión en este desarrollo, puesto que tanto la forma de seleccionar los estratos como el número de los mismos vienen dado por los subgrupos racionales.

Además, este nuevo índice calculado con el nuevo estimador del parámetro μ, otorga diferentes pesos a los estratos l subgrupos racionales en función del tamaño de éstos. En consecuencia, cuanto mayor sea el tamaño del estrato l subgrupo racional más influencia tendrá para la determinación del estimador.

En conclusión, el nuevo estimador de la media, utilizando muestreo estratificado, se define como:

$$\hat{\mu}_{st} = \bar{\bar{x}}_{st} = \sum_{i=1}^{m} W_i \bar{x}_i = \sum_{i=1}^{m} \frac{N_i}{N} \cdot \bar{x}_i \qquad (6)$$

donde N_i es el tamaño correspondiente al lote de la muestra i-ésima, N el tamaño total de los lotes ($N = \sum_{i=1}^{m} N_i$) y W_i la ponderación que se otorga en función al tamaño relativo de la muestra.

En la Tabla 2 se recoge la notación utilizada para denotar las observaciones recogidas en las m muestras. En este caso, se añade una columna con el tamaño de los lotes de donde se obtiene la muestra.

Tabla 2. Observaciones obtenidas en m muestras de tamaño n de la característica X correspondientes al estimador en muestreo estratificado

Muestra	Observaciones					N_i
1	x_{11}	x_{12}	.	.	x_{1n}	N_1
2	x_{21}	x_{22}	.	.	x_{2n}	N_2
3	.	.	.	.	.	.
.	.	.	x_{ij}	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
m	x_{m1}	x_{m2}	.	.	x_{mn}	N_m

Finalmente, el índice de capacidad localizado, utilizando muestreo estratificado, viene dado por la siguiente expresión:

$$C_{pk}^{st} = (1 - k_{st})C_p \tag{7}$$

donde k_{st} es la distancia relativa entre la media estimada del proceso a través del nuevo método ($\hat{\mu}_{st} = \bar{\bar{x}}_{st}$) y el punto medio de los límites de especificación ($\mu_0 = (LIE + LSE)/2$), a saber:

$$k_{st} = \frac{|\mu_0 - \hat{\mu}_{st}|}{\frac{LSE - LIE}{2}} \tag{8}$$

El índice de capacidad localizado basado en muestreo estratificado se interpreta de igual manera que el tradicional índice de capacidad localizado, ya que sólo trata de tener una mayor precisión de la capacidad del proceso sin perder su significado.

4. Estudio de Simulación

Asumiendo las condiciones y escenarios descritos en la Sección 3 del trabajo, en esta Sección 4 se ha llevado a cabo un estudio de simulación Monte Carlo con el objetivo de evaluar empíricamente el comportamiento de los estimadores propuestos $\hat{\mu}_{st}$ y C_{pk}^{st}. Tales resultados se compararán con los resultados empíricos obtenidos a través de los estimadores tradicionales existentes en la literatura y también definidos en este trabajo.

En este estudio de simulación se ha tenido en cuenta el concepto de subgrupos racionales, de tal manera que las muestras se obtienen de lotes con diferentes medias. En particular, se asume que los productos en los distintos lotes se generan mediante una distribución Normal con una media dentro del intervalo $(\mu - \epsilon, \mu + \epsilon)$, donde se considera $\mu = 10$, y donde $\boldsymbol{\epsilon}$ es una determinada constante. Como desviación típica del proceso se considera $\sigma = 1$. En este trabajo, se consideran los valores:

$$\epsilon = (0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2) \tag{9}$$

para esta constante que determina el rango de valores para la media del proceso en los distintos lotes. Con el fin de conocer la diferencia, en términos relativo, entre los extremos del intervalo y la media del proceso, se define la variación relativa

$$V = \frac{(\mu + \epsilon) - \mu}{\mu} = \frac{\epsilon}{\mu} = \frac{\epsilon}{10}, \tag{10}$$

cuyos valores en esta simulación son: 0%; 0,5%; 1%; 2%; 5%; 10%; 20%. Por ejemplo, $\mathbf{V = 10\%}$ indica una variación del 10% entre los extremos del intervalo y el valor de $\boldsymbol{\mu}$. El objetivo de esta dispersión en cuanto a los valores de la media del proceso es poder observar la evolución de los estimadores y los índices de capacidad a medida que las muestras seleccionadas de los distintos lotes sean más heterogéneas entre sí, lo cual debería favorecer el comportamiento del estimador propuesto en comparación con el estimador tradicional. Los tamaños de los lotes (los valores N_i) se han tomado entre 50 y 145.

El sesgo relativo empírico (SR) y el error cuadrático medio relativo empírico (ECMR) son las medidas empíricas usadas para comparar los distintos estimaciones de μ y del índice de capacidad. Para el caso de la media, por ejemplo, estas medidas se definen como:

$$SR = \frac{E[\tilde{\mu}] - \mu}{\mu} \quad ; \quad ECMR = \frac{\sqrt{ECM[\tilde{\mu}]}}{\mu}, \tag{11}$$

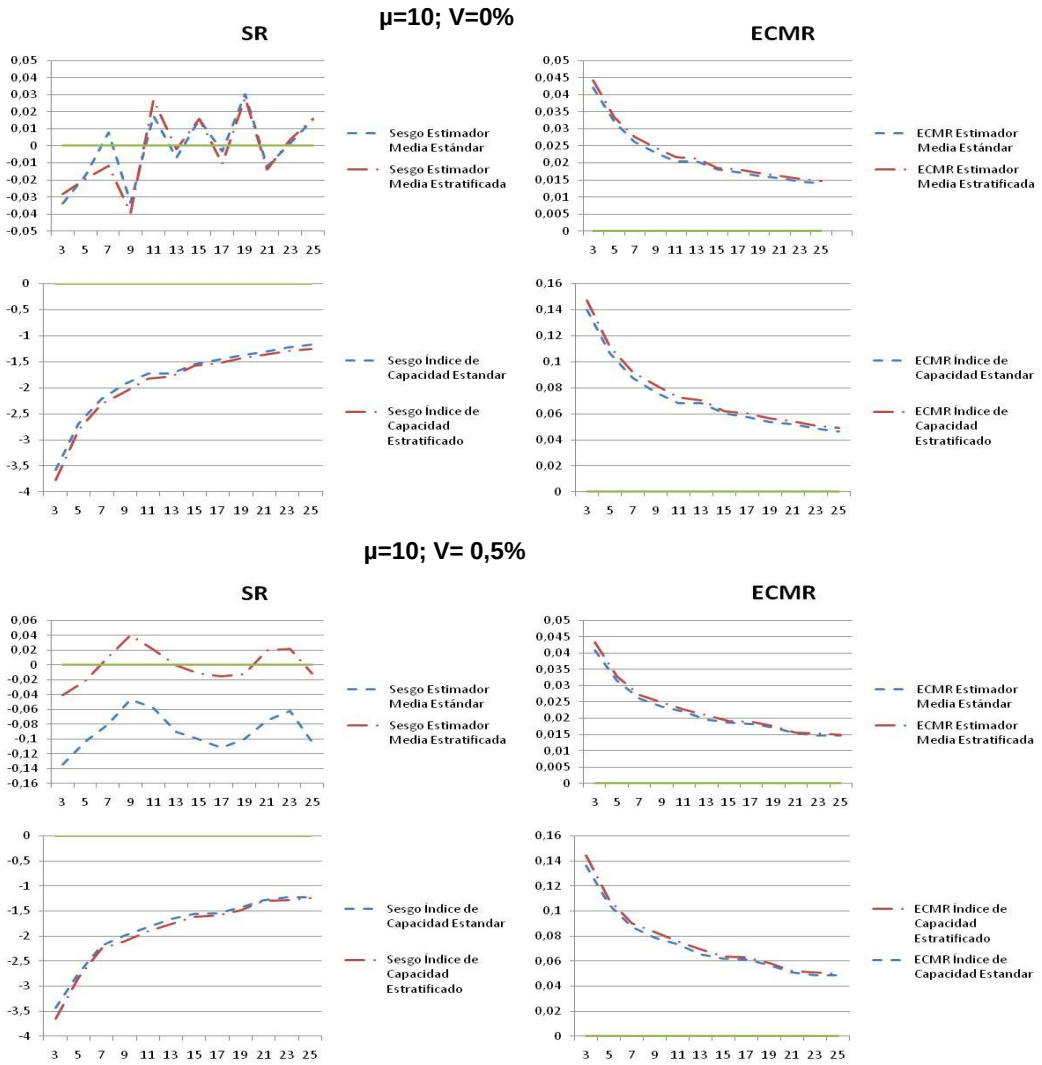
donde $\tilde{\mu}$ es un determinado estimador de μ, y $E[\cdot]$ y $ECM[\cdot]$ son, respectivamente, la esperanza empírica y el error cuadrático medio empírico basados en R = 1000 simulaciones realizadas, es decir,

$$E[\tilde{\mu}] = \frac{1}{R}\sum_{i=1}^{R} \tilde{\mu}(i) \quad ; \quad ECMR\,[\tilde{\mu}] = \frac{1}{R}\sum_{i=1}^{R} (\tilde{\mu}(i) - \mu)^2, \tag{12}$$

donde $\tilde{\mu}(i)$ denota el valor de la estimación $\tilde{\mu}$ para la i-ésima simulación realizada. Para el caso de la estimación del índice de capacidad, estas medidas se definen de forma similar.

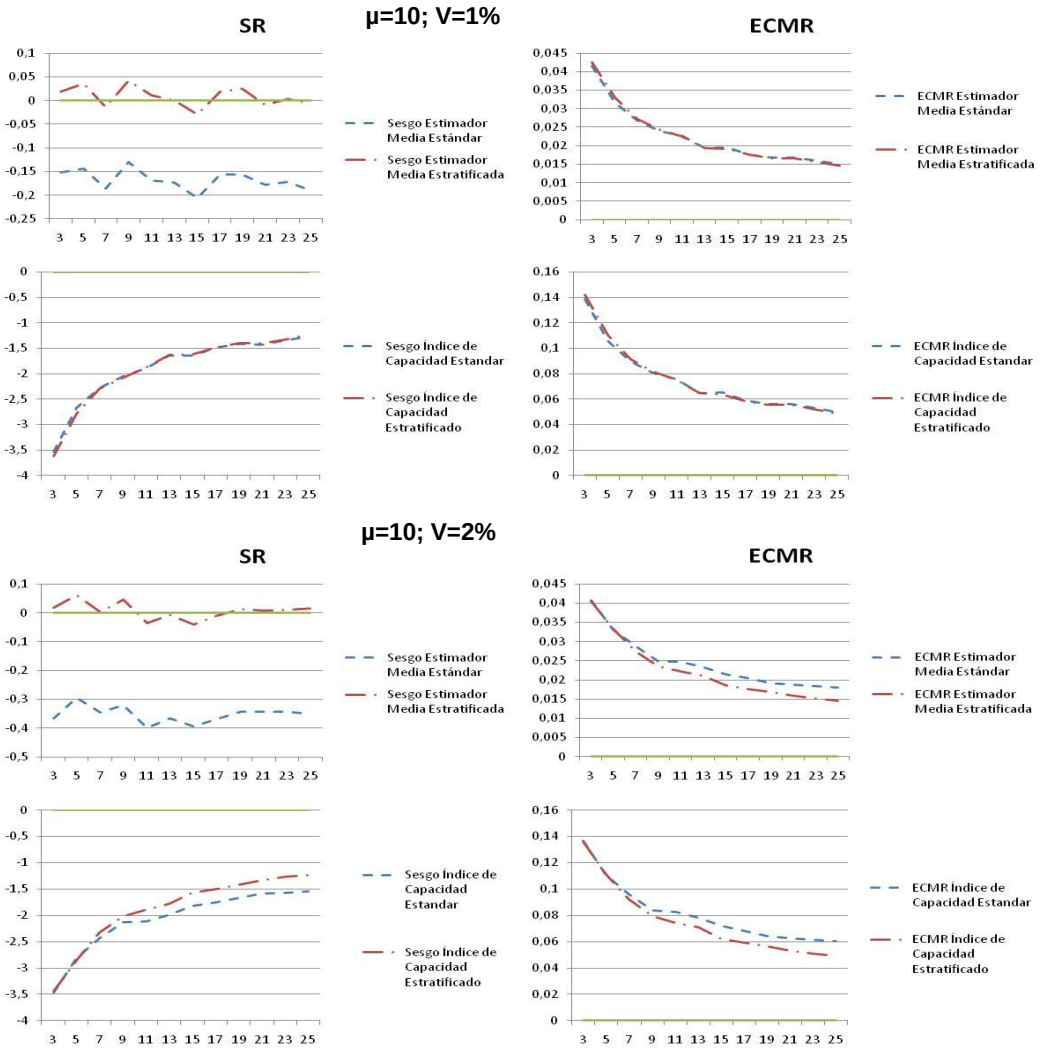
Destacar que las medidas SR y ECMR son muy comunes en los problemas de comparación de precisión de estimadores. Por ejemplo, éstas han sido usadas por Chen y Sitter (1999), Deville y Särndal (1992), Rao et al. (1990), Silva y Skinner (1995), etc. Los resultados derivados de este estudio de simulación se muestran en las Figuras 1, 2 y 3.

Figura 1: Valores de SR y ECMR (en porcentaje) de estimadores de la media del proceso y del índice de capacidad localizado. Valores de V del 0% y del 0,05%.



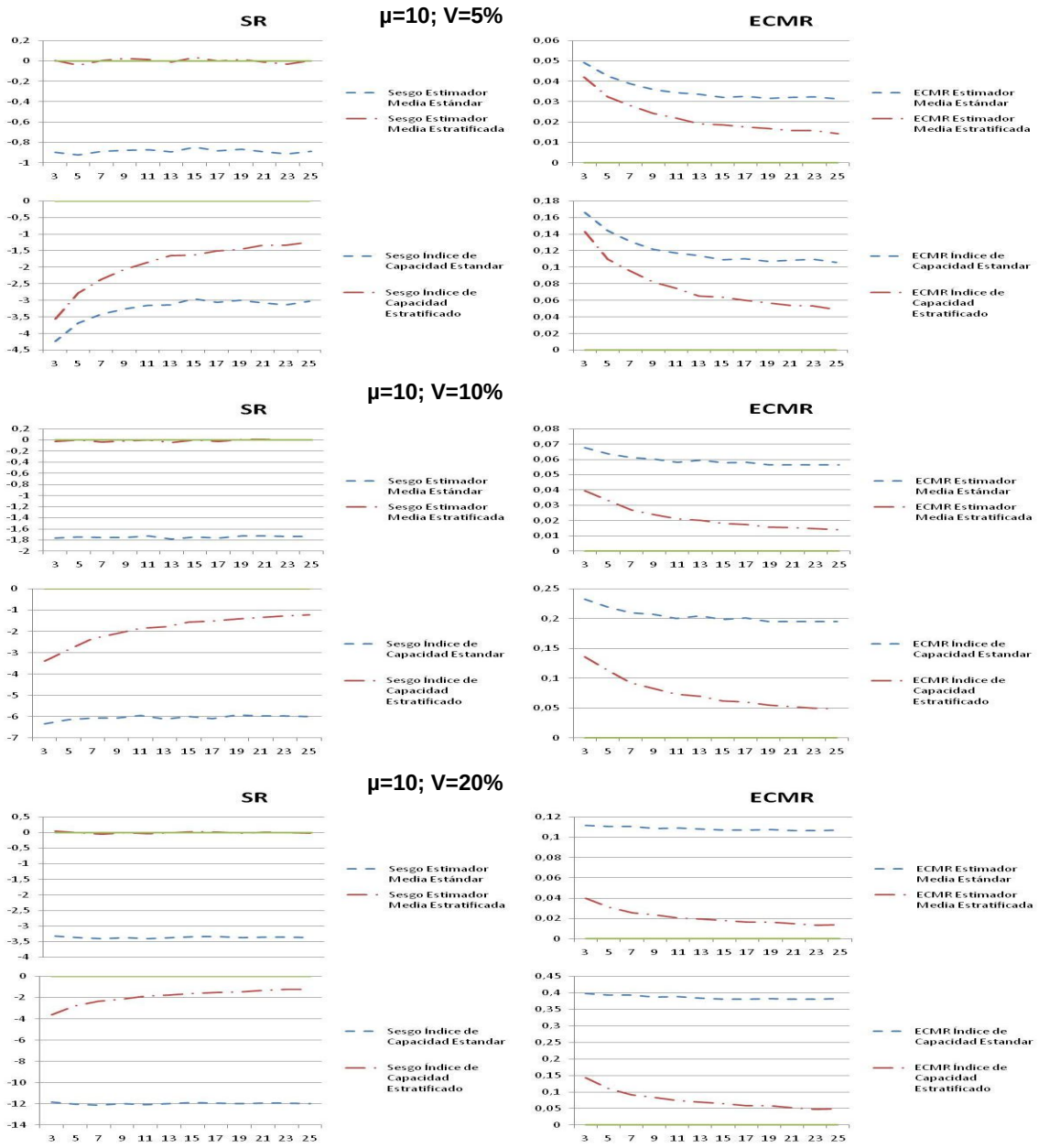
En la Figura 1 se observa que los sesgos de ambos estimadores (estándar y el propuesto usando muestreo estratificado) de la media del proceso son insignificantes, puesto que, en valor absoluto, nunca se supera el 1%. Cuando V = 0.5%, se puede observar que el estimador estándar tiene, ligeramente, un sesgo negativo. Respecto al problema de la estimación del índice de capacidad localizado, se observa que se pueden obtener sesgos negativos de hasta el 4% y en muestras pequeñas. A medida que se aumenta el tamaño de la muestra, estos sesgos van disminuyendo hasta llegar aproximadamente al 1% en términos absolutos. En relación a las eficiencias de los estimadores en términos de ECMR, se observa que ambos estimadores tienen resultados similares en la estimación de ambos parámetros. Como es razonable, se obtienen valores más eficientes a medida que aumenta el tamaño de muestra.

Figura 2: Valores de SR y ECMR (en porcentaje) de estimadores de la media del proceso y del índice de capacidad localizado. Valores de V del 1% y del 2%.



En la Figura 2 se observa que los sesgos de ambos estimadores siguen estando por debajo del 1%, por lo que no representan un problema. Sin embargo, comienza a apreciarse una leve diferencia entre los sesgos de los estimadores. De esta manera, cuando V = 1%, el estimador estándar presenta sesgos negativos de aproximadamente 0,15% mientras el estimador con muestreo estratificado sesgos no superiores al 0,05%. Cuando V = 2%, estas diferencias entre los sesgos de estimadores siguen siendo leves pero algo más apreciable, el estimador con muestreo estratificado sigue obteniendo los mismos sesgos aproximadamente, mientras que los sesgos del estimador estándar se sitúan prácticamente en el 0,4%, evidentemente también un sesgo insignificante. Centrando la atención en los sesgos de los índices de capacidad usando ambos estimadores, se observa que los comportamientos de éstos son similares a los anteriores. Sin embargo se aprecia que a medida que aumenta V la mejora del índice de capacidad estándar es menor que la mejora del índice de capacidad con muestreo estratificado. Por su parte, los ECMR presentan un comportamiento similar aunque más sutil. Cuando V = 1%, las diferencias entre ambos estimadores son prácticamente imperceptibles en las Figuras utilizadas en este trabajo. Sin embargo, cuando V = 2%, comienza a entreverse una leve diferencia entre ambos.

Figura 3: Valores de SR y ECMR (en porcentaje) de estimadores de la media del proceso y del índice de capacidad localizado. Valores de V del 5%, 10% y del 20%.



Por último, en la Figura 3 se pueden observar los sesgos y la eficiencia de los estimadores para V = 5%, 10% y 20%. El comportamiento de los sesgos del estimador usando muestreo estratificado es similar a los casos anteriores, es decir, sesgo próximo al 0%. Sin embargo, a medida que $\mathbf{V}$ aumenta, el comportamiento del estimador estándar es peor. Sus sesgos han aumentado situándose sobre el 0,9%, 1,8% y cerca del 3,5% respectivamente. Por su parte, los sesgos de los índices de capacidad muestran un comportamiento parecido. En el primer caso (V = 5%), ambos índices mejoran al aumentar el tamaño de muestra, pero el índice de capacidad estándar presenta, aproximadamente, sesgos negativos un punto porcentual mayor que el índice de capacidad con muestreo estratificado. Respecto a la eficiencia (valores de ECMR) los distintos estimadores reflejan comportamientos similares. Se puede observar cómo a medida que aumenta V y aumentan los tamaños de muestra, el estimador propuesto es más eficiente que el estimador estándar.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha propuesto un nuevo índice para analizar la capacidad de un proceso. Este indicador consiste en utilizar muestreo estratificado como técnica de muestreo con el objetivo de hacer una estimación más precisa de la media del proceso, μ y, así, obtener un índice que pueda tener una mayor precisión o sesgos más pequeños. Destacar que para que el estimador propuesto pueda tener un mejor comportamiento, es preciso que las muestras de productos se seleccionen siguiendo el concepto de subgrupos racionales definido dentro del contexto del control estadístico de calidad.

Se ha llevado a cabo un estudio de simulación Monte Carlo basado en 1000 replicas. Para contrastar si este índice de capacidad estratificado es más preciso que los índices tradicionales se ha tenido en cuenta dentro del estudio de simulación el concepto de subgrupos racionales. Para ello se ha considerado que cada lote presentaba una media que no era común para todos los lotes. Se asume que el valor de la media del proceso puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo fijado. Los resultados obtenidos en este estudio de simulación muestran que conforme se incrementa la amplitud de este intervalo en el que se encuentra la media de los lotes, más preciso es el nuevo índice de capacidad propuesto. Dicho de otra forma, tanto los sesgos relativos (en valores absolutos) como los errores cuadráticos medios relativos muestran valores más pequeños en comparación con los estimadores habituales que se utilizan en la práctica.

En resumen, estos resultados revelan la clave que permite aplicar el muestreo estratificado en el análisis de procesos: el concepto de subgrupo racional. Cuando se considera un valor V = 0%, la selección de las muestras de cada lote se realiza sin tener en consideración la existencia de subgrupos racionales. Bajo esta situación, la principal conclusión es que el estimador tradicional de la media del índice de capacidad presenta un comportamiento similar, e incluso en algunas ocasiones mejor, que los estimadores propuestos. Sin embargo, a medida que al aumentar el intervalo de variación donde se puede situar la media de cada lote, es decir, a medida que los subgrupos racionales son más heterogéneos entre sí, mejor comportamiento presentan los estimadores propuestos. Estos resultados se pueden consultar en la Figura 3 donde se representan los resultados para valores elevados de V. Subrayar que estos resultados son coherentes con la teoría existente del muestreo estratificado.

Por último y como conclusión final, recalcar que el índice de capacidad usando muestreo estratificado puede ser más preciso y tener sesgos más pequeños en comparación con los índices de capacidad tradicionales cuando las muestras de los lotes que se selecciona se hacen a través del concepto de subgrupos racionales establecidos en el contexto del control estadístico de calidad.

BIBLIOGRAFÍA

Amor R., Martínez A., Olmo M., (2005). *Control Estadístico de Calidad.* ed. Grupo Editorial Universitario.

Besterfield, D. (1995). *Control de Calidad.* PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A.

Chakraborti, S., Human, S. W., Graham, M. A. (2008). Phase I Statistical Process Control Charts: An Overview and Some Results. *Quality Engineering*, 21(1); 52-62.

Chen, G. (1997). The mean and standard deviation of the run length distribution of X-bar charts when control limits are estimaterd. *Statistica Sinica,* 7; 789–798.

Chen, J., Sitter, R. R. (1999). A pseudo empirical likelihood approach to the effective use of auxiliary information in complex surveys. *Statistica Sinica*, 9; 385-406.

Cochran W.G. (1977). *Sampling Techniques*. New York: John Wiley.

Deville, J. C., Särndal, C. E. (1992) Calibration estimators in survey sampling. *J Am Statist Assoc*, 87; 376-382.

Fernández García, F.R. y Mayor Gallego, J.A. (1994) *Muestreo en Poblaciones Finitas: Curso Básico.* P.P.U., Barcelona.

Gutiérrez Pulido, Humberto (2013) *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigmas*. Ed. México: McGrawHill.

Kish, L. (1965) *Survey Sampling*. New York. John Wiley.

Lohr, S. L. (1999). *Sampling: Design and Analysis*. Pacific Grove, CA: Duxbury Press.

Montgomery, D.C. (2009). *Statistical quality control. A modern introduction. 6th ed.* New York, Wiley.

Nascimento-Silva, P. L. D., Skinner, C. J. (1995). Estimating distribution functions with auxiliary information using Post-stratification. *Journal of Official Statistics*, 11; 277-294.

Rao, J. N. K., Kovar, J. G., Mantel, H. J. (1990). On estimating distribution function and quantiles from survey data using auxiliary information. *Biometrika*, 77; 365-375.

Särndal, C. E., Swensson, B., Wretman, J. H. (1992). *Model Assisted Survey Sampling*. 3rd ed. New York: Springer-Verlag.

Shewhart, W.A. (1931). *Economic control of quality of manufactured product*. Milwaukee, ASQC Quality Press.

Singh, S. (2003). *Advanced Sampling Theory with Applications: How Michael Selected Amy.* Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.

03-006

ABOUT DIFFERENCES IN THE ASSESSMENT OF MEANINGS ASIGNED TO A PRODUCT BETWEEN STUDENTS OF INDUSTRIAL DESIGN AND OTHER DEGREES

Agost Torres, María Jesús; Vergara Monedero, Margarita; Pérez Espinosa, Carla Universitat Jaume I

The studies conducting to the degree in Industrial Design Engineering and Product Development (IDEPD) aim students to acquire, among others, skills related to the perception of subjective impressions evoked by the product design. In this paper, the results of a study conducted to discover differences between the subjective impressions elicited in students from the IDEPD degree and from other university degrees at the Universitat Jaume I, are presented. These subjective impressions are certain meanings and emotions evoked by a product highly influenced by trends (sunglasses). The study was conducted through the development of a web questionnaire distributed to the students. The participants assessed different subjective aspects of a set of images of sunglasses of different styles. The results show that the IDEPD degree students consider a greater number of factors that students from other degrees when globally assessing the sunglasses. In addition, some of these factors related to the overall assessment are different for both groups of students. Thus, for example, the IDEPD students relate the timelessness of the sunglasses with their overall assessment. On the other hand, students from other degrees relate the overall assessment of the sunglasses with their functionality.

Keywords: *“Design students”; “Subjective impressions”; “Sunglasses”; “Fashion and trends”.*

SOBRE DIFERENCIAS EN LA VALORACIÓN DE SIGNIFICADOS ATRIBUIDOS A UN PRODUCTO ENTRE ESTUDIANTES DE DISEÑO Y DE OTRAS TITULACIONES

Los estudios del grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Producto (IDIDP) están orientados para que los alumnos dominen, entre otras, competencias relacionadas con la percepción de aspectos relacionados con las impresiones subjetivas del diseño del producto. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio desarrollado para descubrir si existen diferencias entre la percepción de ciertos significados y emociones evocados por un producto altamente influido por las modas (gafas de sol), entre estudiantes del grado IDIDP y de otras titulaciones universitarias de la Universitat Jaume I. El estudio se realizó a través del desarrollo de un cuestionario web distribuido entre los estudiantes, que valoraron distintos aspectos subjetivos de un conjunto de imágenes de gafas de sol de diferentes estilos. Los resultados muestran que los estudiantes de IDIDP consideran un mayor número de factores que los estudiantes de otras titulaciones cuando valoran globalmente las gafas. Además, algunos de estos factores relacionados con la valoración global son distintos para ambos grupos de estudiantes. Así, por ejemplo, los estudiantes de IDIDP relacionan la atemporalidad de las gafas con su valoración mientras que los estudiantes de otras titulaciones no lo hacen, aunque, en cambio, sí relacionan la valoración con su funcionalidad.

Palabras clave: *"Estudiantes de diseño"; "Impresiones subjetivas"; "Gafas de sol"; "Modas y tendencias"*

Correspondencia: María Jesús Agost Torres magost@uji.es

1. Introducción y Objetivos

Los estudios del grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Producto (IDIDP) están orientados para que los alumnos dominen competencias propias de los profesionales del diseño, tales como por ejemplo la creatividad, el pensamiento resolutivo o el trabajo colaborativo. En este sentido, tanto en la antigua titulación de Ingeniería Técnica en Diseño Industrial como en el actual Grado de Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de productos de la Universitat Jaume I, se han realizado, a través de varias de sus asignaturas, diferentes experiencias y estudios con el fin de conseguir o potenciar determinadas habilidades y capacidades por parte de su alumnado (Agost & Mulet, 2015, Agost & Vergara, 2013, Agost & Vergara 2008, Mulet et al., 2007; Mulet, 2003).

Una competencia clave para los estudiantes del grado de IDIDP consiste en la percepción de aspectos relacionados con las impresiones subjetivas del diseño del producto. Es necesario que un diseñador domine las impresiones subjetivas que un producto provoca, entendiendo como tales tanto los significados que los individuos adjudicamos a un producto (una canción alegre, un coche femenino) como también las emociones que la interacción con el producto nos hace sentir (me siento orgullosa de mi collar, atractivo con mis vaqueros, moderno por tener un *smartphone*).

El conocimiento detallado de estas percepciones que el diseño del producto provoca en el individuo es clave para que los diseñadores orienten sus productos hacia el usuario, influyendo de este modo de manera directa sobre el éxito de los mismos (Vergara & Agost, 2011).

El diseño emocional o afectivo ha sido ampliamente estudiado en la literatura (Desmet, 2002; Norman, 2004; Petiot & Yannou, 2004; Jiao et al, 2006, Desmet & Hekkert, 2007, Crilly, Moultrie & Clarkson, 2004, Schütte 2005). Actualmente existen diferentes herramientas enfocadas hacia el estudio de las impresiones subjetivas del producto: el diferencial semántico (Osgood et al., 1957), la Ingeniería Kansei (Nagamachi 2002), o incluso neurotecnologías como el eye-tracking (Rayner, 1998) o la electroencefalografía, EEG (Rainer, 1998) son técnicas aplicadas con el objetivo de captar los significados afectivos y las emociones que el producto provoca en los usuarios.

Pero, en la base del proceso de diseño, queremos comprobar si los futuros diseñadores poseen una sensibilidad más acusada que otros estudiantes en la percepción de estas impresiones subjetivas del producto. Se ha elegido para ello un producto altamente influenciado por las tendencias de cada temporada, puesto que sus características funcionales han sido ya muy estudiadas: las gafas de sol. Especialmente en este tipo de productos cobran relevancia las necesidades de producto correspondientes al nivel superior de la propuesta de Jordan (2000), quien adaptó la pirámide de las necesidades humanas de Maslow (1970) estableciendo una jerarquía de requisitos del usuario en el diseño de producto: funcionalidad, usabilidad y placer.

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio desarrollado para descubrir, entre otros objetivos, si existen diferencias en la percepción de ciertos significados y emociones evocados por un producto altamente influido por las modas, entre estudiantes del grado IDIDP y de otras titulaciones (principalmente de ingeniería) de la Universitat Jaume I. En concreto, se ha trabajado con gafas de sol femeninas y masculinas, como producto representativo de las tendencias y modas de cada temporada. Se pretende determinar si los estudiantes de últimos años del grado IDIDP valoran de manera diferente a otros encuestados los significados y emociones (impresiones subjetivas) provocadas por las gafas de sol.

2. Metodología

2.1 Estudio de campo

Inicialmente se revisaron páginas web y revistas relacionadas con tendencias y modas, para obtener imágenes de gafas de sol variadas, que se clasificaron en distintos grupos en función de la información procedente de las fuentes (modas actuales y anteriores) y de las características de diseño del producto: colores en la montura y en los cristales, formas, tamaños y materiales.

Eligiendo gafas de todos los grupos establecidos, se definieron doce combinaciones diferentes de gafas masculinas y otras doce de gafas femeninas: tanto los modelos de gafas como el orden en que aparecen combinados los grupos varían en cada combinación. Las combinaciones fueron aleatoriamente distribuidas entre los encuestados (figura 1).

Las preguntas que debían contestar los participantes eran comunes en todos los casos (ver figura 2): en primer lugar algunas preguntas para caracterizar a la muestra: ocupación, rango de edad y factores de elección de las gafas de sol. Además, se pidieron diferentes valoraciones de las gafas: por una parte, la valoración global, de 0 a 10, en función de los gustos personales, y a continuación la valoración mediante una escala Likert de 5 puntos (de 1 a 5) de impresiones subjetivas planteadas como pares antónimos de afirmaciones, como por ejemplo si las gafas parecen elegantes/ vulgares, tristes/ alegres, o si se sentirían más o menos atractivos o jóvenes utilizándolas. También se pedía a los participantes que valoraran el grado en que pensaban que las gafas les quedarían bien o mal, o que reflejaban su personalidad.

Figura 1: Ejemplo de modelos de gafas y preguntas correspondientes a la encuesta

Las gafas me parecen...

A Precio *

1 2 3 4 5

Económicas Caras

B Precio *

1 2 3 4 5

Económicas Caras

C Precio *

1 2 3 4 5

Económicas Caras

Las gafas me parecen...

A Moda *

1 2 3 4 5

Pasadas de moda De moda, actuales

B Moda *

1 2 3 4 5

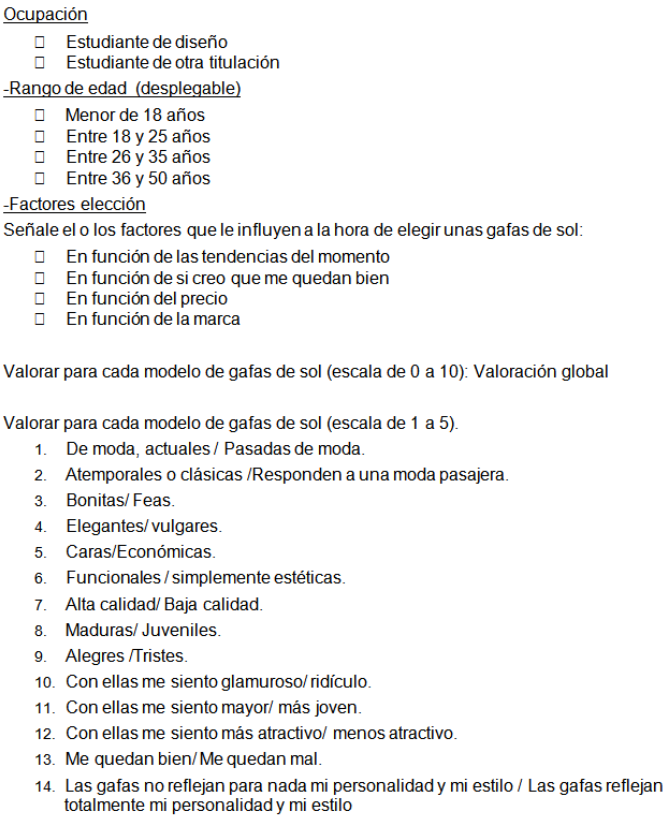
Pasadas de moda De moda, actuales

C Moda *

1 2 3 4 5

Pasadas de moda De moda, actuales

Figura 2. Información recogida en la encuesta



Ocupación

- Estudiante de diseño
- Estudiante de otra titulación

-Rango de edad (desplegable)

- Menor de 18 años
- Entre 18 y 25 años
- Entre 26 y 35 años
- Entre 36 y 50 años

-Factores elección

Señale el o los factores que le influyen a la hora de elegir unas gafas de sol:

- En función de las tendencias del momento
- En función de si creo que me quedan bien
- En función del precio
- En función de la marca

Valorar para cada modelo de gafas de sol (escala de 0 a 10): Valoración global

Valorar para cada modelo de gafas de sol (escala de 1 a 5).

1. De moda, actuales / Pasadas de moda.
2. Atemporales o clásicas /Responden a una moda pasajera.
3. Bonitas/ Feas.
4. Elegantes/ vulgares.
5. Caras/Económicas.
6. Funcionales / simplemente estéticas.
7. Alta calidad/ Baja calidad.
8. Maduras/ Juveniles.
9. Alegres /Tristes.
10. Con ellas me siento glamuroso/ ridículo.
11. Con ellas me siento mayor/ más joven.
12. Con ellas me siento más atractivo/ menos atractivo.
13. Me quedan bien/ Me quedan mal.
14. Las gafas no reflejan para nada mi personalidad y mi estilo / Las gafas reflejan totalmente mi personalidad y mi estilo

2.2 Análisis de resultados

Se han obtenido 267 respuestas válidas: 154 correspondientes a estudiantes del grado IDDIP y otras 113 de estudiantes de otras titulaciones. Cada participante contestó valorando 3 modelos de gafas distintos. Los participantes masculinos contestaban sobre gafas para hombres y los femeninos sobre gafas para mujeres. El número de valoraciones de hombres fue el doble que el de mujeres (179 respuestas frente a 88), puesto que los estudiantes de ingenierías son en su mayoría del sexo masculino. En cuanto a la edad, lógicamente, el rango de entre los 18 y los 25 años supone un elevadísimo porcentaje: más del 91% de las respuestas. En concreto, la media de edad es de 20,7 años (desviación típica: 3,87).

Las variables correspondientes a las valoraciones de diferentes impresiones se han cambiado de escala para facilitar la interpretación de resultados en el análisis estadístico, pasando de valores de 1 a 5 a una nueva escala de -2 a 2, excepto en el caso de la valoración general de las gafas, que se ha mantenido con la escala inicial de 0 a 10 puntos.

Para comprobar si existen diferencias significativas en los factores que influyen a la hora de elegir unas gafas de sol entre los estudiantes de IDIDP y los de otras titulaciones, se ha aplicado la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, ya que no se puede asumir normalidad en las muestras consideradas (el test de Kolmogorov-Smirnov reveló valores del nivel crítico menores en todos los casos al nivel de significación $p<0.05$.

Se ha aplicado análisis de correlaciones entre las diferentes valoraciones de las gafas de sol (preguntas 1 a 14 del cuestionario de la figura 2), por separado para estudiantes IDIDP y de otras titulaciones. Se ha utilizado el coeficiente Rho de Spearman para las correlaciones puesto que tampoco estas variables siguen una distribución normal (el test de Kolmogorov-Smirnov reveló también valores del nivel crítico menores en todos los casos al nivel de significación $p<0.05$). Aunque se han encontrado algunas diferencias en los aspectos de valoración correlacionados en ambos grupos, lo cierto es que estas valoraciones están en general muy correlacionadas entre ellas, por lo que a continuación se ha aplicado análisis factorial a dichas valoraciones, con el fin de extraer los factores subyacentes de valoración. Se ha utilizado el método de extracción de componentes principales y rotación Varimax. Aunque se empezó el análisis aplicando el criterio de la raíz latente (autovalores >1), finalmente se eligió forzar el número de factores, obteniendo de este modo una solución más coherente.

Obtenidos los factores subyacentes de las valoraciones, se ha aplicado correlaciones (utilizando el coeficiente de Pearson en este caso porque los factores sí siguen una distribución normal) de éstos con la valoración global, por separado para estudiantes IDIDP y de otras titulaciones, detectándose algunas diferencias.

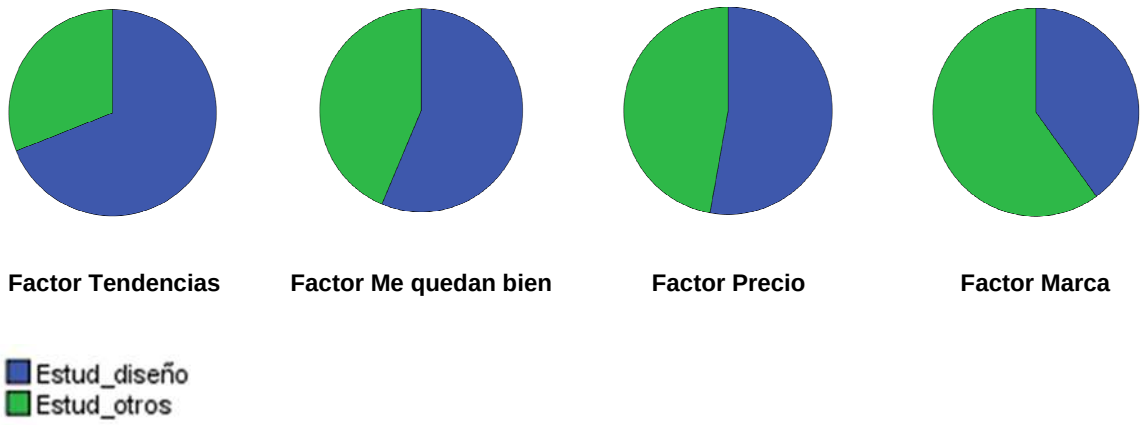
3. Resultados

En cuanto a los factores que afectan a la elección de las gafas, la prueba de Kruskal-Wallis muestra que debe rechazarse la hipótesis de que la distribución de la variable “Factor-Tendencias” sea la misma entre estudiantes de IDIDP y de otros estudiantes (Sig=0.007). En particular, los estudiantes de IDIDP se decantan en mayor medida por las tendencias del momento que el resto de estudiantes (tabla 1). En el resto de factores no se ha detectado diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos de estudiantes.

Tabla 1: Estadísticos del factor Tendencias para la elección de gafas de sol de estudiantes de IDIDP y otros estudiantes

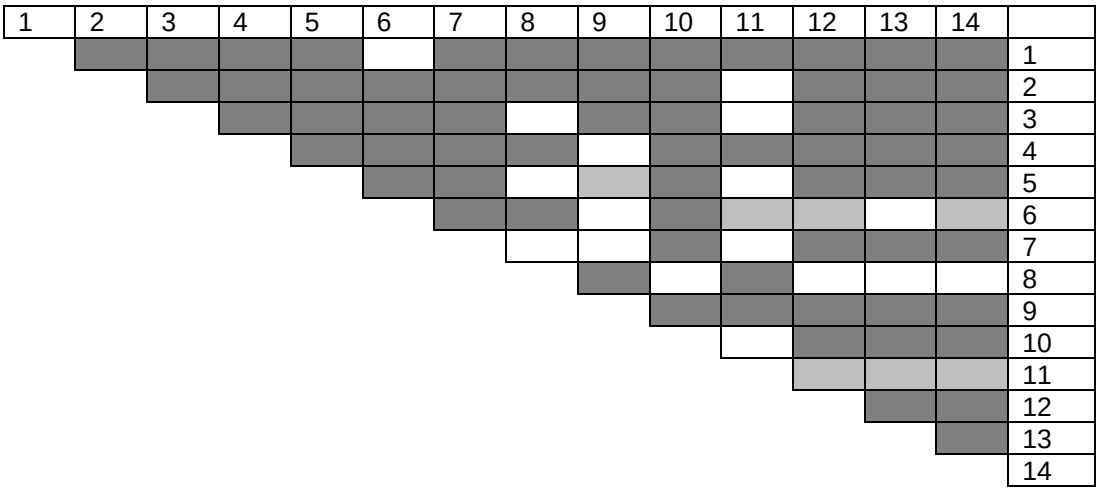
Factor_Tendencias	Media	Desviación estándar	N
Estud_ IDIDP	0,38	0,488	154
Estud_otros	0,23	0,423	113

Figura 3: Porcentaje de estudiantes de IDIDP (azul) y de otras titulaciones (verde) que eligen gafas de sol en función de los factores siguientes: "Tendencias"; "Me quedan bien"; "Precio"; "Marca".



Las figuras 4 y 5 muestran los resultados del análisis de correlaciones (coeficiente Rho de Spearman) para las valoraciones de las gafas de sol de estudiantes de IDIDP y estudiantes de otras titulaciones, respectivamente. Las casillas de color gris oscuro indican que la correlación es significativa en el nivel 0.01, mientras que las casillas de color gris medio indican correlación significativa al nivel 0.05.

Figura 4: Correlaciones entre valoraciones de las gafas de sol para estudiantes de IDIDP



Leyenda:

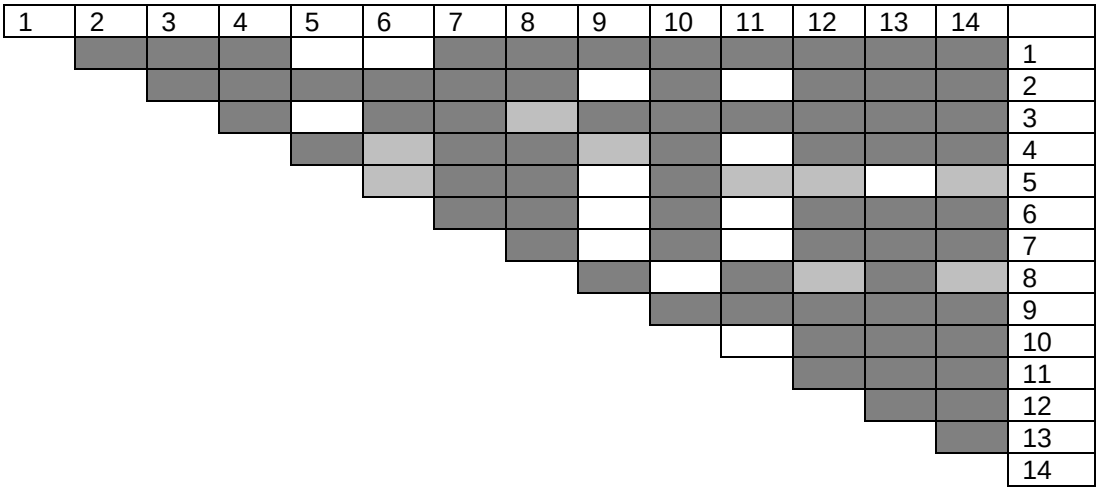
Variables no correlacionadas.

Variables correlacionadas Coeficiente Rho de Spearman, p< 0,05.

Variables correlacionadas. Coeficiente Rho de Spearman, p< 0,01.

Variables: (ver numeración en figura 2)

Figura 5: Correlaciones entre valoraciones de las gafas de sol para estudiantes de otras titulaciones



Leyenda: ver en figura 4

Se observa que las valoraciones sobre las gafas están en general muy correlacionadas entre ellas, por lo que se decidió posteriormente obtener los factores relacionados aplicando análisis factorial. En el caso de los estudiantes de IDIDP hay 67 correlaciones en el nivel 0.01 y otras 7 al nivel 0.05, mientras que quedan 17 combinaciones no correlacionadas entre ellas. En el caso del resto de estudiantes, son 68 los pares de variables

correlacionados en el nivel 0.01, 9 correlacionados en el nivel 0.05 y 14 sin correlacionar. En particular, llama la atención el caso de la valoración de “Maduras/ Juveniles” (variable nº 8), que en el caso de los estudiantes de IDIDP, y a diferencia de en el caso de los otros estudiantes, no está correlacionada con otras valoraciones como las de “Bonitas/ Feas” (variable nº 3), “Caras/Económicas” (variable nº 5), “Alta calidad/ baja calidad” (variable nº 7), “Me quedan bien/ Me quedan mal” (variable nº 13) y “Reflejan mi personalidad y estilo/ No lo reflejan” (variable nº 14). A pesar de que todos los encuestados en general son jóvenes, en especial los estudiantes de IDIDP parecen más capaces de no dejarse influir en sus valoraciones por la percepción de si las gafas están dirigidas a su rango de edad.

En el análisis factorial aplicado para reducir las variables a factores independientes, la medida de adecuación muestral KMO ofrece un valor de 0.900 (>0.7). La prueba de esfericidad de Bartlett muestra un nivel de significación Sig.= 0,000. Por lo que la aplicación del análisis factorial es pertinente en este caso. Con el criterio de obtener una varianza explicada mayor del 70% y observando un cambio de tendencia en el gráfico de sedimentación, se ha optado por la solución conseguida al forzar a 5 el número de factores. La varianza total explicada así conseguida es del 80.159%, y la matriz de componentes rotados se muestra en la tabla 2 (sólo se muestran los componentes con valor de carga mínimo de 0.35, según la potencia de cargas significativas en función de la carga muestral (Hair et al., 1999).

Tabla 2: Matriz de componentes rotados

	Componente				
	1	2	3	4	5
Me quedan bien (/mal)	,895				
Reflejan mi personalidad y estilo (/no)	,886				
Bonitas (/feas)	,831				
Más atractivo (/menos)	,828				
De moda, actuales (/pasadas de moda)	,746				
Glamouroso (/ridículo)	,648		,439		
Elegantes (/vulgares)	,600	,352	,519		
Mayor (/más joven)		,875			
Maduras (/juveniles)		,818			
Alegres (/tristes)	,506	-,586			
Atemporales o clásicas (/responden a una moda pasajera)			,813		
Caras (/economicas)				,917	
Alta calidad (/baja calidad)			,460	,674	
Funcionales (/simplemente estéticas)					,934
% Varianza explicada acumulada	44.73	63.49	69.86	75.65	80.16

Así pues, el primer factor obtenido, que explica casi un 45% de la varianza, se ha denominado F1 Estética, y recoge los aspectos relacionados con lo bonitas que se perciben las gafas, o si el individuo piensa que le quedan bien, que están de moda, o que reflejan su personalidad y estilo. El segundo factor se ha denominado F2, Madurez, y explica casi un 19% de la varianza total. El siguiente, F3, con más de un 6% de la varianza explicada, está relacionado con la Atemporalidad. El F4 tiene que ver con el precio y la calidad de las gafas. Por último, con sólo un 4.5 de la varianza explicada, se identifica el factor F5, Funcionalidad.

La aplicación de correlaciones totales (coeficiente de Pearson) de estos factores con la valoración global ofrece resultados distintos para los dos grupos de estudiantes (tabla 3). En el caso de los estudiantes de IDIDP, se obtiene una correlación significativa en el nivel 0.01 para los factores F1 Estética, F3 Atemporalidad y F4 Precio y calidad. En el caso del factor F2 Madurez, la correlación es negativa y significativa en el nivel 0.05. El factor F5 Funcionalidad no está correlacionado con la valoración global de las gafas, en el caso de los estudiantes IDIDP.

El único caso similar para los estudiantes de otras titulaciones es la correlación del F1 Estética con la valoración global, que tiene el mayor valor del coeficiente de correlación. El F2 Madurez está correlacionado negativamente también en este caso, aunque en el nivel 0.05. Los factores F3 Atemporalidad y F4 Precio y calidad no están ahora correlacionados con la valoración global, y el factor F5 Funcionalidad, que no estaba correlacionado con la

valoración global en el caso de los estudiantes IDIDP, sí lo está en el nivel 0.05 en el caso de los estudiantes de otras titulaciones.

Tabla 3: Correlaciones totales entre los factores obtenidos y la variable Valoración global, para los estudiantes de IDIDP y los de otras titulaciones.

		F1	F2	F3	F4	F5
Valoración global (estudiantes IDIDP) N=154	Correlación de Pearson	0,702**	-0,162*	0,306**	0,259**	0,079
	Sig. (bilateral)	0,000	0,044	0,000	0,001	0,330
Valoración global (estudiantes otras titulaciones) N=113	Correlación de Pearson	0,823**	-0,298**	0,131	-0,061	0,228*
	Sig. (bilateral)	0,000	0,001	0,166	0,522	0,015

Por tanto, los aspectos relacionados con la estética y la moda están en gran parte recogidos por el factor que explica un mayor porcentaje de la varianza, y además es el más fuertemente correlacionado con la valoración global que los encuestados otorgan a las gafas de sol. Este resultado es similar tanto para los estudiantes de IDIDP como para los de otras titulaciones, lo que tiene sentido, puesto que se ha elegido un producto altamente dependiente de las tendencias.

Los aspectos relacionados con la madurez/juventud y la tristeza/alegría transmitida por las gafas se recogen principalmente en el segundo factor, también correlacionado por todos los encuestados con la valoración global de las gafas, aunque en este caso los estudiantes de IDIDP lo hacen con menor intensidad que los de otras titulaciones. Este resultado concuerda con la comparación de las figuras 4 y 5, donde se podía identificar un menor número de valoraciones correlacionadas con la valoración "Maduras/Juveniles" entre los estudiantes de IDIDP.

Los factores relacionados con la atemporalidad y con el precio y la calidad, sólo están correlacionados con la valoración global para los estudiantes de IDIDP, mientras que la funcionalidad solo es correlacionada con la valoración global por los estudiantes de otras titulaciones. En el caso concreto del factor F3 Atemporalidad, este resultado contrasta con la opinión expresada por los estudiantes de IDIDP, que dicen elegir las gafas de sol influidos por las tendencias del momento. En cambio, los resultados muestran que la atemporalidad de las gafas constituye para ellos un factor relacionado con la valoración de las mismas.

4. Conclusiones

El objetivo de este estudio consiste en descubrir si pueden identificarse diferencias en las valoraciones sobre impresiones subjetivas provocadas por gafas de sol entre estudiantes del grado de ingeniería en diseño industrial y desarrollo de producto y estudiantes de otras titulaciones, teniendo en cuenta la importancia, en el perfil de un diseñador, de poseer entre sus competencias una sensibilidad acusada en la percepción de estas impresiones subjetivas que un producto provoca en los individuos, y que pueden ser decisivas en la decisión de compra.

Los resultados obtenidos muestran en primer lugar que los estudiantes de IDIDP y de otras titulaciones dicen apoyarse en factores diferentes en la elección de gafas de sol; los primeros dicen hacerlo más en función de las tendencias del momento.

Los diferentes aspectos subjetivos que los estudiantes han valorado en las gafas de sol se han reducido a 5 factores: F1 Estética, F2 Madurez, F3 Atemporalidad, F4 Precio y calidad y F5 Funcionalidad. Los resultados muestran que los estudiantes de IDIDP relacionan la valoración global de las gafas de sol con un mayor número de factores. En concreto, los primeros cuatro factores aparecen correlacionados con la valoración global otorgada a las gafas, y sólo dejan sin correlación con la valoración global el factor que menos varianza explica, la funcionalidad. En cambio, los estudiantes de otras titulaciones correlacionan menos factores con la valoración global de las gafas; aunque sí tienen en cuenta la funcionalidad, no consideran la atemporalidad o el precio y la calidad a la hora de valorar unas gafas de sol.

Por tanto, se han detectado diferencias entre estudiantes de IDIDP y de otras titulaciones a la hora de valorar un producto altamente relacionado con las tendencias y las modas como son las gafas de sol. Los estudiantes de IDIDP tienen en cuenta más aspectos o factores diferentes a la hora de valorar globalmente dicho producto.

Bibliografía

Agost M.J., & Mulet E. (2015). A coordination experience for improvig industrial designers profile of competences. En *9th International Technology Education and Development Conference* INTED. ISBN 978-84-606-5763-7.

Agost M.J., & Vergara M. (2013). The application of collaborative learning strategies for improving industrial designers' profile of competences. En *Proceedings of the International Technology, Education and Development Conference*, INTED. ISBN: 978-84-616-2661-8.

Agost, M.J., & Vergara M. (2008). Application of problem-based learning strategies in teaching ergonomics for industrial designers. Proceedings of the *International Technology, Education and Development Conference*, INTED. ISBN: 978-84-612-0190-7.

Crilly, N., Moultrie, J., & Clarkson, P.J. (2004). Seeing things: consumer response to the visual domain in product design. *Design Studies 25*, 547–577.

Desmet P., & Hekkert P. (2002). The basis of product emotions. En Taylor and Francis (Eds.), *Pleasure with products, beyond usability*, (pags.60-68.). Londres: Taylor and Francis.

Desmet, P. (2002). *Designing Emotions*. Doctoral thesis. Netherlands: Delf University of Technology.

Hair J.F., Anderson R.E., Tatham R.L., & Black W.C. (1999). *Análisis multivariante*. Prentice Hall.

Jiao, J., Zhang, Y., & Helander, M. (2006). A Kansei mining system for affective design. *Expert Systems with Applications, 30*, 658-673.

Mulet E., Bovea M.D., Colomar A.J., & Bonastre F.J. (2007). Análisis del desarrollo de competencias transversales en la asignatura de proyectos. Experiencia en la Universitat Jaume I. En *Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos*, AEIPRO. Lugo. Departamento de Ingeniería Agroforestal. ISBN: 978-84-690-8134-1.

Mulet E., & Vidal M.R. (2005). El camí cap a la convergència educativa a Europa: una oportunitat per a la millora educativa en l'UJI. *Actes de la IV Jornada de millora educativa i III Jornada d'harmonització europea de la Universitat Jaume I*. Servei de publicacions de la Universitat Jaume I. ISBN: 84-8021-534-8.

Mulet E. (2003) Experiències de millora i innovació de la docència universitària. *Actes de la II Jornada de Millora Educativa de l'UJI*. -: Servei de publicacions de la Universitat Jaume I. ISBN: 84-8021-432-5.

Nagamachi M. (2002). Kansei as powerful consumer-oriented technology for product development. *Int. J. of Industrial Ergonomics*, 33. pp 289-294.

Norman D.A. (2004). *Emotional Design. Why we love (or hate) everyday things*. New York: Basic Books.

Osgood, Ch.E., Suci, G. J. & Tannenbaum, P.H. (1957). *The Measurement of meaning*. Univ. of Illinois 1957.

Petiot, J.F., & Yannou, B. (2004). Measuring consumer perceptions for a better comprehension, specification and assessment of products semantics. *International Journal of Industrial Ergonomics, 33*(6), 507-525.

Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research. *Psychological bulletin*, 124(3), pp. 372–422.

Schütte, S.T. (2005). *Engineering Emotional Values in Product Design- Kansei Engineering in Development.* Institute of Technology, Linköpings University, Linköping.

Vergara M., & Agost, M.J., (2011). Influencia de la impresión subjetiva en la elección de pavimentos cerámicos. En *XV Congreso International de Ingeniería de Proyectos*, AEIPRO. Huesca, 6-8 de julio de 2011.

03-007

PROCESS DESIGN FOR STERILIZATION OF MEDICAL DEVICES USING SCADA AND E-BEAM TECHNOLOGY

Arredondo Soto, Karina Cecilia; Carrillo Gutiérrez, Teresa; Solis Quinteros, Maria Marcela; Pérez Morales, Juan Ramón
Universidad Autónoma de Baja California

The sterilization of medical products are used to ensure the safety of devices that come into contact with humans. The technology for accelerating electrons (E-Beam) can break the chains of DNA of the microbial population preventing their reproduction, so it is essential to ensure the exposure dose. The E-Beam technology is newly implemented in sterilization processes for Latin America. This project was developed with the aim of implementing a system of supervisory control and data acquisition (SCADA) through the integration of E-Beam, software and hardware for the process of sterilization of medical products in a safe and health environment for exposed personnel. Compliance with Mexican Official Standards, the National Commission of Nuclear Safety and Safeguards; and COFEPRIS are considered. Conveyor system was used to achieve the flow of materials according to the parameters set in the study of dosimetry. Upon reaching the implementation phase will benefit from the service to the medical device companies the northern border of Mexico, which represent the most important region of the country for this sector.

Keywords: *STERILIZATION; MEDICAL PRODUCTS; E-BEAM*

DISEÑO DEL PROCESO PARA LA ESTERILIZACIÓN DE DISPOSITIVOS MÉDICOS UTILIZANDO SCADA Y TECNOLOGÍA E-BEAM

La esterilización de productos médicos se utiliza para asegurar la inocuidad de los dispositivos que entran en contacto con el ser humano. La tecnología por aceleración de electrones (E-Beam) permite romper las cadenas de ADN de la población microbiana evitando su reproducción, por lo que es indispensable asegurar la dosis de exposición. La tecnología E-Beam es de reciente aplicación en los procesos de esterilización y en Latinoamérica. El presente proyecto fue desarrollado con el objetivo de implementar un sistema de control supervisorio y de adquisición de datos (SCADA) a través de la integración del E-Beam, sofware y hardware para el proceso de esterilización de productos médicos, en un ambiente de seguridad y salud para el personal expuesto. Se considera el cumplimiento con las normas oficiales Mexicanas, de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguarda y de la COFEPRIS. Se utilizó un sistema de bandas transportadoras para lograr el flujo de materiales acorde a los parámetros establecidos previamente en el estudio de dosimetría. Al llegar a la fase de implementación se beneficiará con el servicio a las empresas de dispositivos médicos de la frontera norte de México, que representan la región más importante del país para este sector.

Palabras clave: *ESTERILIZACIÓN; PRODUCTOS MÉDICOS; E-BEAM*

Correspondencia: M.I. Karina Cecilia Arredondo Soto karina.arredondo@uabc.edu.mx

Agradecimientos: Se agradece el financiamiento del proyecto a la empresa Avantti Medi Clear, así como recursos del Gobierno Federal Mexicano mediante el Programa de Estímulos a la Innovación.

1. Introducción

La industria de manufactura médica, a nivel mundial, se valora en 368 mil millones de dólares (mdd) según el reporte de Global Health Care Equipment & Supplies (2010). Este sector requiere asegurar una condición estéril de sus productos debido a que algunos de ellos serán introducidos en el cuerpo humano. Ahora bien, existen diferentes procesos para lograr la esterilización de los dispositivos médicos: con óxido de etileno, rayos gamma y por medio de un acelerador de electrones (*e-beam*). Los dos primeros métodos son los de uso más común, sin embargo presentan deventajas. En el caso del óxido de etileno utiliza sustancias químicas que generan volátiles al ambiente. Por otra parte, el proceso que utiliza rayos gamma tiene 35 años utilizándose en México, pero tiene el inconveniente de trabajar con una fuente radioactiva. En cambio, el proceso por aceleración de electrones es un proceso versátil y tiene las ventajas de no generar sustancias volátiles al ambiente; no es una fuente de radiación, por lo que se considera una tecnología novedosa. En México, no existe una compañía que ofrezca el servicio de esterilización de productos médicos por aceleración de electrones. Esta comunicación explica el proceso de implantación del proceso de esterilización por medio de aceleración de electrones de una compañía que ofertará estos servicios en la Frontera Norte de México.

La esterilización por acelerador de electrones consiste en administrar dosis de irradiación controladas con alta precisión a los dispositivos médicos expuestos. Es importante resaltar que el acelerador genera radiación sólo en el momento en el que está operando; es decir, cuando se encuentra energizado, reduciendo así la posibilidad de un siniestro. La esterilización de productos médicos se utiliza para asegurar la inocuidad de todos aquellos dispositivos que entran en contacto con el ser humano. Asimismo, es de suma importancia el poder asegurar la reducción de los conteos microbianos en ellos, por medio de un proceso que garantice la aplicación de una dosis de irradiación constante y precisa.

El proceso de esterilización por acelerador de electrones, se compone de un acelerador de electrones, contenido dentro de una bóveda de concreto, un sistema de bandas transportadoras, un laboratorio de dosimetría y software y hardware de control especializado. Un acelerador de electrones emite un haz de electrones que al entrar en contacto con la superficie de los materiales modifica la estructura molecular, rompiendo las cadenas de ADN (ácido desoxirribonucleico) de la población microbiana, evitando así la reproducción de la misma. El acelerador de electrones se instala en una bóveda que contiene un laberinto de concreto conectada hacia el área entrada y salida de productos. Los productos a tratar, se mueven a través del laberinto por medio de un sistema de bandas transportadoras.

La determinación de dosis de irradiación para cada dispositivo y su monitoreo, son evaluadas dentro del laboratorio de dosimetría. La precisión del sistema depende de la velocidad y la posición del producto en el momento en el que es expuesto al haz de electrones. Esta velocidad y posición requiere del diseño de un software a la medida, que integra a través de PLC´s (por sus siglas en inglés *Programmable Logic Circuit*) la comunicación de motores, sensores, codificadores, interruptores de seguridad del usuario (mecánica y eléctrica), etiquetadora, lectores de barra y otros. Con este sistema de comunicación se logra la recolección de los datos necesarios para que sean analizados con base a la lógica programada, procesados para la retroalimentación del sistema, originando como respuesta las condiciones para la aplicación óptima de la dosis determinada.

El software consiste en la integración de protocolos de comunicación de la red de control industrial que permite hacer la escritura y lectura de las entradas y salidas de los dispositivos finales, principalmente el PLC. Al tener esta comunicación es posible procesar y actuar sobre los productos médicos en cuestión. Además desarrolla una interfaz gráfica para

consulta y control del proceso en general para su mejor operatividad. Como complemento y culminación de un sistema SCADA (por sus siglas en inglés *Supervisory Control And Data Acquisition*), se tiene la parte del tratado de los datos, los cuales son guardados en un histórico y es posible realizar consultas en tiempo real desde el interior de la empresa. Esta consulta de datos es escalable al exterior de la empresa, es decir, internet.

El software de un sistema SCADA es un software que lee, procesa y actúa sobre las entradas y salidas de los dispositivos finales (PLC, sensores). Actúa a través de una red de control industrial, por medio de una interfaz humano máquina (HMI, por sus siglas en inglés Human Machine Interface) pueda ser operado y a su vez tener un tratado de los datos para hacer consultas y elaborar estadísticos recientes e históricos del proceso.

2. Objetivos

El objetivo principal de la comunicación es documentar el proceso de transferencia de tecnología para la implementación exitosa del proceso de esterilización por medio de acelerador de electrones. Para lograrlo la empresa enfocó sus esfuerzos en los siguientes objetivos específicos:

- Implementar un sistema de control supervisorio y de adquisición de datos (SCADA), a través de la integración de acelerador de electrones, software y hardware para el proceso de esterilización de productos médicos, en un ambiente de seguridad y salud para el personal ocupacionalmente expuesto.
- Garantizar al 100% la dosis pactada de irradiación de cada producto a través de los parámetros establecidos previamente por el estudio de dosimetría.
- Garantizar cero defectos por manejo de materiales.
- Cumplir con la normativa internacional vigente de la industria médica para asegurar la rastreabilidad de los productos y de la dosis aplicada en tiempo real a cada uno de ellos, internamente y para los clientes.

3. Metodología y/o caso de estudio

La empresa, caso de estudio, determinó la instalación de una planta de esterilización por aceleración de electrones para dispositivos médicos en el municipio de Tijuana, con el fin de proveer el servicio a la industria de dispositivos médicos de la Baja California. Dado que Tijuana concentra la mayor producción de dispositivos médicos en Norteamérica y además por los estímulos brindados por el gobierno del estado de Baja California para resolver esta necesidad estratégica para el desarrollo económico del estado. La parte medular del proyecto se concentra en el software de control y de adquisición de datos. Dicho software será el responsable de la operación de las bandas en donde se transportarán los productos médicos a esterilizar.

Es importante resaltar que la dosis es determinada específicamente para cada tipo de producto, considerando que los productos se encuentran empaquetados de una manera específica. La dosis es determinada por la compañía proveedora del servicio y es válida por un tercero. Se garantiza una dosis, no esterilidad. Se considera que la dosis funciona siempre y cuando los conteos microbianos en los cuartos limpios estén dentro de control.

La tabla 1 presenta la metodología de trabajo aplicada al proyecto. La investigación documental y análisis del estado del contexto fue la primera fase desarrollada. Esta fase es considera fundamental, pues junto con la fase de análisis de factibilidad, se determinó lo conveniente de la inversión en este tipo de tecnología. El diseño y desarrollo del prototipo dieron como resultado los documentos: Especificaciones de la banda transportadora,

Especificaciones de la Interface de la banda transportadora, el Manual de operación del usuario y Especificaciones del sistema de seguridad de la banda transportadora. Las pruebas y mejoras al prototipo no han sido concluidas, la empresa está en fase preoperatoria, por lo que está última fase está en proceso y está proyectado concluirla antes de que termine el año en curso.

Tabla 1. Metodología para el proyecto

Metodología de trabajo
Investigación documental y análisis del estado del contexto
Análisis de factibilidad
Diseño del prototipo
Desarrollo del prototipo
Pruebas y mejoras del prototipo
Documentación y gestión del prototipo

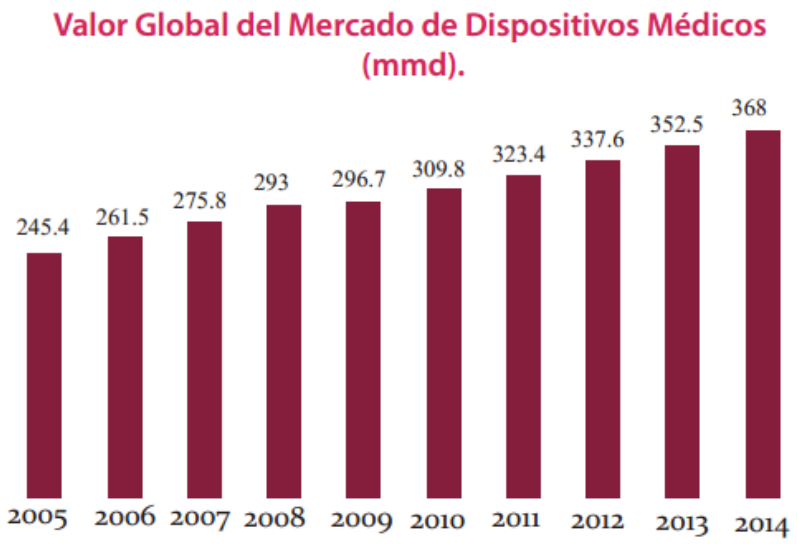
Fuente: elaboración propia

4. Resultados

4.1 Investigación documental y análisis del estado del contexto

El Sector de Dispositivos Médicos en el mundo alcanzó un valor aproximado de 309,800 millones de dólares en 2010. Para finales del año 2014, el valor de mercado fue de 368,000 millones de dólares con un crecimiento de 4.4% durante el periodo 2009-2014 (ver figura 1). Según la Secretaría de Relaciones Exteriores de México, en 2009, la región con mayor participación en los ingresos de esta industria fue América con 48%, seguido de Europa con un 32.6% y Asia Pacífico con 19.4%.

Figura 1: Valor Global del Mercado de Dispositivos Médicos



Fuente: Datos estimados con información de reporte de Datamonitor Global Health Care Equipment & Supplies (2010).

México cuenta con 2,321 unidades económicas relacionadas con la producción de dispositivos médicos, de los cuales 744 son exportadores. Durante el 2011, México exportó 6,072 millones de dólares. Actualmente, México es el onceavo exportador de dispositivos médicos en el mundo, el principal exportador de América Latina y gran proveedor para el mercado de Estados Unidos (Oliva, 2014). México cuenta con siete clústeres del sector que agrupan aproximadamente a 130 empresas.

El clúster de Baja California es el más importante pues sus empresas representan más del 50% de las exportaciones totales nacionales del sector. Se manufacturan equipos y componentes como: catéteres, pipetas, válvulas, respiradores artificiales, nebulizadores, conectores y aparatos ortopédicos, entre otros (Proméxico, 2011). En California, Estados Unidos, se encuentra Silicon Valley, el centro de la innovación mundial de este sector, así como más del 50% de las empresas de manufactura en equipo médico. En relación con esta región, cabe destacar la "Iniciativa en Dispositivos Médicos México-Estados Unidos" de la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia (FUMEC). El principal objetivo de la iniciativa es apoyar a los desarrolladores de productos en México a través de TechBA, relacionándolos con empresas y clústeres en el extranjero, donde se ubican empresas con la necesidad de manufacturar a un bajo costo. Tijuana, a solo una milla de la frontera de California, se ha convertido en el centro de manufactura para los dispositivos médicos. Baja California cuenta ya con más de 60 firmas en el sector de productos médicos En Tijuana y Mexicali se localiza el mayor número de plantas en este sector (Rivero, 2012).

Entre las características de la industria médica regional destacan los siguientes aspectos:

- En la cadena de valor los procesos se ubican en la fabricación de insumos genéricos, ensamble y empaque; productos médicos desechables, productos ortopédicos, instrumentos médicos y de cirugía.
- Se estima un consumo anual de materias y partes directas superior a 1,500 mdd.
- El 93% de los insumos son plásticos (polipropileno, VYNIL/PVC, Poliestireno, Policarbonato, PET, HDPE, Evopreno).
- Los cuartos limpios instalados van de Clase 100 a 100,000.
- Los productos son de Clase I, II y III según la FDA (Food and Drugs Administration).

Normatividad mexicana e internacional aplicable

Los estándares y certificaciones requeridos en dosimetría y en plantas de esterilización de productos médicos a nivel internacional son:

- ISO 11137. Certificación para la esterilización de productos médicos.
- ANSI/AAMI TIR29. Guía para el control del proceso de esterilización por irradiación.
- ASTM E2628. Estándar para la práctica de dosimetría para procesos de irradiación.
- ASTM E2701. Guía para la caracterización de los sistemas de dosimetría para utilizarse en procesos de irradiación.
- ISO/ASTM 51649. Protocolos de Dosimetría en instalaciones de aceleradores de electrones para irradiaciones procesadas a energías entre 300 KeV y 25 Mev.
- ASTM E2303. Guía para el desarrollo del mapeo de la dosis absorbida en instalaciones de irradiación.
- ISO/ASTM 51261. Protocolos para la calibración de la rutina para los sistemas de dosimetría utilizados en procesos de irradiación.

- ISO/ASTM 51275. Protocolo para el uso de películas radio cromáticas en los sistemas de dosimetría.
- ISO/ASTM 51707. Guía para la estimación de la incertidumbre en dosimetría para los procesos de irradiación.
- NPL CIRM 29. Lineamientos para la calibración de rutina de los sistemas de dosimetría utilizados en los procesos de irradiación.

La tabla 2 resume la normatividad aplicable a todas las instalaciones en donde se genera radiación ionizante dentro del territorio de la República Mexicana. La NOM-012-STPS-2012 (Norma Oficial Mexicana) es la que rige estos procesos, regulada por la COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios).

Tabla 2. Norma Oficial Mexicana aplicable

Clave	Descripción
NOM-012-STPS-2012	Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, usen, almacenen o transporten fuentes de radiaciones ionizantes.
NOM-001-NUCL-1994	Factores para el cálculo de equivalente de dosis.
NOM-005-NUCL-1994	Límites anuales de incorporación (LAI) y concentraciones derivadas en aire (CDA) de radionúclidos para el personal ocupacionalmente expuesto.
NOM-006-NUCL-1994	Criterios para la aplicación de los límites anuales de incorporación para grupos críticos del público.
NOM-012-NUCL-2002	Requerimiento y calibración de monitores de radiación ionizante.
NOM-012-NUCL-2002	Requerimiento y calibración de monitores de radiación ionizante. Aclaración.
NOM-024-NUCL-1995	Requerimientos y calibración de dosímetros de lectura directa para radiación electromagnética.
NOM-026-NUCL-1999	Vigilancia médica del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.
NOM-031-NUCL-1999	Requerimientos para la calificación y entrenamiento del personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.
NOM-039-NUCL-2008	Especificación para la exención de fuentes de radiación ionizante y de prácticas que las utilicen.
NOM-017-STPS-2008	Equipo de protección personal, selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
NOM-026-STPS-2008	Colores y señales de seguridad e higiene para los centros de trabajo.

Fuente: COFEPRIS, 2015.

Con relación al laboratorio de dosimetría es requerida la certificación en Buenas Prácticas ante la COFEPRIS para poder solicitar el registro ante la FDA. La empresa debe cumplir con toda la normativa de las autoridades ambientales tanto municipales, estatales y federales. El permiso de uso de suelo (municipal), el cual tiene la finalidad de establecer un control de la mancha urbana de una manera ordenada: guiando con ello el crecimiento de la ciudad y procurando la compatibilidad de los usos en beneficio de la población.

El manifiesto de Impacto Ambiental (estatal), Se trata de un documento con base en estudios técnicos con el que la empresa que desee realizar alguna de las obras o actividades previstas en el artículo 28 de la LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente), analiza y describe las condiciones ambientales anteriores a la

realización del proyecto con la finalidad de evaluar los impactos potenciales que la construcción y operación de dichas obras o la realización de las actividades podría causar al ambiente y definir y proponer las medidas necesarias para prevenir, mitigar o compensar esas alteraciones.

El permiso de construcción es otorgado por la CNSNS (Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas), el cual requiere cumplir con la NOM-012-STPS-2012 y el formato CNSNS 00-010. Esta norma tiene por objeto evitar riesgos innecesarios en la exposición de los trabajadores, el público y el ambiente. Así mismo es mandatorio apegarse al formato CNSNS 00-011, específica para aceleradores de partículas iguales o mayores a 10 eV (electrón Volts). Una vez cumplidos éstos, la licencia de operación es otorgada por la CNSNS. Por otra parte, el trámite SEMARNAT-07-017 es el instrumento mediante el cual como generadores de residuos de manejo especial se podrá cumplir con la obligación de registrarse ante la SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales).

Otra norma con la que se debe cumplir es la CT-PAT (por sus siglas en inglés *Customs-Trade Partnership Against Terrorism*). Esta es una iniciativa antiterrorista de la Aduana de Estados Unidos de Norte América. El objetivo es tomar medidas conjuntas a la industria con la finalidad de evitar que la carga comercial sea contaminada con sustancias ilegales o no manifestadas. Algunas de estas son armas, drogas o explosivos (*U.S. Custom and Border Protection*, 2015). Todas estas certificaciones serán requeridas por las empresas receptoras del servicio.

4.2 Análisis de factibilidad técnica y económica

En virtud de los resultados de la investigación documental y del análisis del contexto se determinó que la ubicación idónea para la planta de esterilización de dispositivos médicos por medio de aceleración de electrones es Tijuana. El costo total de la inversión fue de $750,000 dólares. El clúster médico de Baja California no tiene un proveedor local del servicio de esterilización, el proveedor más cercano se encuentra en San Diego, California en Estados Unidos y el costo que ofrecen es el doble de lo que será con el proceso de aceleración de electrones. Un beneficio adicional es la reducción del manejo de materiales. Sin embargo, se ha considerado que el cambio de proveedor no se dará de manera inmediata, sino de forma gradual.

4.3 Diseño del prototipo

4.3.1 Descripción del sistema de bandas transportadoras

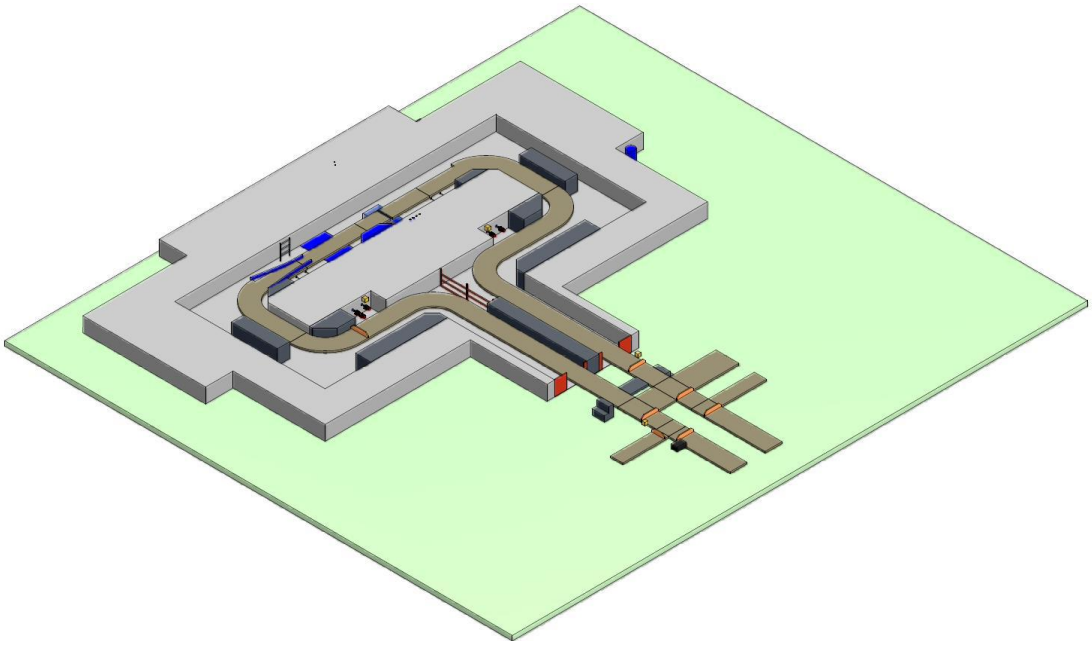
El documento Especificaciones de la banda transportadora (2014), contiene cada una de las consideraciones funcionales de las bandas y de manera general se consideran a continuación. El control de flujo del proceso es manejado por el controlador de proceso y el PLC de la banda transportadora. El controlador de proceso va a tomar las decisiones de alto nivel, mientras que el PLC de la banda transportadora ejecutará comandos emitidos por el Controlador del Proceso, así como el informe sobre el estado del sistema de bandas transportadoras. El sistema de bandas transportadoras realiza las siguientes funciones:

- Aceptar contenedores para irradiación desde las estaciones de carga.
- Aplicar etiquetas a los contenedores de irradiación (las etiquetas incluyen los códigos de barras).
- Mover contenedores para irradiación a través del laberinto.
- Voltear contenedores de irradiación para los tratamientos de doble cara.

- Transportar los contenedores para irradiación a las estaciones de descarga/rechazos.
- Manejar e informar sobre todas las fallas en el sistema de transporte.

La figura 2 muestra el diseño general de la bóveda que sirve de blindaje de la radiación emitida y en la que se instalan el sistema de bandas transportadoras y el acelerador.

Figura 2: Diseño de la bóveda



Fuente: Especificaciones de la banda transportadora (2014).

El sistema puede operarse en modo normal o en modo de falla. En el modo normal el proceso inicia con la carga manual de las cajas a las bandas transportadoras, estas avanzan hasta ser detenidas para el proceso de etiquetado, después de lo cual el controlador del proceso libera las cajas una a una. La banda tiene unos sensores que detentan la orientación de la caja, de modo que en cada sección de la banda antes de pasar por el haz de electrones puede ser sacada de la banda mediante un dispositivo neumático. En el modo de falla: el sistema de alimentación se detendrá, la sección de banda bajo el haz continuará funcionando de modo normal y el sistema de salida continuará hasta que la última caja cargada salga del túnel. En ambos casos las cajas contienen dosímetros para posteriormente tomar las lecturas de las dosis aplicadas, estos se resguardan como evidencia de cumplimiento con la dosis.

4.3.2 Modos de falla del prototipo

Una vez que el cambio de estado del modo de falla de la transportadora es recibido por el PLC de la banda transportadora, se produce el comportamiento siguiente en la banda transportadora:

- La inyección de ambos productos y cajas del Aparato de Rutina de Dosimetría en el sistema de transporte se detiene.
- Se detienen todas las secciones de penetración de la banda transportadora.
- La banda bajo el haz de electrones (UBC) deberá seguir funcionando.

- El traslado al proceso será detenido por el controlador de procesos tan pronto como no haya ninguna caja en transición a la (UBC).
- Todas las secciones de salida de la banda transportadora se detienen.
- Las cajas que llegan al lector óptico se dosifican afuera en la siguiente sección. Entonces, comienza la sección de la banda transportadora anterior a la UBC para una duración de tiempo lo suficientemente larga para permitir a la caja borrar el código UBC del lector óptico. Una vez que el cuadro se ha despejado, el código UBC del lector óptico, la sección de la banda transportadora anterior a la UBC deberá detenerse. La sección que precede a la UBC se etiqueta como "Salida 1".

Para salir del modo de falla de la banda transportadora, se confirma en el bloque de datos compartidos iMap, "*Conveyor Fault Reset*". Una vez que el PLC de la banda transportadora reciba la señal para restablecer la falla de la banda transportadora lo ejecuta. Si el problema persiste después de que se ha intentado la restauración del modo de falla, entonces, el PLC de la banda transportadora informará la falla de nuevo. Posteriormente, volverá a resultar el controlador del proceso afirmando el modo de falla de la banda transportadora en el sistema de transporte, una vez más, debe introducirse el modo de falla de la banda transportadora.

Figura 3: Bandas transportadoras en planta

Fuente: MEVEX The Accelerator Technology Company (2015).

Con este sistema de bandas (mostrado en la figura 3) es posible esterilizar producto en empaques que van de dos a ochenta kilogramos, con dimensiones entre 300 por 400 por 100 milímetros y 800 por 1200 por 100 milímetros. Las velocidades de banda son entre 0.5 y 20 metros por minuto, con una tolerancia del 1%. El sistema cuenta con un dispositivo de centrado, así como un dispositivo de volteo para tratamientos a doble cara. Debido a los altos niveles de ozono y de radiación en las zonas más cercanas al haz, la instalación de cualquier dispositivo electrónico, eléctrico o neumático en estas áreas requiere de blindaje. Deben tomarse medidas estrictas para evitar la corrosión debido a la concentración de ozono.

4.3.3 Especificaciones de la interface de la banda

El sistema transportador PLC envía y recibe datos hacia y desde el controlador del proceso para intercambiar información pertinente, tal como: el estado del sistema transportador, el estado del lector óptico, las velocidades del motor y su estado, la información de fallos, y la información de código de barras. El sistema de transporte acepta comandos tales como velocidades de funcionamiento y los comandos de transferencia.

El sistema de PLC de la banda transportadora se adhiere a los requerimientos de la tabla 3.

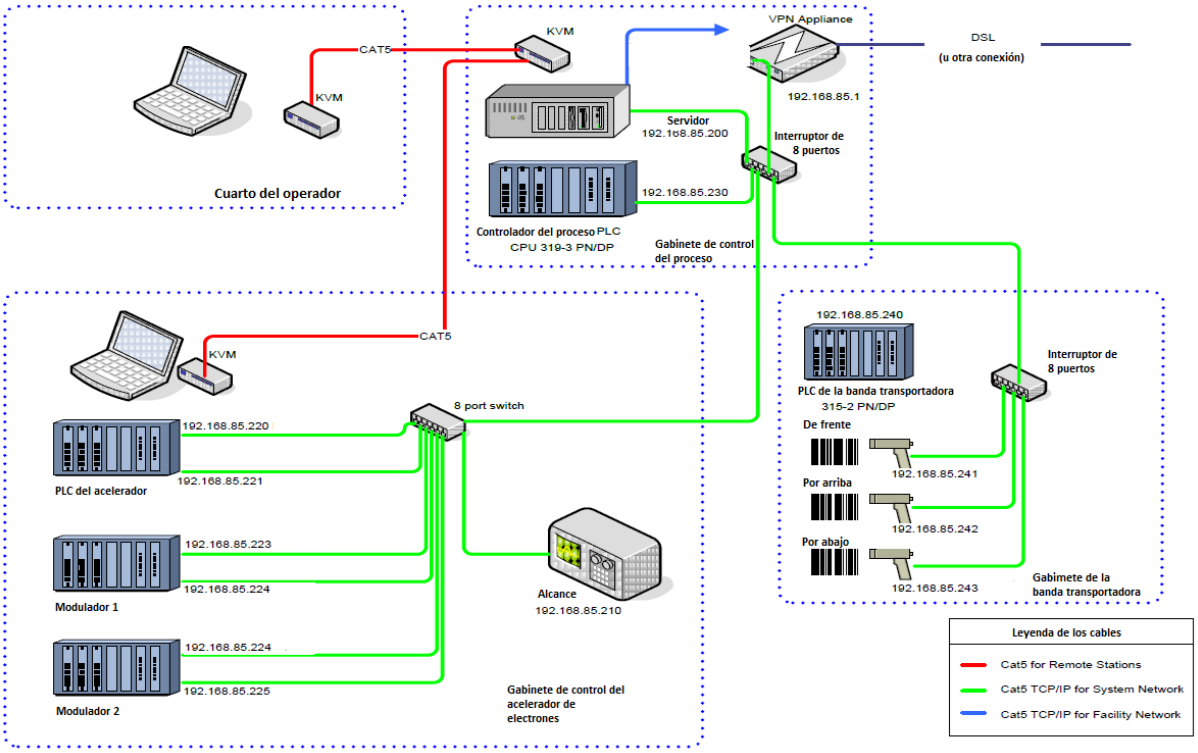
Tabla 3. Requerimientos mínimos

Requerimiento	Descripción de componentes
1	PLC Siemens S7 3xx o más grande
2	Capaz de ambas comunicaciones Profibus y Profinet

Fuente: Especificaciones de la banda transportadora (2014).

Cada PLC está configurado como maestro Profibus para apoyar esclavos Profibus en su propia red Profibus. Para la comunicación del PLC se utiliza Profinet y automatización basada en componentes configurados con SIMATIC iMap. El medio y los métodos utilizados para la conexión entre el PLC del controlador del proceso y el PLC de la banda transportadora serán los bloque de datos compartidos Simatic iMap distribuidos a través de PROFINET. Debido a los medios y métodos seleccionados para el intercambio de datos entre el controlador del proceso y el PLC de la banda transportadora, es imperativo que el PLC utilizado en el lado del transportador sea un Siemens 3xx PLC/w Profinet y funcionalidad de un componente de automatización. La figura 4 muestra la red de automatización.

Figura 4: Arquitectura del sistema



Fuente: Especificaciones de la interface de la banda transportadora (2014).

La automatización basada en componentes Profinet se utiliza para facilitar el canal de comunicación entre el PLC que controla el proceso y el PLC que controla el sistema de transporte. SIMATIC iMap se utiliza para configurar la conexión entre los componentes PROFINET.

4.3.4 Sistema de Seguridad

Las especificaciones del sistema de seguridad de la banda transportadora (2014) tiene como objetivo proteger al personal de los peligros siguientes:

- Radiación generada por el equipo de haz de electrones.
- La alta tensión generada por el equipo.
- Eléctrico, mecánico, y neumático (o hidráulico), debido a partes del transportador en movimiento.

El área que rodea la instalación de tratamiento de haz de electrones tiene condiciones normales del ambiente de manufactura, excepto en el uso de la irradiación de haz de electrones en el interior de la bóveda. La instalación contiene los siguientes tipos de equipos:

- Equipos y sistemas controlados por computadora.
- Extracción y transporte.
- Las secciones de banda.
- Carga y descarga de equipo.
- El acelerador de electrones y equipo para monitoreo de la radiación.

El sistema de seguridad controla el estado de los interruptores de seguridad que se encuentran en todo el sistema de tratamiento de haz de electrones. Los interruptores tienen contactos redundantes y son alimentados con una señal codificada para garantizar un funcionamiento sin fallos.

El circuito de seguridad del transportador protege a las personas de los riesgos mecánicos mediante la inhibición de todo el movimiento del transporte, cuando este circuito se dispara por medio de contactos redundantes bloquea toda la energía eléctrica a los accionadores y por medio de un neumático una "válvula de descarga" para eliminar y ventilar cualquier suministro de aire del actuador.

El botón de paro de emergencia está situado de forma que es fácilmente accesible, en particular en la carga del operador y las áreas de descarga. En la puerta del armario eléctrico del transportador se encuentra un pulsador de parada de emergencia. Todos los motores del sistema de transporte tienen un marcado "cerradura", interruptor de desconexión situado dentro de vista del dispositivo, a una distancia de no más de 3 metros.

5. Conclusiones

La inversión realizada en la Frontera Norte de México permitirá brindar un servicio al clúster médico de Baja California, el cual antes sólo era posible tener en Estados Unidos, a un precio mayor y con tiempos de entrega mayores. A la fecha, no se ha logrado la instalación de los equipos, debido a trámites administrativos. Sin embargo existe interés por parte de los empresarios en adquirir los servicios de esterilizado en la misma ciudad en que están ubicadas sus naves productivas.

Como resultado de la fase de documentación se generaron los documentos (manuales de operación): Especificaciones de la banda transportadora, Especificaciones de la interface de

la banda transportadora, Sistema de Seguridad de la banda transportadora, Manual de usuario para controlar el proceso. Adicionalmente, se impartió un curso para POE (Personal Ocupacionalmente Expuesto) por el ININ (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares). Fueron identificadas áreas de oportunidad en la formación y capacitación de personal ocupacionalmente expuesto y encargados de seguridad radiológica. Existen muy pocas personas certificadas en seguridad radiológica en México. Es de interés resaltar que la certificación en México es otorgada por el ININ.

La única modificación realizada a la propuesta original consistió en que el software se probara en una empresa similar, ubicada en España. La decisión anterior se tomó después de una junta de trabajo al no tener una persona encargada de seguridad radiológica in situ al momento de las pruebas. Al tiempo de trabajar con el prototipo, se tomó la decisión de replicar el software en la empresa antes mencionada, quienes ya tienen años operando un proceso similar y tienen la infraestructura para realizar las corridas piloto.

Se presenta la posibilidad de ofrecer otros servicios de esterilización como por ejemplo, de perecederos (frutas, vegetales, carnes), tarimas de madera, y otros productos. Es interesante mencionar que continúan incrementándose las aplicaciones en el uso del acelerador, tecnología innovadora en México.

6. Referencias

Avantti Medi Clear. 2014. *Especificaciones de la banda transportadora*. Revisión A. Tijuana, Baja California, México.

Avantti Medi Clear. 2014. *Especificaciones de la interface de la banda transportadora*. Revisión A. Tijuana, Baja California, México.

Avantti Medi Clear. 2014. *Especificaciones del sistema de seguridad de la banda transportadora*. Revisión A. Tijuana, Baja California, México.

Canadá. MEVEX The Accelerator Technology Company [Internet]. [Consultado 17 de abril de 2015]. Disponible en: http://www.mevex.com/index.html

Datamonitor. Abril 2010. Global Health Care Equipment & Supplies.

Diseñado en México. Mapa de Ruta de dispositivos médicos. PROMÉXICO. Primera edición. Ciudad de México, Septiembre 2011. [Consultado 15 de octubre de 2014]. Disponible desde: www.promexico.gob.mx.

Estados Unidos de América. Official web site of the Department of Homeland Security. U.S. Custom and Border protection. [Internet]. [Consultado 21 de abril de 2015]. Disponible en:

http://www.cbp.gov/border-security/ports-entry/cargo-security/c-tpat-customs-trade-partnership-against-terrorism

Gobierno Municipal de Tijuana. Subdirección de Control Urbano [Internet]. [Consultado 17 de abril de 2015]. Disponible en:

http://www.tijuana.gob.mx/formatos/pdf/dau/suelo/TRIPTICO%20%20DAU%20SUBDIRECCION%20DE%20CONTROL%20URBANO%20reverso.pdf

México. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios [Internet]. [Consultado 17 de abril de 2015]. Disponible en:

http://www.cofepris.gob.mx/MJ/Paginas/Normas-Oficiales-Mexicanas.aspx

México. Cuarta nave industrial para Martech Medical [Internet]. Mariana Rivero. 12 de febrero de 2012. [Consultado 29 de septiembre de 2014]. Disponible en:

http://www.lacronica.com/RevistasYSuplementos/Suplementos/Archivos/MexicaliIndustrial/MexicaliIndustrial_12022012.pdf

México. La industria de dispositivos médicos en México [Internet]. Delia Oliva Cantarutti. 29 de mayo de 2014. [Consultado 29 de septiembre de 2014]. Disponible en:

http://factual-services.com.mx/revistafs/may-jun/39-may-jun/163-la-industria.html

México. Secretaría de Relaciones Exteriores [Internet]. [Consultado 17 de abril de 2015]. Disponible en:

http://embamex.sre.gob.mx/espana/images/stories/d2013/10_Octubre/sector_dispositivos_medicos.pdf

México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Impacto Ambiental. [Internet]. [Consultado 17 de mayo de 2015]. Disponible en:

http://www.semarnat.gob.mx/transparencia/transparenciafocalizada/impactoambiental

Regulación Sanitaria de Dispositivos Médicos. VII Conferencia de la Red Panamericana para la Armonización de la Reglamentación Farmacéutica (Red PARF), Secretaría de Economía, Ottawa, Canadá 7 de septiembre de 2013.

03-008

CONSUMER PERCEPTION OF ECO-LABELS FOR PRODUCTS: CASE STUDY OF WASHING MACHINES FOR HOUSEHOLD USE

Pérez Belis, Victoria [1]; Vergara Monedero, Margarita [1]; Bovea Edo, Mª Dolores [1]; Mondragón Donés , Salvador [2]

[1] Universitat Jaume I, [2] Univeristat Jaume I

Currently, the market for household appliances has many very similar products, resulting sometimes imperceptible for consumers to identify differences among them. This is more remarkable when products have been designed taking into account environmental requirements such as eco-efficiency, recyclability, low impact materials, etc., since these characteristics are related to technical attributes that are not visible at aesthetical level. To boost environmental communication between products and consumers, different ecolabel systems have been developed. They allow to communicate the environmental behaviour of products in a reliable way and to identify those with a better environmental performance. However, apart from providing information to consumers, eco-labels need to connect to the environmental subjective perceptions of consumers, in order to integrate them into their purchase criteria. Through the application of product semantics, this communication shows the results of a study on consumer perception of different ecolabels applied to household washing machines, since this product is especially relevant in policies related to ecodesign, ecolabelling and energy efficiency.

Keywords: *Ecolabel;Semantic Differential;Perception of Consumer*

PERCEPCIÓN DEL CONSUMIDOR DE SISTEMAS DE ECOETIQUETADO DE PRODUCTOS: APLICACIÓN A LAVADORAS DE USO DOMÉSTICO

Actualmente el mercado de los electrodomésticos dispone de numerosos productos muy similares entre sí, resultando en ocasiones inapreciables para el consumidor las posibles diferencias que puedan existir entre ellos. Esto resulta más notable en el caso de los productos que han sido diseñados considerando requerimientos ambientales como ecoeficiencia, reciclabilidad, materiales de bajo impacto, etc., ya que estas características no se distinguen a nivel estético, limitándose a características tecnológicas del aparato. Para potenciar la comunicación ambiental entre producto y consumidor, surgen los sistemas de ecoetiquetado, que además de proporcionar información sobre determinados aspectos ambientales del producto, permiten diferenciarlos de otros de su misma categoría. Sin embargo, los sistemas de ecoetiquetado, al margen de informar al consumidor, es necesario que conecten con los valores ambientales subjetivos de los individuos, integrándolos así en sus criterios de compra. A través de la aplicación del diferencial semántico, esta comunicación muestra los resultados de un estudio sobre la percepción de los consumidores de los diferentes sistemas de ecoetiquetado aplicables a lavadoras de uso doméstico, producto de especial relevancia en las políticas europeas relacionadas con el ecodiseño, eficiencia energética y etiquetado ecológico.

Palabras clave: *Ecoetiqueta;Diferencial semántico;Percepción del Consumidor*

Correspondencia: Victoria Pérez Belis belis@uji.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad (DPI2013-40815-R)

1. Introducción

Los consumidores se muestran cada vez más sensibilizados con las repercusiones ambientales que sus acciones y sus decisiones de compra provocan sobre el medio ambiente. Esta concienciación ambiental ha ido evolucionando lentamente, siendo actualmente el factor ambiental un componente motivante y valorado en la decisión de compra (Borin, Cerf & Krishnan, 2011). Con el fin de potenciar esta comunicación ambiental entre producto y consumidor, surgieron los sistemas de ecoetiquetado, enmarcados muchos de ellos en la familia ISO 1402X y en la Directiva 2010/30/UE.

Sin embargo, la información que transmiten estas ecoetiquetas al consumidor no es siempre clara, por lo que existen estudios en la bibliografía centrados en analizar su efectividad en diferentes productos: ropa (Koszewska, 2011), alimentación (Grankvist & Biel, 2007; Van Amstel et al., 2008), vehículos (Noblet, Teisl & Rubin, 2006), etc. Una conclusión común a todos ellos es que algunas de las ecoetiquetas crean confusión al transmitir la información ambiental del producto al consumidor.

Esta confusión se puede deber a la amplia variedad de programas de ecoetiquetado existentes y al elevado número de logotipos generalmente presentes en los productos y sus embalajes (Schumacher, 2010), o a la falta de claridad del mensaje que transmiten (D'Souza et al., 2007; Pickett-Baker & Ozaki, 2008). Para asegurar una completa comprensión, la información de la ecoetiqueta debe ser clara, fiable y comprensible, permitiendo a los consumidores basar en ésta una parte de su decisión de compra (Thøgersen, 2000; Leire & Thidel, 2005).

En el caso específico de España, según Flash Eurobarometer (2013), el 63% de la población opina que las ecoetiquetas no proporcionan suficiente información, aunque confían en que el producto que las lleva se diferencia ambientalmente de otro de su misma categoría.

Sin embargo, aunque los sistemas de ecoetiquetado puedan llegar a ser efectivos, debe valorase, además de la información que transmiten y el conocimiento que el consumidor tenga de ellas, su percepción emocional, ya que influye en gran medida en el proceso de compra. Según Brécard (2014), aunque los consumidores entienden que la ecoetiqueta es un símbolo de calidad ambiental, la mayor parte de ellos se declinan por un producto u otro, en función de lo que les transmite la ecoetiqueta, más que por las cualidades técnicas o ambientales que comunique. Es por ello por lo que resulta fundamental que estos sistemas de ecoetiquetado conecten con la parte emocional de los consumidores, del mismo modo que lo hacen las grandes marcas (Berger & Hari, 2012). En esta línea, Janssen y Hamm (2012) afirman que la percepción que el consumidor tiene de las ecoetiquetas es de naturaleza subjetiva, no basando su decisión de compra, en la mayor parte de los casos, en el conocimiento objetivo.

Una de las técnicas más difundidas orientadas hacia la medición de la percepción de los consumidores, la constituye el Diferencial Semántico (SD). Este procedimiento se orienta hacia la obtención del significado que generan determinadas imágenes u objetos en el consumidor (Schütte, 2005) utilizando escalas numéricas para cada percepción, generalmente expresadas con pares de términos opuestos. En el caso de las ecoetiquetas, su aplicación permite obtener, por medio de palabras y términos relacionados con la percepción ambiental, la interacción entre el usuario y la ecoetiqueta.

En este contexto, el objetivo de esta comunicación es analizar la percepción del consumidor ante los diferentes sistemas de ecoetiquetado aplicables a un producto eléctrico y electrónico, mediante la aplicación del Diferencial Semántico. Esto permite conocer el significado o valoración que los consumidores atribuyen a cada una de las ecoetiquetas

mostradas junto a un producto. Como caso de aplicación, se ha seleccionado una lavadora de uso doméstico, por ser un producto con el que el consumidor se encuentra familiarizado y que además se encuentra en el ámbito de aplicación de diferente legislación de ámbito europeo.

2. Sistemas de ecoetiquetado aplicables a aparatos eléctricos y electrónicos

Actualmente, los aparatos eléctricos y electrónicos han adquirido especial relevancia desde las políticas de ámbito europeo, tanto a nivel de ecodiseño como de eficiencia energética. Los sistemas de ecoetiquetado aplicables a productos eléctricos y electrónicos pueden dividirse en dos grupos: sistemas de etiquetado reglamentarios (legalmente obligatorios) y voluntarios.

Las etiquetas reglamentarias dan respuesta a requisitos establecidos en la legislación vigente, siendo de cumplimiento legal. La Directiva 2010/30/UE establece el etiquetado y la información normalizada relativa a la eficiencia energética de los productos relacionados con la energía. Relacionado con el caso de aplicación, el Reglamento Delegado 1061/2010 incluye los requisitos para el etiquetado energético de las lavadoras domésticas, siendo la etiqueta normalizada, la mostrada en la Figura 1a.

Las etiquetas voluntarias con valoración ambiental, se regulan por la norma ISO 14020 (2001). Éstas se dividen en tres tipos de etiquetado:

- Etiquetas ecológicas, Tipo I (ISO 14024, 2001) (Figura 1b). Las ecoetiquetas de tipo I identifican y certifican productos cuyo impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida es menor que el de otros productos. Una tercera entidad se encarga de concederlas y certificar el cumplimiento de una serie de criterios ambientales, definidos según las especificaciones de la norma ISO 14024 (2001). Para cada grupo de productos se establecen una serie de criterios ambientales específicos a cumplir.
- Autodeclaraciones ambientales, Tipo II (ISO 14021, 2002) (Figura 1c). Son etiquetas desarrolladas por los fabricantes, distribuidores, etc., con el objetivo de comunicar información destacable de sus productos o servicios. No requieren certificación por una tercera parte aunque la información debe ser verificable para mantener la credibilidad del producto, siendo el declarante o empresa fabricante el responsable de evaluar y facilitar la información pertinente para la verificación de estas autodeclaraciones. En este caso, es la propia empresa la que establece los criterios y requerimientos.
- Declaraciones ambientales, Tipo III (ISO 14025, 2010) (Figura 1d). Las declaraciones ambientales de producto consisten en un informe detallado en el que se identifican y comunican los aspectos ambientales del producto. No establece requisitos ambientales a cumplir, sino que se compone de datos ambientales cuantificados para diferentes categorías de impacto. A diferencia de los logotipos o imágenes con las que se identifican las etiquetas tipo I y II, las declaraciones ambientales las conforman, además del logotipo, los datos ambientales cuantificados.

Figura 1. Ejemplos de etiquetas con valoración ambiental y energética, aplicables a productos eléctricos y electrónicos

3. Diferencial semántico y percepción del consumidor

El Diferencial Semántico es un instrumento que estudia el significado afectivo de las palabras, y se basa en la realización de estimaciones subjetivas de un concepto, objeto o imagen y su posterior tratamiento (Osgood, Suci & Tannenbaum, 1957). La aplicación del diferencial semántico consiste en una serie de fases:

1. Recolección de las palabras o términos que definen el dominio de estudio.
2. Reducción de la lista obtenida en función de determinados criterios, obteniendo una lista definitiva de los ítems a evaluar.
3. Selección de los productos a evaluar.
4. Obtención de la valoración de cada uno de los encuestados sobre cada uno de los criterios que conforman la lista, en base a una determinada escala semántica. Estas escalas utilizan diferentes niveles de valoración, siendo las más frecuentes de 5 o 7 (Osgood, Suci & Tannenbaum, 1957; Nagamachi, 2011). Cabe destacar que los encuestados se someten voluntariamente al cuestionario, debiendo responder en base a sus preferencias sensitivo-emocionales.

5. Metodología

Para poder conocer la percepción ambiental de diferentes sistemas de etiquetado ambiental y energético aplicables a las lavadoras domésticas, se diseña un cuestionario dividido en tres partes principales: obtención de información general del consumidor, percepción de etiquetas específicas y su preferencia de compra en función de las etiquetas o de criterios específicos. El contenido del cuestionario se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Cuestionario sobre percepción del etiquetado ambiental del producto.

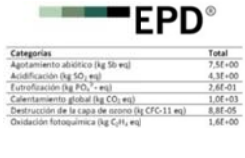
Objetivo	Pregunta	Respuesta
Obtener información sobre el consumidor.	Género/ Edad/ Mes de nacimiento*	Masculino/femenino/Campo abierto/ Check list
Conocer la percepción de los consumidores de cada una de las etiquetas	1. Esta lavadora respeta el medio ambiente 2. Se pueden fabricar nuevos productos a partir de sus materiales 3. Consume menos electricidad y agua que una común 4. Mantiene niveles de ruido reducidos Previene el consumo excesivo de detergente 5. Es un producto tóxico 6. Alto rendimiento en el lavado y centrifugado 7. El etiquetado muestra el impacto de la lavadora en el medio ambiente 8. La información ambiental proporcionada parece fiable 9. El etiquetado se dirige/atrae al consumidor preocupado por el medio ambiente 10. Contiene menos sustancias peligrosas que una lavadora común 11. Entiendo toda la información ambiental del etiquetado 12. ¿Pagaría más por ella que por una sin este logotipo ambiental?	Totalmente en desacuerdo En desacuerdo Ni de acuerdo ni en desacuerdo-NS/NC De acuerdo Totalmente de acuerdo
Conocer la preferencia del consumidor frente al mismo producto con diferentes etiquetas	13. ¿Cuál de ellas comprarías?	Etiqueta ecológica Tipo I/ Círculo de Möbious/ Etiqueta eficiencia energética/Declaración ambiental del producto/ Huella de carbono/
Determinar la información o conocimiento del consumidor respecto a las diferentes etiquetas	14. ¿Conoces el significado de…? Etiqueta ecológica Tipo I/Círculo de Möbious/Etiqueta eficiencia energética/Declaración ambiental del producto/Huella de carbono	Campo abierto
Conocer la importancia que los consumidores asignan a cada criterio de compra	15. Evalúa de 1 a 5 los siguientes criterios de compra en función de su importancia Precio/ Marca/ Comportamiento ambiental/Consumo	5: muy importante/ 4: importante/ 3:indiferente 2: poco importante/1: nada importante
	16. A la hora de adquirir una lavadora, ¿consideras su marcado ambiental?	Sí/No
	17. ¿Has comprador alguna vez una lavadora?	Sí/No

*El mes de nacimiento se utilizó únicamente para aleatorizar el orden en el que se mostraban las 5 etiquetas seleccionadas.

Las parte correspondiente a la obtención de la percepción del consumidor, se compone de un total de 13 semánticos que deben ser evaluados, en un rango de 5 niveles (desde

"Totalmente en desacuerdo" hasta "Totalmente de acuerdo"), para cada una de las 5 imágenes de ecoetiquetas seleccionadas, que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Etiquetas a evaluar por el consumidor.

Tipo	Tipo I (voluntario)	Tipo II (voluntario)	Eficiencia energética (reglamentario)	Tipo III (voluntario)	Tipo III (voluntario)
Id.	A1	A2	A3	A4	A5
Nombre	Etiqueta Ecológica Europea	Círculo de Möbious	Etiqueta de Eficiencia Energética	Declaración ambiental del producto	Huella de carbono
Imagen					

1. Cumple con unos criterios ecológicos especificos establecidos para lavadoras (eficiencia energética, consumo de agua, eficiencia de centrifugado, ruido y prevención de consumo excesivo de detergente).
2. Reciclable (sus materiales pueden ser separados y utilizados para fabricar nuevos productos).
3. Clase de eficiencia energética de la lavadora, consumo de energía anual, capacidad asignada en kg, clase de eficiencia de centrifugado, ruido acústico aéreo emitido durante el lavado y el centrifugado.
4. Impacto ambiental del producto a través del análisis de su ciclo de vida, expresado mediante indicadores para diferentes categorías de impacto.
5. Huella de carbono en el ciclo de vida del producto.

Una vez definido el cuestionario y seleccionados los casos a evaluar, se procede al envío de la encuesta a consumidores. El orden en que se mostraban las 5 etiquetas fue aleatorizado por grupos de consumidores.

6. Resultados y discusión

La encuesta, difundida a través de email, se dirige a consumidores comunes, sin importar la formación, edad o sexo. Se obtienen un total de 42 respuestas completas. La media de edad se sitúa en 37 años mientras que la proporción entre hombres y mujeres es similar (48% son hombres frente al 52% de mujeres).

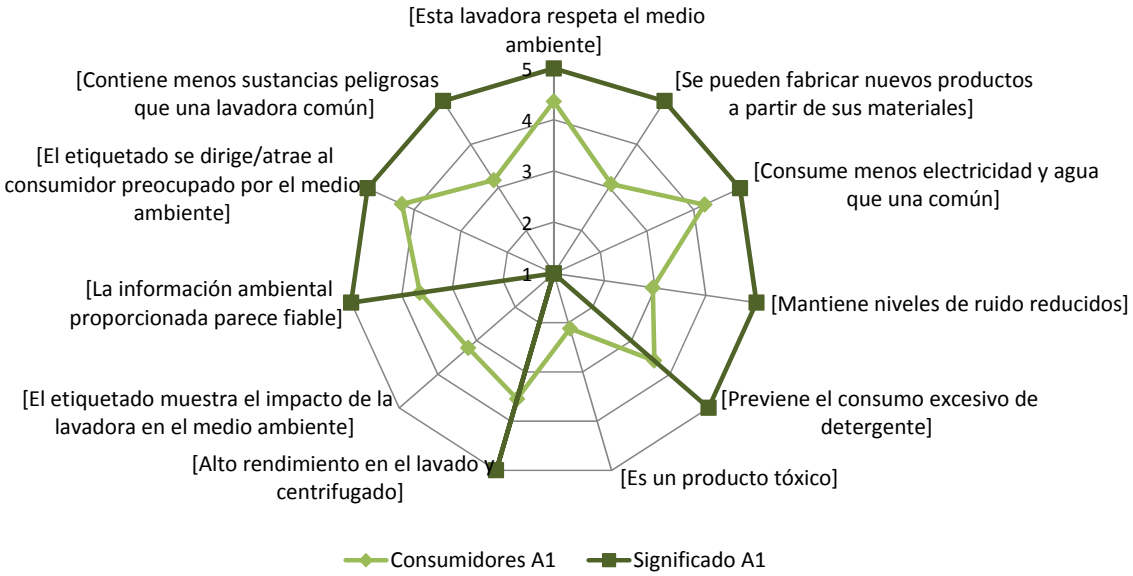
6.1 Percepción de las ecoetiquetas

A continuación se detalla, para cada una de las etiquetas analizadas, las valoraciones medias obtenidas de cada uno de los ítems, contrastando estos resultados con la información real de la etiqueta, lo que permite conocer las diferencias entre el significado de la etiqueta y lo que percibe el consumidor.

En primer lugar y en lo referente a la **etiqueta A1 (Etiqueta Ecológica Europea),** en la Figura 1 se observa que los consumidores no perciben como deberían la mayor parte de los aspectos. Las lavadoras que presentan la etiqueta ecológica europea cumplen con una serie de criterios ecológicos de diseño, entre los que se incluyen criterios de eficiencia energética, de consumo de agua y detergente y de emisiones de ruido, además de poder desmontarse y reciclarse fácilmente. El consumidor no identifica en la medida que debería, la relación de la etiqueta con su menor contenido en sustancias peligrosas, la posibilidad de fabricar nuevos productos a partir de sus materiales o la reducción en las emisiones de ruido durante el lavado y el centrifugado. En este caso, los consumidores no perciben la totalidad de la

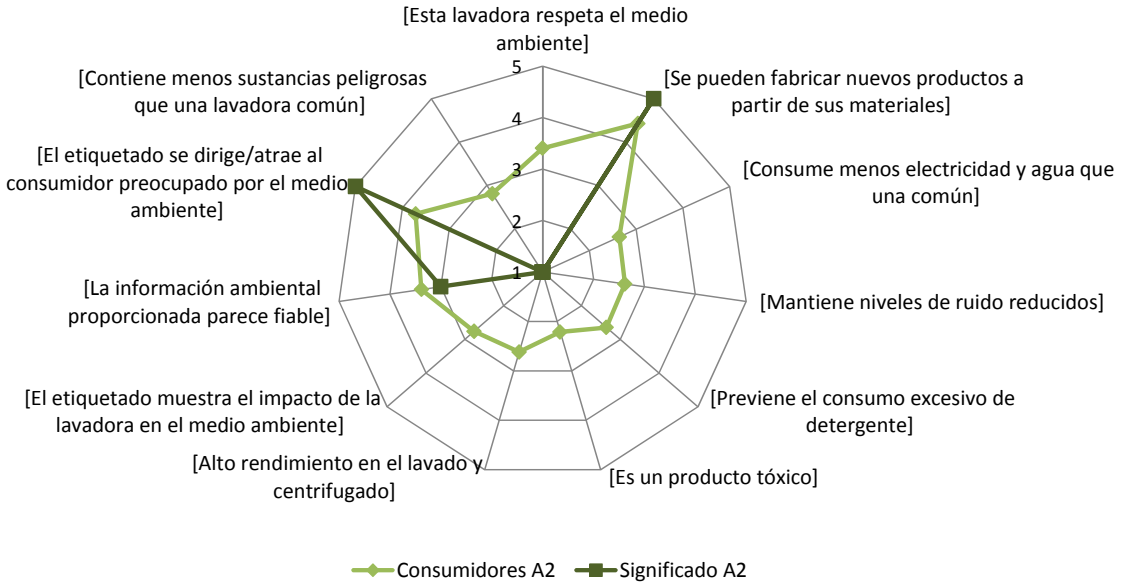
información, a pesar de que afirman comprender completamente el contenido de la etiqueta (media = 3,9).

Figura 1: Significado etiqueta ecológica europea (A2) y respuesta del consumidor.



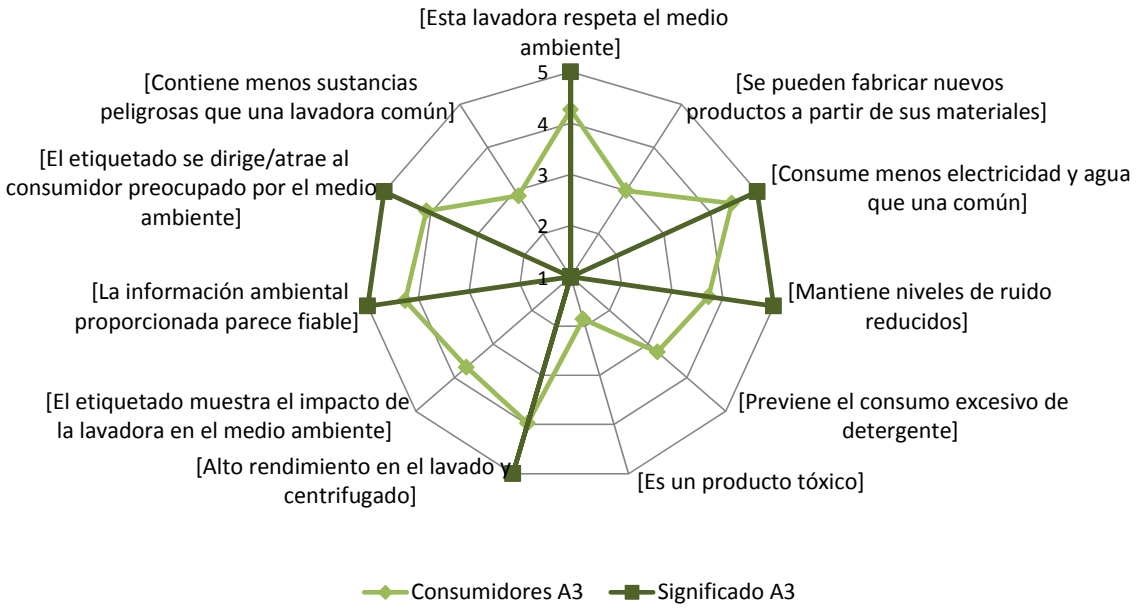
En cuanto a la **etiqueta A2 (Círculo de Möbious)** el aspecto ambiental a destacar de reciclabilidad o reciclable, se comprende en gran medida por los consumidores tal y como se muestra en la Figura 2. Sin embargo, se observa que en el resto de las características que no comunica la etiqueta, los consumidores desconocen si esa información la muestra o no. En este caso, es necesario destacar que su significado es limitado, evitando que el consumidor atribuya características al producto que realmente la etiqueta no comunica o que se entienda que el producto ha sido fabricado a partir de materiales reciclados. En este caso, el consumidor también considera que entiende en gran medida la información mostrada en la etiqueta, (media = 3,7).

Figura 2: Significado etiqueta de círculo de Möbious (A2) y respuesta del consumidor.



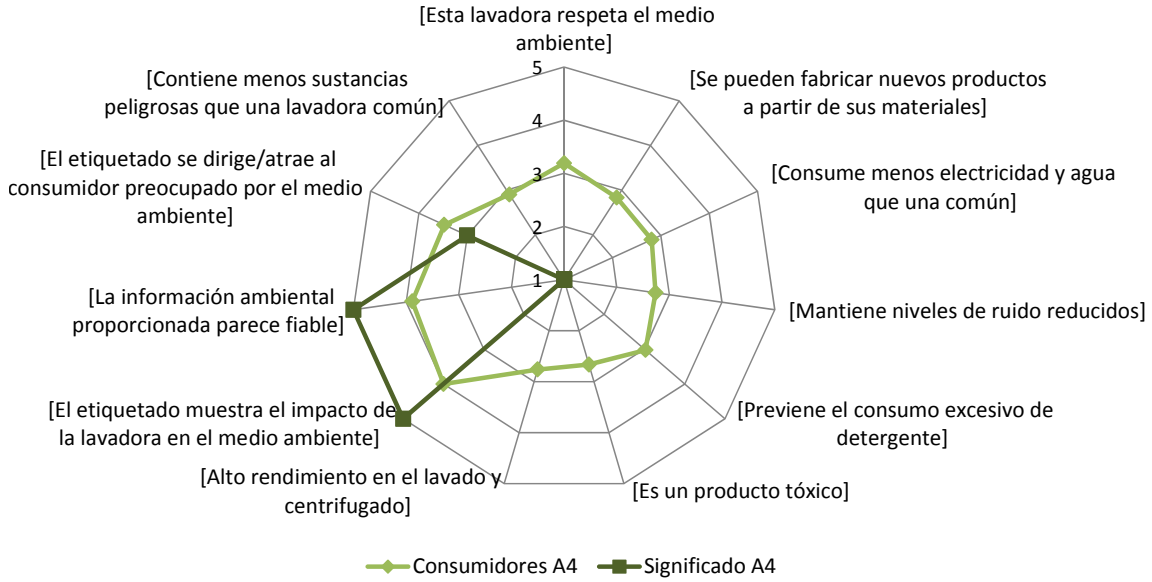
En los resultados correspondientes a la **etiqueta A3 (Etiqueta de eficiencia energética),** la Figura 3 muestra que la mayor parte de los criterios son comprendidos por el consumidor. Sin embargo cabe destacar que existe confusión o desconocimiento en lo relacionado con el contenido en sustancias peligrosas y la reciclabilidad de los materiales, ya que atribuyen este significado a una etiqueta orientada únicamente a comunicar aspectos de eficiencia energética, no considerando para ellos los materiales. Por otro lado, los consumidores creen que la información de la etiqueta corresponde con su impacto ambiental y que su presencia significa que el diseño previene el consumo excesivo de detergente, información completamente errónea en este tipo de etiquetado ambiental. A pesar de ello, se muestran de acuerdo en afirmar que comprenden gran parte de la información mostrada en la etiqueta (media = 3,6).

Figura 3: Significado etiqueta de eficiencia energética (A3) y respuesta del consumidor



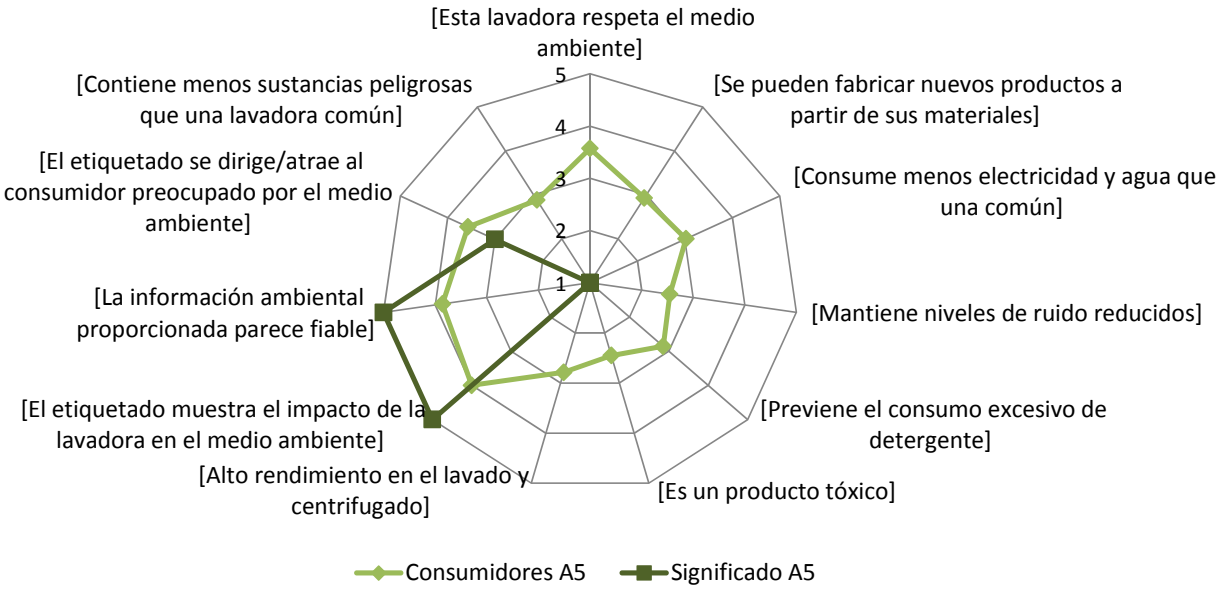
En lo referente a la **etiqueta A4 (Declaración ambiental del producto)** que muestra información cuantificada sobre el impacto ambiental de una lavadora a través de análisis del ciclo de vida, en la Figura 4 se observa que los consumidores no comprenden en gran medida la información que proporciona, sin embargo identifican que la etiqueta muestra el impacto ambiental de la lavadora en el medio, asociando ésta como información fiable. Consideran que se dirige a consumidores preocupados por el medio ambiente, al que podría interpretarse que atribuyen los conocimientos necesarios para comprender la información técnica y específica que no entiende un consumidor común. Los encuestados afirman no entender completamente la información mostrada en la etiqueta (media: 2.9).

Figura 4: Significado Declaración ambiental del producto (A4) y respuesta del consumidor



En lo referente a la **etiqueta A5 (Huella de carbono)**, en la Figura 5 se observa que los consumidores asocian la etiqueta con el respeto por el medio ambiente, mientras que ésta únicamente comunica el impacto ambiental de la lavadora, aspecto que los encuestados identifican correctamente. En el resto de ítems, el consumidor desconoce si esa información se muestra o no en la etiqueta mientras que en general consideran que ésta es fiable. En cuanto al nivel de comprensión de la información mostrada, aseguran no comprender completamente la etiqueta, dado que proporciona un dato cuantificado del cual desconocen si el valor es favorable o no para el medio ambiente.

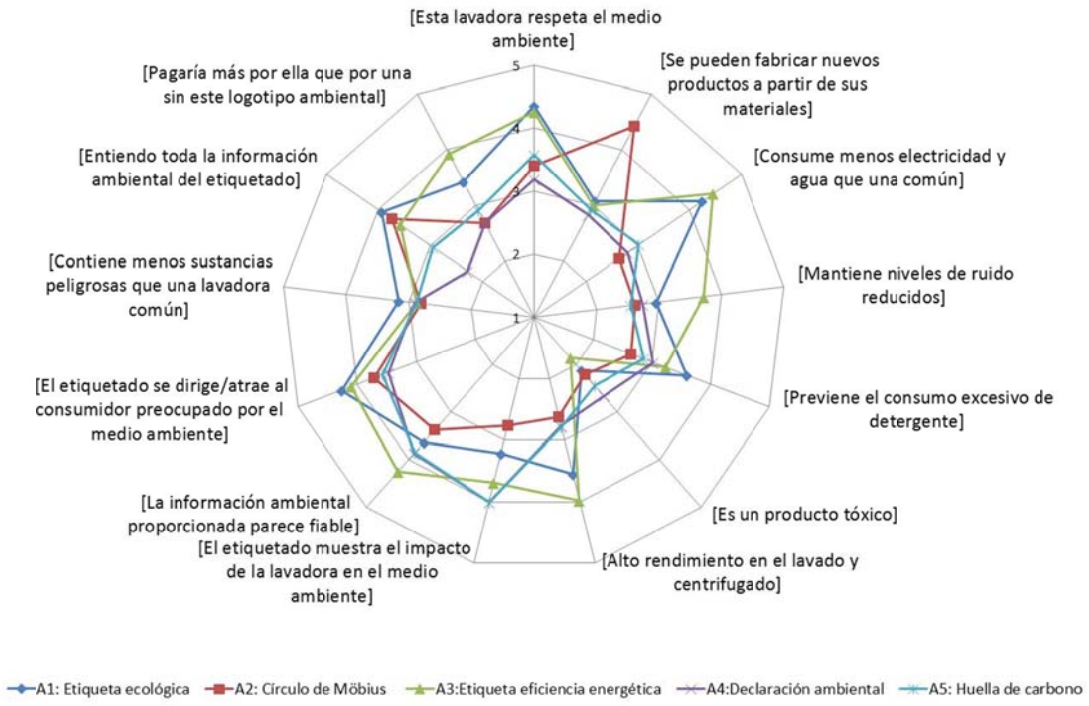
Figura 5: Significado etiqueta huella de carbono (A5) y respuesta del consumidor



6.2 Comparación entre las diferentes ecoetiquetas

Con el objetivo de comparar los diferentes significados atribuidos por el consumidor a cada una de las etiquetas para cada uno de los ítems, se analizan las respuestas medias obtenidas para cada una de ellas, mostradas en la Figura 6.

Figura 6: Comparación de las diferentes ecoetiquetas



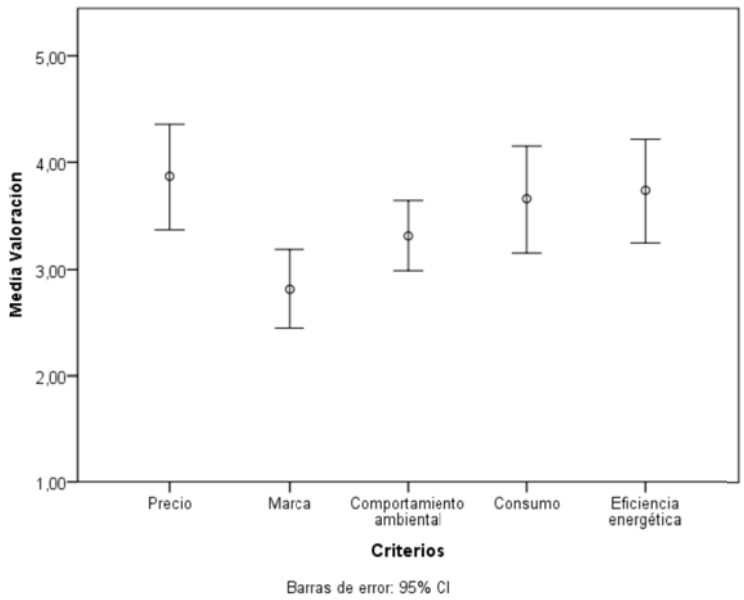
Se observa que los consumidores pagarían más por una lavadora que presentase la etiqueta de eficiencia energética que por una común. Este resultado coincide con la respuesta obtenida para la pregunta relacionada con la preferencia de compra (Tabla 1) en la que el 81% de los encuestados indica que comprarían la lavadora que presentase la etiqueta de eficiencia energética. Por otro lado, en la Figura 6 se observa que de nuevo consideran este etiquetado como el más fiable, el que proporciona información sobre el rendimiento en el lavado y en centrifugado, sobre el consumo de agua y sobre los niveles de ruido. Por otro lado, cabe destacar que el círculo de Möbius es la etiqueta que se asocia con la reciclabilidad de los materiales y una de las etiquetas de las que consideran que entienden toda la información mostrada. Es importante remarcar que en ninguno de los casos, los consumidores consideran que las etiquetas identifican un producto tóxico, atribuyendo por tanto únicamente connotaciones positivas a todos los sistemas de etiquetado.

6.4. Criterios de compra

En lo relacionado con los criterios de compra, en la Figura 7 se muestran los intervalos de confianza al 95% para las medias obtenidas para cada criterio. Se observa que el precio es el criterio de mayor importancia para los consumidores. Esta variable también ha sido remarcada en la pregunta nº13, en la que algunos consumidores en lugar de declinarse por la compra de un producto con una etiqueta específica, han comentado que su decisión la basarían únicamente en el precio del producto. La eficiencia energética de la lavadora y su consumo son dos criterios valorados como importantes por los consumidores, prácticamente

en la misma medida. Por el contrario, los resultados muestran que la marca de la lavadora no resulta excesivamente importante a la hora de considerar la compra de este producto.

Figura 7: Valoración de los diferentes criterios de compra.



7. Conclusiones

Este estudio presenta los resultados iniciales de una encuesta dirigida a consumidores con el objetivo de evaluar la percepción de diferentes sistemas de ecoetiquetado aplicado a un aparato eléctrico y electrónico, como es la lavadora de uso doméstico.

En primer lugar, se observa que la comunicación entre las diferentes etiquetas ambientales de producto y los consumidores no resulta completamente efectiva. Por un lado, los consumidores asocian las etiquetas con mejoras ambientales del producto respecto de otro de su misma categoría, pero desconocen qué criterios específicos o de comportamiento presenta ese producto que lo diferencia de otros sin etiquetar.

En base a los primeros resultados obtenidos, se puede concluir que la percepción de los consumidores que más se ajusta al significado de la etiqueta corresponde con la de eficiencia energética. Por un lado, esto puede deberse a la familiaridad que tienen con la imagen, dado que ésta responde a la Directiva 2010/30/UE (de obligado cumplimiento para su comercialización en Europa) por lo que es muy habitual observarla en cualquier comercio de electrodomésticos y grandes superficies, debido a que es obligatorio para el fabricante situarla en un lugar visible sobre el propio producto. Otro de los posibles motivos por los que el consumidor comprende en mayor medida su información, podría deberse al modo en el que ésta es comunicada. A diferencia del resto de ecoetiquetas, la etiqueta de eficiencia energética muestra, mediante sencillos iconos, cada una de las características de la lavadora (consumo anual de agua, consumo electricidad, capacidad de la lavadora, etc.) y lo que resulta más útil, proporciona una escala de colores (de rojo a verde) y de letras indicando la eficiencia energética del producto, lo que permite al consumidor obtener un orden de magnitud y conocer rápidamente la categoría en la que se encuentra el producto que va a adquirir y compararlo con otros de su misma categoría.

Por otro lado, la etiqueta ecológica europea se asocia en gran medida con el respeto por el medio ambiente y aunque los consumidores no conocen o perciben toda la información que representa, sí que consideran que el producto que la muestra, tiene un mejor

comportamiento ambiental de aquél que no. En este caso, sería interesante analizar en qué medida influye tanto el color como la imagen mostrada en la etiqueta (flor verde).

En cuanto al círculo de Möbious, los consumidores lo asocian sin dudar con el reciclaje, desconociendo si éste símbolo incluye otro tipo de criterios ambientales. Este hecho debería evitarse, ya que este tipo de etiqueta es una autodeclaración ambiental, por lo que es el fabricante quien comunica un aspecto destacable de su producto sin pasar por la certificación de una tercera parte. De ahí que se considere que las autodeclaraciones ambientales, que se encuentran muy estrechamente ligadas al marketing, tiendan a exagerar, en ocasiones, el beneficio ambiental del producto.

Por último, se observa que las declaraciones ambientales del producto no logran alcanzar al consumidor, ya que no dispone del conocimiento suficiente para comprender los datos cuantificados sobre el impacto ambiental del producto a lo largo del ciclo de vida. Según ISO 14025 (2010), aunque las declaraciones ambientales están orientadas a la comunicación negocio-negocio, no se descarta su uso para negocio-consumidor, aunque este último caso requiere concienciación y conocimiento ambiental por parte del consumidor.

Para continuar este estudio, futuros análisis estadísticos permitirán determinar qué elementos, colores e información es más comprendida por los consumidores y mejor percibida, ya que independientemente de la información de la que dispongan, es necesario considerar su percepción y lo que les sugiere cada elemento, dado que el factor emocional es determinante en el proceso de compra de cualquier producto.

8. Referencias

Berger, V., & Hari, J., (2012). Consumers and Eco-labelling: A Repertory Grid Study. Academy of Marketing Conference, Paper 170, Southampton University, July.

Borin, N., Cerf, D. C., & Krishnan, R. (2011). Consumer effects of environmental impact in product labeling. *Journal of Consumer Marketing*, 28(1), 76–86.

Brécard, D., (2014). Consumer confusion over the profusion of eco-labels: Lessons from a double differentiation model. *Resource and Energy Economics*, 37, 64-84.

D'Souza, C., Taghian, M., Lamb, P., & Peretiatkos, R., (2007). Green decisions: Demographics and consumer understanding of environmental labels. *International Journal of Consumer Studies*, 31(4), 371-376.

Flash eurobarometer report, (2013). Attitudes of Europeans towards building the single market for green products. European Commission.

Grankvist, G. & Biel, A. (2007). The impact of environmental information on professional purchasers' choice of products. *Business Strategy and the Environment*, 16 (6), 421–429.

ISO 14020:2000. Etiquetas y declaraciones ambientales. Principios Generales. AENOR, Madrid.

ISO 14021:1999. Etiquetas y declaraciones ambientales. Autodeclaraciones ambientales. Principios y procedimientos.

ISO 14024:1999. Etiquetas y declaraciones ambientales. Etiquetado ambiental Tipo I. Principios y procedimientos.

ISO 14025:2006. Etiquetas y declaraciones ambientales. Etiquetado ambiental Tipo III. Principios y procedimientos. AENOR, Madrid.

Janssen, M., & Hamm, U., (2012). Product labelling in the market for organic food: consumer preferences and willingness-to-pay for different organic certification logos. *Food Quality and Preference* 25 (1), 9–22.

Koszewska, M., (2011). Social and Eco-labelling of Textile and Clothing Goods as a Means of Communication and Product Differentiation*. Fibres and Textiles in Eastern Europe* 19, 4 (87), 20-26.

Leire, C., & Thidell, A., (2005). Product-related environmental information to guide consumer purchases- a review and analysis of research on perceptions, understanding and use among Nordic consumers. *Journal of Cleaner Production,* 13, 1061-1070.

Nagamachi, M. (2001). Workshop 2 on Kansei Engineering. *Proceedings of International Conference on Affective Human Factors Design,* Singapore.

Noblet, C.L., Teisl, M.F., & Rubin, J., (2006). Factors affecting consumer assessment of ecolabeled vehicles. *Transportation Research*. Part D 11 (6), 422–431.

Osgood, C. E., Suci, G. J., & and Tannenbaum, P. H. (1957). *The Measurement of Meaning*. University of Illinois Press. Illinois.

Pickett-Baker, J. & Ozaki, R., (2008). Pro-environmental products: marketing influence on consumer purchase decision. *Journal of Consumer Marketing* 25 (5), 281-93.

Schumacher, I., (2009). The dynamics of Environmentalism and the Environment. *Ecological Economics*, 68(11):2842–2849.

Schütte, S., (2005). Engineering Emotional Values in Product Design. Kansei Engineering in Development. Dissertation 95, Linköpings Universitet.

Thøgersen, J., (2000). Psychological determinants of paying attention to eco-labels in purchase decisions: Model development and multinational validation. *Journal of Consumer Policy*, 23, 285-313.

Unión Europea. Directiva 2010/30/UE del Parlamento europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada. *Diario Oficial de Unión Europea*, 18 de junio de 2010, núm. 153, pp. 1-12.

Unión Europea. Reglamento (UE) no1061/2010 de la Comisión, de 28 de septiembre de 2010, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al etiquetado energético de las lavadoras domésticas. *Diario Oficial de las Unión Europa*, 30 de diciembre de 2010, núm. 314, pp. 47-63.

Van Amstel, M., Driessen, P., & Glasbergen, P., (2008). Eco-labeling and information asymmetry: a comparison of five eco-labels in the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, 16, 263-276.

03-009

REUSE OF SMALL ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT: BARRIERS AND GOOD PRACTICES

Bovea Edo, Mª Dolores; Pérez-Belis, Victoria; Soroa-Murua, Mikel Universitat Jaume I

Waste electrical and electronic equipment is one of the fastest growing waste categories in Europe, being its management regulated by Directive 2012/19/EU. This legal framework sets as a novelty, the prioritization of the preparation for reuse of this waste and its components, against other valorisation options. In the case of small electrical and electronic equipment, its preparation for reuse is not yet a reality nowadays. On the one hand, these products are not designed from the perspective of reuse, making it difficult their disassembly in recycling plants and the tasks of workers at them. On the other hand, there is no a widespread culture of reuse among consumers. From an in-depth analysis of the current situation of the reuse and the preparation for reuse of small electrical and electronic equipment from different perspectives (designers, consumers, managing waste plants, authorities, legislation, etc.), this study identifies the main barriers and proposes best practices to overcome them.

Keywords: *small electrical and electronic equipment; WEEE; waste; preparation for reuse*

REUTILIZACIÓN DE PEQUEÑO APARATO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO: OBSTÁCULOS Y BUENAS PRÁCTICAS

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos constituyen una de las categorías de residuos de mayor crecimiento en Europa, encontrándose su gestión regulada por la Directiva 2012/19/EU. Esta directiva establece como novedad la priorización de la preparación para la reutilización de estos residuos y de sus componentes, frente a otras opciones de valorización. En el caso de los pequeños aparatos eléctricos y electrónicos, esta preparación para la reutilización todavía no es una realidad en la actualidad. Por un lado, estos productos no han sido diseñados desde la perspectiva de la reutilización, lo que dificulta su proceso de desensamblado en las plantas de reciclaje así como las tareas de los operarios en ellas. Por otro, no existe una cultura de reutilización extendida entre los consumidores. A partir de un análisis en profundidad de la situación actual de la reutilización y de la preparación para la reutilización de los pequeños aparatos eléctricos y electrónicos desde las diferentes perspectivas (diseñadores, consumidores, plantas gestoras de residuos, autoridades, legislación, etc.), esta comunicación identifica los principales obstáculos existentes y propone buenas prácticas para superarlos.

Palabras clave: *pequeño aparato eléctrico y electrónico; RAEE; residuo; preparación para la reutilización*

Correspondencia: MD Bovea Edo bovea@uji.es

1. Introducción

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) agrupan aquellos aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) y sus partes, que han sido descartados por su propietario como residuos sin la intención de reutilización (Step Initiative, 2014). Estos RAEE son una corriente de residuos compleja y de rápido crecimiento, que cubre una gran variedad de productos. La composición de este tipo de residuos varía significativamente según el producto, pero se caracteriza por incluir algunos materiales tóxicos y otros con elevado potencial de ser fuente de recurso material secundario. Esto hace de los RAEE, una fracción compleja de gestionar.

La gestión de los RAEE viene regulada a nivel europeo por la Directiva 2012/19/EU, que ha sido recientemente traspuesta a la legislación por el RD 110/2015. Este nuevo marco normativo tiene como objetivo contribuir a la producción y consumo sostenibles mediante, de forma prioritaria, la prevención de la generación de RAEE y el fomento de técnicas de tratamiento como la preparación para la reutilización.

Esta comunicación va a centrarse en la segunda línea prioritaria, la preparación para la reutilización, y específicamente en la categoría que agrupa a los pequeños aparatos eléctricos y electrónicos (PAEE), por representar una innovación en este nuevo marco normativo al imponerse a los grandes distribuidores con más de 400 m^2 la obligación de recoger PAEE, la incorporación del concepto de AEE usado y el fomento de que los usuarios los incorporen al mercado de segunda mano.

A partir del 15 de agosto de 2015, el RD 110/2015 establece un objetivo mínimo de reutilización y reciclado para la categoría PAEE del 55%. Además, a partir del 1 de enero de 2019, la recogida selectiva de RAEE deberá ser del 65% en peso de los AEE introducidos en el mercado en los tres últimos años precedentes. Por tanto, es necesario analizar la situación actual e identificar acciones que permitirán alcanzar dichos objetivos.

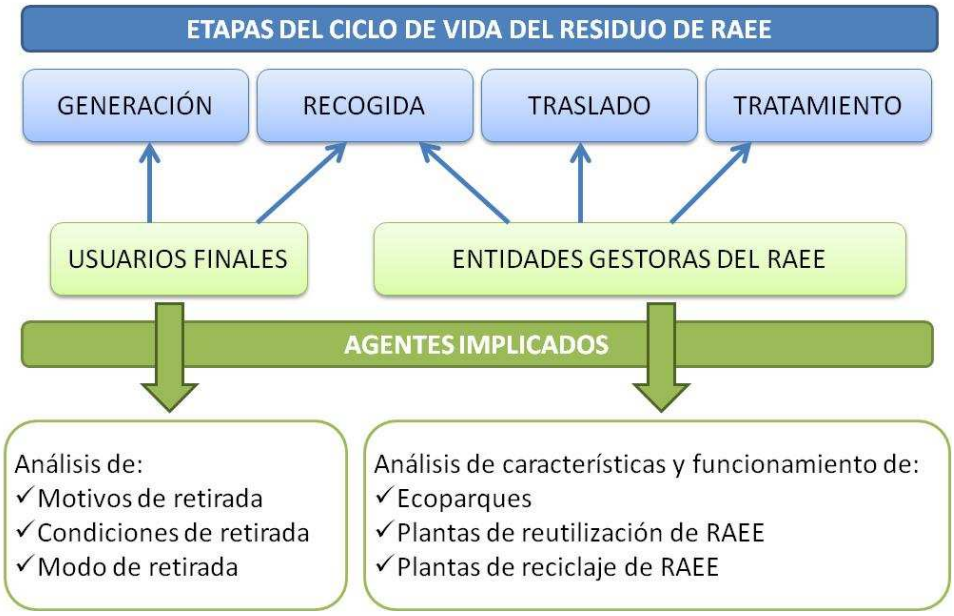
Para ello, se han analizado los agentes más directamente implicados en la recogida y tratamiento de los RAEE: consumidores y entidades gestoras de RAEE. A partir del análisis de la bibliografía específica en este ámbito y a partir de visitas y entrevistas dirigidas a técnicos y operarios de doce plantas a nivel nacional encargadas de la gestión de RAEE, se han identificado problemáticas, buenas prácticas y acciones de mejora.

2. Metodología

La Figura 1 muestra la metodología que se ha seguido para realizar este estudio, consistiendo básicamente en:

- El análisis de los hábitos de retirada de los RAEE y específicamente de los PAEE se ha realizado a partir de información recopilada de la bibliografía centrada de forma específica en análisis de encuestas realizadas a los consumidores, con el fin de conocer los motivos de retirada y las condiciones y modos en los que se retiran los PAEE.
- El análisis de las entidades gestoras de RAEE se ha realizado a partir de la visita y entrevista dirigida a técnicos y operarios de doce plantas a nivel nacional dedicadas a la gestión de RAEE: ecoparques, plantas de reutilización y plantas de reciclaje. La finalidad ha sido recopilar información relativa a problemas y buenas prácticas identificadas a la hora de preparar para la reutilización de PAEE.

Figura 1. Metodología



3. Análisis de la situación actual

3.1. Hábitos del usuario final en la retira de PAEE

La recogida selectiva es uno de los aspectos clave para el fomento de la reutilización de los AEE. Sin embargo, uno de los problemas ambientales asociados con la gestión de PAEE se deriva de las bajas tasas de recogida selectiva que presenta actualmente, debido a la tendencia generalizada de almacenarlos en los hogares o de deshacerse de ellos en los contenedores de residuos domiciliarios debido a su pequeño tamaño, lo que provoca que acaben en vertederos o plantas de incineración (Baldé et al., 2014).

Así pues, el usuario final tiene una responsabilidad clave en el fomento de la reutilización de los PAEE, cuya viabilidad depende fundamentalmente de las condiciones en las que éste se deshace de ellos. Conocer los motivos que llevan al usuario final a retirar los PAEE y las condiciones en las que lo hacen, es fundamental para poder identificar acciones de mejora que fomenten la recogida selectiva de esta fracción.

Este comportamiento ha sido estudiado en profundidad en la literatura, en la que, entre los aspectos que repercuten directamente en la reutilización, destacan:

- Motivo de retirada. Se observa que uno de los principales motivos por los que los consumidores se deshacen de estos residuos es la sustitución de los aparatos por nuevos con mejores prestaciones (Afroz et al., 2013,), mientras que otros estudios determinan que es su mal funcionamiento el principal motivo de retirada (Li et al., 2012; Gutierrez et al., 2010; Ongondo and Williams, 2011b; Karagiannidis et al., 2005; Chi, Wang and Reuter 2014; WRAP, 2011). Por otro lado, y según Williams et al. (2008), el motivo fundamental es el no agotamiento de la vida útil de estos aparatos. Desde la perspectiva de la reutilización, si los consumidores sustituyen sus PAEE únicamente por adquirir nuevos con mejores prestaciones, significa que los aparatos de los que se deshacen todavía funcionan, por lo que potencialmente podrían ser preparados para ser reutilizados de nuevo. Por otro lado, y para aquellos que los retiran por su mal funcionamiento, sería necesario analizar sus condiciones y su viabilidad de reparación, para bien reutilizarlo o reciclarlo.

- Tiempo y condiciones en las que son almacenados. Según WRAP (2011), el 55% de los consumidores almacenan sus aparatos en lugares no cubiertos viéndose afectados por las inclemencias meteorológicas, mientras que únicamente un 18% lo almacenaba en casa. En caso de que los aparatos funcionen en perfectas condiciones, sería necesario concienciar a los consumidores sobre preservar las condiciones de éstos, no pensando únicamente en su propio beneficio sino en la posible utilización por parte de otro consumidor.
- Modo de retirada. Es necesario que estos residuos se depositen en los centros de recogida específicos para que se integren en su correcto ciclo de gestión, pudiendo así acceder a los procesos de preparación para la reutilización. Entre las opciones frecuentadas por los consumidores, destacan su retirada en contenedores domésticos, donación a amigos o familiares, tiendas de segunda mano y depósito en tiendas (Li et al., 2012). En el caso de los PAEE, de acuerdo con Karagiannidis et al. (2005), el 80% de los PAEE terminan en vertederos, sin recibir el tratamiento adecuado, mientras que Chi, Wang and Reuter. (2014) observan que su depósito en tiendas de segunda mano para su reutilización, únicamente es frecuentado por un 8.4% de los usuarios finales, siendo ésta la opción preferida para ordenadores, lavadoras y portátiles, pero no para PAEE.

3.2 Entidades gestoras de RAEE

Conocer el funcionamiento de las diferentes entidades responsables de la gestión de los RAEE y la opinión de los técnicos y operarios encargados de tal gestión es clave para poder analizar la situación actual e identificar acciones de mejora que fomenten la reutilización de los PAEE.

Para ello, se ha llevado a cabo un estudio de campo que ha consistido en la visita a diversas instalaciones y entrevistas dirigidas a técnicos y operarios de las mismas. En total se han visitado seis Ecoparques o Puntos limpios, cuatro Plantas de Reutilización de Aparatos Eléctricos y Electrónicos y dos plantas de Reciclaje de RAEE, pertenecientes a cinco Comunidades Autónomas (Comunidad Valenciana, País Vasco, Navarra, Aragón y Castilla y León).

Ecoparques

Los ecoparques son instalaciones municipales donde los ciudadanos pueden depositar residuos pertenecientes a diferentes fracciones, entre ellas, la de RAEE. Para conocer la problemática asociada a la recogida de RAEE, se han realizado visitas a seis ecoparques, cuyas características se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los ecoparques

	Ecoparque 1	Ecoparque 2	Ecoparque 3	Ecoparque 4	Ecoparque 5	Ecoparque 6
Superficie	1.400 m^2	2.400 m^2	2.019 m^2	4.000 m^2	350 m^2	800 m^2
Nº operarios	1	1	1	1	1	1
Población atendida	27.606	117.543	61.740	180.204	197.604	7.203
Promedio diario usuarios	35	160	75	21	100	n/d
Elementos almacenaje	Contenedor	Contenedor	Contenedor	Contenedor	Jaula	Jaula
Daños al depositarlo	Si	Si	Si	Si	No	No
Instalaciones	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Intemperie	Cubierto	Intemperie
Robos o vandalismo	Si	Si	Si	Si	No	Si

n/d: dato no disponible

Tras una inspección visual a las instalaciones (Figura 2) y tras realizar una entrevista dirigida a los operarios, se han identificado los siguientes aspectos que a posteriori pueden permitir identificar buenas prácticas y definir propuestas de mejora:

- El uso de contenedores de gran tamaño provoca roturas en los RAEE cuando los usuarios finales los depositan.
- La utilización de un mismo contenedor para todo tipo de RAEE, sin diferenciar la fracción de residuo de PAEE, impide que los PAEE puedan llegar a las instalaciones de tratamiento en condiciones viables de reutilización.
- Se producen robos continuos en las instalaciones, lo que provoca que se extraigan de forma inapropiada las piezas más valoradas de algunos RAEE, haciendo inviable su posterior reutilización.
- El almacenamiento de los RAEE a la intemperie hace inviable su posterior reutilización. Según el marco normativo, deben almacenarse bajo cubierto y protegidos de condiciones meteorológicas adversas.
- Se encuentran impropios en los contenedores debidos bien a la mala señalización de los contenedores o desconocimiento de los ciudadanos.

Figura 2. Almacenamiento de RAEE en los ecoparques

Plantas de Reutilización de RAEE

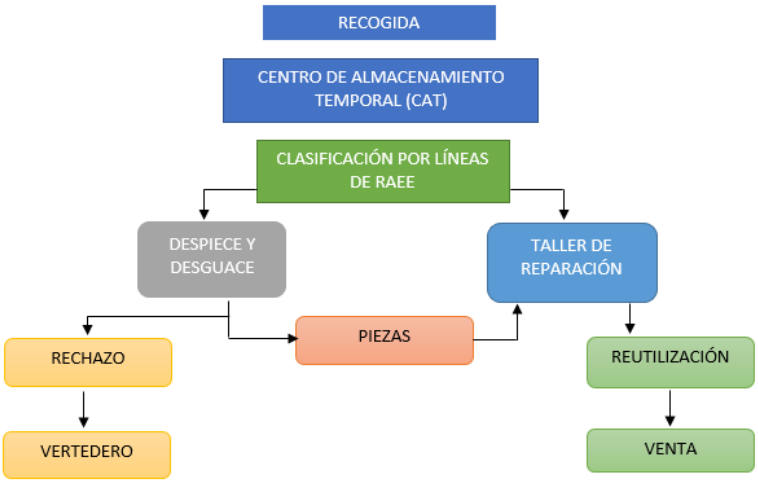
Se han visitado cuatro plantas de reutilización de RAEE, todas ellas pertenecientes a entidades cuya actividad relacionada con los RAEE se destina a fines de inserción social. Sus principales características se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de las plantas de reutilización de RAEE

	Planta reutilización 1	Planta reutilización 2	Planta reutilización 3	Planta reutilización 4
Superficie	1.600 m^2	500 m^2	3.000 m^2	3.600 m^2
Trabajadores	11	4	205	34
Trabajadores en RAEE	3	3	24	1
Tiendas para venta	4	7	5	3
Formación	Si	Si	Si	Si

Tras una visita a las instalaciones y tras la realización de una entrevista dirigida a los técnicos y operarios de las plantas, se han identificado las etapas genéricas que deberían seguir los PAEE desde su recepción hasta su tratamiento final (Figuras 3 y 4) y obtenido información que a posteriori pueden permitir identificar buenas prácticas y definir propuestas de mejora.

Figura 3. Esquema general del proceso que siguen los PAEE en una planta de reutilización



Una vez recibidos los RAEE, se identifican y se obtiene el peso de cada uno de ellos. A continuación se lleva a cabo la etapa de clasificación, que consiste en la inspección visual, en pruebas de seguridad del funcionamiento eléctrico y en la comprobación del consumo energético de cada aparato, con el fin de verificar cada uno de ellos y poder valorar la viabilidad de cada reparación antes de enviarse a las plantas de reciclaje.

Posteriormente se realiza la etapa de preparación para la reutilización, donde los aparatos deben de superar un test de seguridad eléctrica y un test de funcionamiento, para verificar que son totalmente funcionales. En caso de ser necesaria la reparación de ciertos componentes, podrán emplearse piezas originales o recambios, siempre y cuando la planta de reutilización garantice que el aparato cumple la legislación que le es de aplicación. Una vez se comprueba que el aparato funciona correctamente y que cumple con legislación vigente, se procede a la limpieza del mismo. Por último, el aparato debe de ser etiquetado y registrado, asegurando así la trazabilidad del mismo.

Las entrevistas dirigidas estaban orientadas a obtener información relativa al origen de los RAEE y a los problemas que identificaban en cada una de las etapas del proceso de gestión del PAEE desde su recepción hasta su puesta a la venta como AEE de segunda mano.

En cuanto a la procedencia de los RAEE, la Tabla 3 muestra que mayoritariamente se diferencian tres vías principales: distribuidores, ecoparques y usuario final mediante el método de puerta a puerta (46%, 36% y 18%, según la planta de reutilización 3). Aún así, el porcentaje de PAEE que llega es muy pequeño (en promedio aprox. 8,16%, según los datos del Registro del Ministerio de Industria, Energía y Turismo). Puesto que el nuevo marco normativo establecido por el RD 110/2015 impone a los grandes distribuidores con más de 400 m^2 la obligación de recoger PAEE, se prevé que crezca el porcentaje de PAEE recogido selectivamente.

Tabla 3. Procedencia de los PAEE en las plantas de reutilización

Procedencia	Planta reutilización 1	Planta reutilización 2	Planta reutilización 3	Planta reutilización 4
Ecoparque		✓	✓	
Consumidor	✓	✓	✓	✓
Campañas de recogida a nivel local	✓			
Distribuidores	✓		✓	
Otros				

Los problemas que han identificado tanto los técnicos como los operarios en estas plantas de reutilización a la hora de reutilizar los RAEE y los PAEE en particular, se han clasificado por etapa de su proceso de gestión:

- Etapa de recepción:
  - El contenedor donde han estado almacenados no es apropiado y muchos de los PAEE llegan rotos.
  - Por política de algunos distribuidores, algunos PAEE llegan rotos.
  - Faltan puntos de acopio.
  - Se producen robos de RAEE o partes de RAEE.
- Etapa de clasificación:
  - Falta de estandarización en las subcategorías de PAEE.
  - Problemas para manejar los PAEE, se tratan como grupo en vez de individualmente.
  - Dificultad a la hora de clasificar los PAEE por falta de espacio.
- Etapa de reparación:
  - Falta de protocolos para la categoría PAEE.
  - Falta de operarios con formación específica.
  - Dificultad de disponer de recambios por problemas de espacio de almacenaje, existen muchos fabricantes y modelos diferentes.
- Etapa de venta:
  - Falta de hábito, por parte de los ciudadanos, de adquirir productos de segunda mano.
  - El beneficio se obtiene con la venta de grandes electrodomésticos, por lo que no prestan gran atención a la reparación de los PAEE.
  - Problemas con la garantía, complicado en ocasiones asegurar 12 meses el funcionamiento de un PAEE de segunda mano.
  - No se entrega garantía en aparatos cuyo importe no supere un valor económico mínimo.

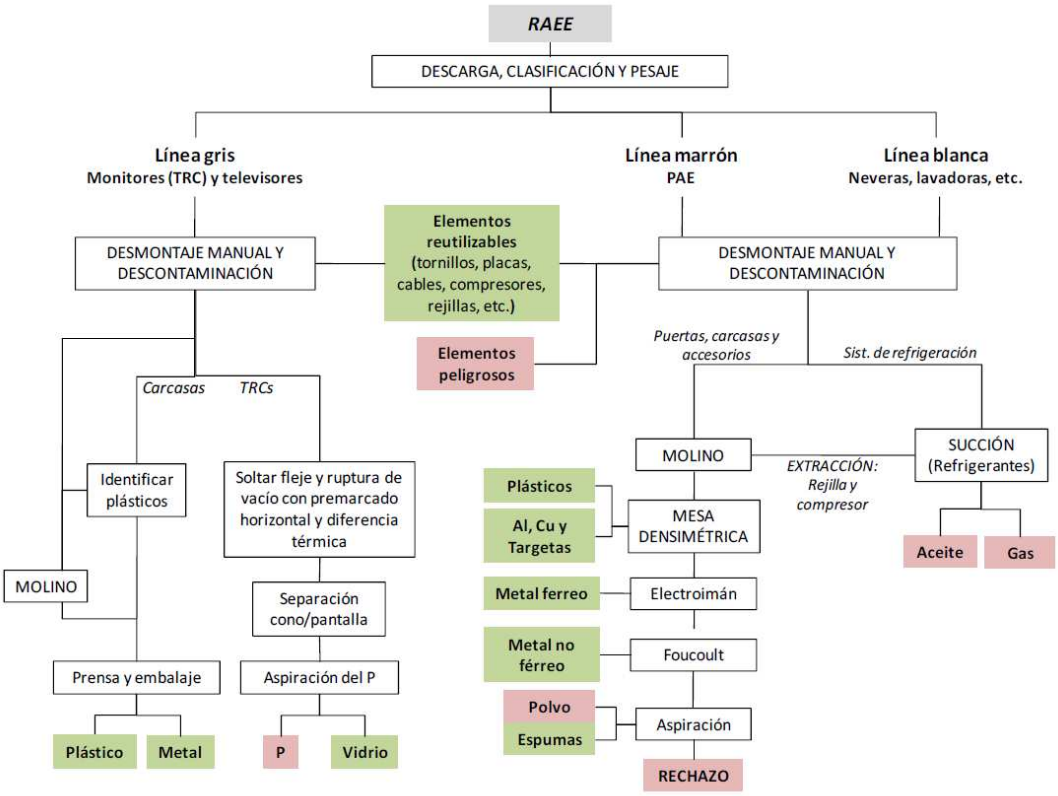
Figura 4. Plantas de reutilización de RAEE (sección PAEE)

Plantas de reciclado de RAEE

Las plantas de tratamiento de residuos procesan RAEE pertenecientes a diversas categorías, entre ellas, PAEE.

En la Figura 5 se muestra el proceso seguido por los PAEE dentro del proceso global de reciclaje de RAEE. Tras una primera fase de desensamblado manual en la que se extraen los componentes a valorizar obligatoriamente por la legislación (cables eléctricos, placas de circuito impreso, etc.), los PAEE pasan por un proceso de trituración a partir del cual se separan por procesos como electroimán, corriente de Foucoult, mesa densimétrica, aspiración, etc.), los materiales férricos, no-férricos y diferentes fracciones de plásticos.

Figura 5. Proceso de tratamiento de PAEE en plantas de tratamiento de RAEE



Tras realizar una entrevista dirigida a los técnicos de dos plantas, se puede concluir que actualmente estas plantas, en cuanto a la fracción de residuo de PAEE se refiere, únicamente realizan tratamiento con el fin de separar sus materiales valorizables con fines de reciclado. Actualmente no disponen de procesos para la preparación para la reutilización de PAEE, aunque no se descarta en un futuro.

4. Propuesta de buenas prácticas y acciones de mejora

A partir del análisis de los problemas y buenas prácticas identificadas durante las visitas y resto de información y opiniones recopiladas durante las entrevistas, se han identificado las siguientes propuestas para los diferentes agentes que intervienen en el ciclo de vida completo de un PAEE (Tabla 4).

Tabla 4. Propuesta de buenas prácticas

	Corto plazo (de aplicación inmediata)	Largo plazo (de aplicación progresiva)
Diseñador/ Fabricante	• Incorporación de requisitos de diseño ecológico con objeto de facilitar la reutilización, el desensamblaje y la valorización de los RAEE en el marco de las medidas de ejecución de la Directiva 2009/125/CE. • Reducción del uso de uniones de seguridad que dificultan el desmontaje de los PAEE y provocan la rotura de piezas a la hora de prepararlos para su reutilización, etc. • Incorporación de la modulabilidad y estandarización de componentes en el diseño de los AEE, ya que facilita la preparación para la reutilización. • Utilización de materiales que permitan aumentar la durabilidad del AEE. • Marcado de los materiales de los componentes producto.	• Incorporación en los nuevos diseños de AEE, recomendaciones de diseño para facilitar la preparación para la reutilización. • Incorporación de aspectos en el diseño de AEE que fomenten la extensión de la vida útil del producto, por ejemplo, relacionados con el apego emocional
Usuario	• Concienciación sobre la necesidad de gestionar los residuos de PAEE como cualquier otra fracción RAEE, con el fin de evitar que se depositen en los contenedores de residuos domésticos. • Concienciación sobre la necesidad de evitar almacenar los aparatos que no funcionan o que no se van a volver a utilizar en los hogares, evitando que estén obsoletos en el momento de su retirada.	• Sensibilización sobre la ventaja ambiental que supone la reutilización de sus aparatos por parte de otros consumidores. • Incorporación de mecanismos que permita comunicar el motivo de retirada de los PAEE, permitiendo conocer así si el aparato todavía funciona o si el fallo puede ser reparable.
Administración pública	• Campañas de recogida a nivel local (navidad, recogida social, etc.) • Establecimiento de puntos de recogida selectiva específicos de PAEE.	• Campañas de sensibilización relativas a la correcta gestión de PAEE y su potencial como aparatos de segunda mano.
Entidades de gestión de RAEE	• Almacenamiento de PAEE en lugar protegido de inclemencias del tiempo y separado del resto de subcategorías RAEE. • Mejora de los procedimientos de manejo de los residuos de PAEE, para evitar que se rompan al ser depositados y transportados. • Incremento de los puntos de recogida selectiva específicos de PAEE. • Desarrollo y estandarización de protocolos y procedimientos de trazabilidad específicos para PAEE.	• Mejora del diseño de los contenedores. • Gestión de los residuos de PAEE en las mismas condiciones que otras categorías de RAEE en cuanto a potencial de reutilización.

Se observa que las medidas y aspectos de mejora relacionados con el consumidor están principalmente orientados al incremento de las tasas de recogida selectiva y a la mejora de las condiciones en las que se retiran. La aplicación progresiva de mejoras se orienta hacia la necesidad de incorporar los productos de segunda mano en el mercado de PAEE, como ya

ocurre en otros países europeos. Esta tarea ha de ser objetivo de las Administraciones Públicas con competencias en gestión de residuos.

En lo referente a los agentes involucrados en la gestión de los residuos de PAEE, las condiciones de almacenamiento y transporte, así como la elaboración de protocolos y formación específica para los operarios encargados de la preparación para la reutilización, jugará un papel importante para la consecución de objetivos de reutilización en la categoría PAEE. Todas estas medidas han de ir apoyadas por la incorporación de cambios en el diseño de PAEE, de forma que faciliten su desensablaje y las operaciones de reparación y preparación para su reutilización.

5. Conclusiones

La Directiva 2012/19/EU tiene como objetivo contribuir a la producción y consumo sostenibles mediante, de forma prioritaria, la prevención de la generación de RAEE y el fomento de técnicas de tratamiento como la preparación para la reutilización. En lo referente al segundo de los objetivos, establece tasas de recogida selectiva y de reutilización a alcanzar en los próximos años. Sin embargo, tras el estudio realizado, se observa que a menos que se adopten una serie de medidas y se produzcan cambios en los actuales hábitos de retirada de RAEE desde la perspectiva de los diferentes agentes involucrados en el ciclo de vida la gestión de estos residuos, será difícil alcanzarlos para la fracción de residuos de PAEE.

La información obtenida en el estudio a través de las entrevistas y el análisis de las plantas y los procesos, demuestra que las acciones destinadas hacia la preparación para la reutilización no se están orientando hacia la fracción de residuos de PAEE.

Por un lado, la recogida específica de PAEE sigue siendo reducida, debido a que el consumidor no se encuentra lo suficientemente informado o sensibilizado para gestionar los residuos de PAEE como lo hace con otras fracciones RAEE. La tendencia a almacenarlos en el hogar y a deshacerse de ellos en contenedores no adecuados, impide que se integren en el ciclo de gestión establecido a nivel normativo. Por otro lado, y en lo referente a la gestión de los residuos de PAEE, no se están implementando medidas que potencien su reutilización: recogida selectiva específica para PAEE, contenedores y sistemas de almacenamiento específicos, protocolos específicos para las diferentes subcategoría de PAEE, etc., siendo el tratamiento final más generalizado, el reciclaje.

En este ámbito, resulta especialmente importante avanzar en un tipo de diseño de PAEE que tenga en cuenta y facilite su reparación y su posible actualización, así como su reutilización, desensamblado y/o reciclado.

6. Referencias

Afroz, R., Masud, M.M., Akhtar, R., & Duasa, J.B., (2013). Survey and analysis of public knowledge, awareness and willingness to pay in Kuala Lumpur, Malaysia: a case study on household WEEE management. *Journal of Cleaner Production*, 52, 185–193.

Baldé, C. P., Wang, F., Kuehr, R. & Huisman, J. (2014). The Global E-Waste Monitor: Quantities, Floes and Resources. United Nations University, IAS-SCYCLE. Bonn, Germany.

Chi, X., Wang, M.Y.L., & Reuter, M.A., (2014). E-waste collection channels and household recycling behaviors in Taizhou of China. *Journal of Cleaner Production,* 80, 87–95.

Directiva 2012/19/UE del parlamento europeo y del consejo de 4 de julio de 2012 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). *Diario Oficial de la Unión Europea*, L197, 38-71.

Gutiérrez, E., Adenso-Díaz, B., Lozano, S., & González-Torre, P., (2010). A competing risks approach for time estimation of household WEEE disposal. *Waste Management*, 30 (8–9), 1643–1652.

Karagiannidis, A., Perkoulidis, G., Papadopoulos, A., Moussiopoulos, N., & Tsatsarelis, T., (2005). Characteristics of wastes from electric and electronic equipment in Greece: results of a field survey. *Waste Management and Research*, 23, 381–388.

Li, J., Liu, L., Ren, J., & Zheng, H.D.L., (2012). Behavior of urban residents toward the discarding of waste electrical and electronic equipment: a case study in Baoding, China. *Waste Management and Research* 30 (11), 1187–1197.

Ongondo, F., & Williams, I.D., (2011). Greening academia: use and disposal of mobile phones among university students. *Waste Management*, 31 (7), 1617–1634.

Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. *Boletín Oficial del Estado,* 21 de febrero de 2015, núm. 45, pp. 14211- 14312.

Step Initiative (2014). Solving the E-Waste Problem (Step) White Paper, One Global Definition of E-Waste. Bonn, Germany.

Williams, E., Kahhat, R., Allenby, B., Kavazanjian, E., Kim, J., & Xu, M., (2008). Environmental, social, and economic implications of global reuse and recycling of personal computers. *Environmental Science and Technology* 42: 6446–6454.

WRAP (2011). The value of re-using household waste electrical and electronic equipment. http://www.wrap.org.uk/content/re-use-protocols-electricalproducts (accessed 10.4.15).

03-010

DESIGN FOR INCREASING THE USAGE OF PRODUCTS: APLICATION TO THE CONCEPTUAL DESIGN OF A SEAT

Royo González, Marta ; Mulet Escrig,
Elena Universitat Jaume I

Many products around us are conceived to fulfill functions that sometimes do not adapt to the future needs of users. To give an answer to this, products such as Phoneblocks, a modular smartphone that attempts to adapt to the users' changing needs, have appeared. This communication sets out a methodological development to conceptualize a new product, in this case, a seat for hotel establishments, which adapts to two usage scenarios: restaurant area and conference rooms. To afford the following steps are proposed: an analysis and selection of usage scenarios is done, an identification of a reference product for each scenario and a convergence map to identify the common functions among the scenarios to check the compatibility among them. Then, creative techniques are applied to obtain a new concept that combines as many of the stablished functions. The new concept is compared with the reference existing products in terms of number of functions and frequency and time of use. Finally, the saving of materials and costs of the proposed concept is qualitatively estimated.

Keywords: *increasing usage of products; usage scenarios; conceptual design*

DISEÑO PARA INCREMENTAR EL USO DEL PRODUCTO: ANÁLISIS Y APLICACIÓN AL DISEÑO CONCEPTUAL DE UN ASIENTO

Muchos productos que nos rodean están ideados para cumplir con unas funciones que muchas veces no se adaptan a las necesidades futuras de los usuarios. Ante esta situación han surgido productos como el Phonebloks, smartphone modular, que pretende adaptarse a las necesidades cambiantes de los usuarios. La siguiente comunicación plantea el desarrollo metodológico para conceptualizar un nuevo producto, en este caso un asiento para un establecimiento hotelero, que se adapte a dos escenarios de uso: zona de comedor y de conferencias. Para ello se estudian y seleccionan distintos escenarios de uso, se definen los productos referencia que actualmente solucionan estos escenarios independientemente y se realiza un Mapa de Convergencia para obtener las funciones comunes a cada escenario y establecer así los escenarios compatibles. Posteriormente y mediante técnicas creativas se obtiene un nuevo concepto que aúna la mayor cantidad de funciones y se compara la mejora del nuevo concepto respecto a los productos referencia en cuanto a aumento de funciones, frecuencia y tiempo de uso. Por último se estima cualitativamente el ahorro de materias primas y el coste económico del mismo.

Palabras clave: *aumento del uso de los productos; escenarios de uso; diseño conceptual*

Correspondencia: Marta Royo González royo@uji.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado dentro del Máster en Diseño y Fabricación (MDF) de la Universitat Jaume I de Castellón. Además, se enmarca dentro del proyecto de investigación P1.1A2013-04 "Interconexiones entre el diseño y el arte actual" del plan de investigación propio de la Universitat Jaume I.

1. Introducción

Dentro del ámbito de la construcción de una cultura sostenible del diseño, y de un diseño más sostenible, hay muchos aspectos distintos que entran en juego. Una de las tendencias del diseño por la sostenibilidad (D4S) es la de diseñar productos que incrementen el uso de los materiales, reduciendo la actitud de “usar y tirar” productos. El objetivo de esta tendencia es diseñar productos que prolonguen su vida útil, de manera que la etapa de fin de vida del producto y el posible reciclaje de los materiales, llegue lo más tarde posible.

Para lograrlo, existen varios enfoques desde los cuáles abordarlo, como las estrategias de ecodiseño (Van Hemel, 1995) que, promueven, entre otras cuestiones, el uso compartido, la integración de funciones y la optimización la vida útil mediante la modularidad, la facilidad de mantenimiento y reparación, la confiabilidad y la durabilidad. Otros enfoques plantean la posibilidad de conseguir una mayor vida útil, como si de un servicio del producto se tratara y/o a través de la relación entre el diseño y la concienciación o cambio de cultura del consumidor (Figura 1).

Figura 1. Enfoques para alargar la vida de los productos.

Cada vez hay más estudios que promueven el cambio de las empresas manufactureras hacia un enfoque en el que el producto no es lo más importante sino los servicios hacia el mismo (Iriarte et al., 2013). El IPSO (Integrated Product and Services Offering) o PSS (Product/Service System), definido como “una oferta consistente en la combinación de productos y servicios que, basándose en una perspectiva del ciclo de vida, se integran para dar respuesta a las demandas del cliente” (Lindahl & Sundin, 2013). El IPSO lleva a los fabricantes a asumir una mayor responsabilidad en la fase de uso y a introducir productos que sean más eficientes y duraderos. Así, las empresas contemplarán cada vez más las necesidades del usuario durante la fase de uso, bajo una perspectiva del ciclo de vida, como una estrategia para conseguir clientes. No obstante hay algunos obstáculos hacia la implantación de servicios. Entre ellos están las barreras culturales asociadas a las costumbres de los consumidores, y las dificultades de las empresas por la complejidad de modelo de negocio en el que el servicio asociado al producto cobra mayor importancia (Baines et al., 2007, Ceschin, 2013).

Esto lleva a pensar en un futuro en el que se diseñen objetos cuyo uso sea mayor que los diseños actuales o que alarguen su vida, tanto a través del propio diseño como de sus servicios asociados (recambios, ampliaciones, etc.) (Royo et al., 2014). Este planteamiento está en consonancia con las previsiones futuras, ya que el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) estima que para el 2050 la población mundial será de 9200 millones de personas, quienes para sobrevivir en condiciones de consumo similares a las actuales, requerirían 2.3 veces más recursos naturales que los que tiene en este momento el Planeta Tierra (WBCSD, 2010).

Los elevados costes y las dificultades para el reciclaje pueden resultar insalvables para muchos países en el futuro (WBCSD, 2010) por lo que aumentar la intensidad del servicio y la vida del producto son una apuesta de futuro. Este incremento en la intensidad del servicio y la vida del producto es una de las líneas de mejora de la eco-eficiencia de los materiales (Verfaillie & Bidwell, 2000). La necesidad de mejorar este aspecto queda también señalada por la cantidad de productos con un alto porcentaje de materiales reciclables o reutilizables que se desechan en la actualidad (Pérez-Belis et al., 2012).

El diseño modular permite adquirir los componentes que el usuario demanda y también facilita la sustitución de piezas. Propuestas como el phoneblocks, teléfono móvil modular, consiguen alargar el tiempo de uso gracias a dicha modularidad. Esta tendencia podría extenderse en mayor medida a otro tipo de productos, para lo cual se necesitarían pautas de diseño para conceptualizar y nuevos productos. También sería interesante evaluar el tiempo de uso de los productos considerando escenarios de uso presentes y futuros.

2. Objetivo

La siguiente comunicación tiene por objeto analizar y proponer mejoras en el diseño de productos para incrementar el tiempo en que son utilizados teniendo en cuenta la fase de uso para conseguir un mejor aprovechamiento del diseño.

Se pretende diseñar un producto a nivel conceptual, en este caso un asiento, buscando un incremento el tiempo de uso del mismo respecto a asientos que no han sido pensados siguiendo este enfoque y valorar cualitativamente la mejora en cuanto al ahorro de materias primas y costes.

3. Metodología y/o Caso de estudio

Para ilustrar el diseño de un producto alargando su vida útil, se ha escogido, como caso de estudio, el diseño de una silla para hoteles. La elección de este producto se debe a que en este este tipo de establecimientos se utilizan asientos diferentes según el ámbito de aplicación: sillas mullidas y estéticas en recepción, sillas funcionales en el comedor y sala de conferencias, y sillas de materiales resistentes y ligeros en zonas exteriores. Debido a la multiplicidad de espacios el mobiliario para hoteles debe cumplir una serie de requisitos, uno de ellos es el estético, ya que suele ser representativo del edificio en el que se enmarca, por otro lado, el ahorro de espacio y la facilidad de transporte mediante la apilabilidad y/o plegabilidad, y también las funciones concretas que se le demandan a este tipo de mobiliario según el lugar que ocupe dentro del hotel, es decir, para una silla de comedor es necesario que sitúe al usuario en una posición cómoda durante el tiempo que dure la comida o cena (entre 2 y 3 horas) todos los días de la semana (uso frecuente) y en cambio una silla de conferencias sitúa al usuario en una posición de escritura o consulta durante más tiempo (4 a 5 horas) durante periodos concretos de tiempo (uso intermitente).

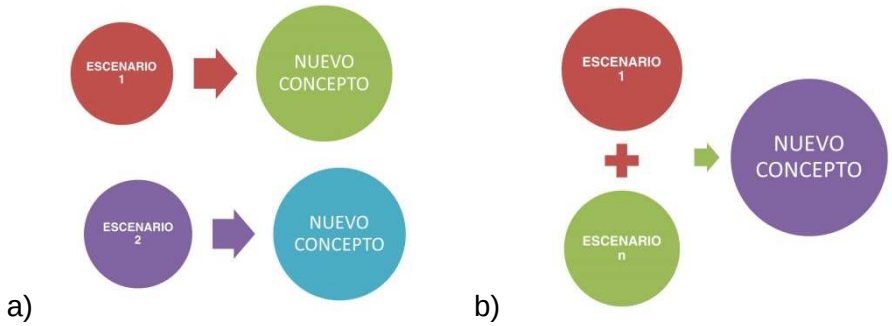
En primer lugar se pasa a definir dos conceptos necesarios para entender el proceso: escenarios y unidad estándar de diseño.

Según la definición de diferentes autores, los escenarios se utilizan para describir el contexto de las experiencias de los usuarios con los productos (Lim & Sato, 2006). Un escenario describe por tanto las características del problema, permite predecir el futuro, analiza los requerimientos y ayuda a generar un concepto. Todo esto facilita la obtención de propuestas para el desarrollo de nuevos productos y sistemas.

La siguiente comunicación plantea la diferencia entre diseñar productos que resuelvan un único escenario de uso frente a aquellos productos que resuelvan múltiples escenarios de

uso (Figura 2), promoviendo productos que tengan en cuenta más de un escenario, tal y como se muestra en la Figura 2b. Esta forma de obtener nuevos conceptos lleva a generar productos que resuelven mayor cantidad de funciones, alargan su vida útil y tienen una mayor frecuencia de uso, como se verá a continuación.

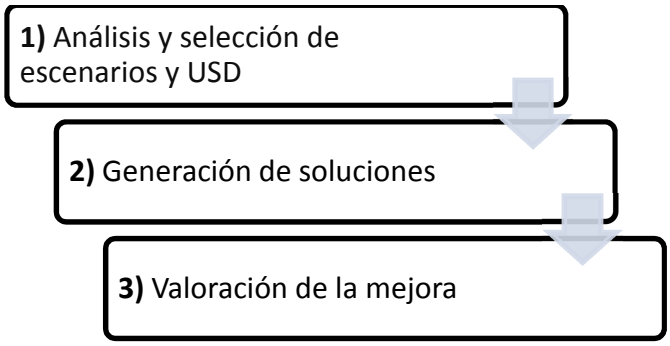
Figura 2: Esquema de productos concebidos partiendo de un escenario de uso frente a los obtenidos teniendo en cuenta múltiples escenarios de uso.



Se denomina Unidad estándar de Diseño (USD) a aquel producto existente en el mercado que cumple la/s función/es principales determinadas en un escenario. Este producto se utiliza como patrón para comparar la mejora realizada en el nuevo concepto desarrollado que soluciona varios escenarios de uso.

La Figura 3 esquematiza los pasos a seguir para obtener productos que integren diferentes escenarios de uso.

Figura 3: Esquema de los pasos seguidos para obtener el nuevo concepto.



En el primer paso se estudian los diferentes escenarios de uso para el producto a desarrollar así como las principales funciones requeridas en cada uno de ellos. Si existen más de dos escenarios, se analizan mediante el Mapa de Convergencia que permite elegir aquellos que presentan funciones compatibles. Una vez obtenidos los escenarios compatibles se seleccionan las USD más representativas de cada uno de ellos. En el segundo paso se generan diferentes soluciones de diseño mediante técnicas creativas y se evalúan para obtener el concepto óptimo y por último, y en el paso 3 se estima cuantitativamente la diferencia de consumo de materias primas y costes entre las USD y la solución seleccionada.

4. Resultados

4.1 Análisis y selección de escenarios y unidades estándar de diseño

Tras realizar un estudio de mercado se comprueba que en la mayoría de los hoteles tienen un mobiliario diferenciado para cada zona y con características muy diferentes. En la Figura 4, se muestran los diferentes tipos de asientos que encontramos dentro de un establecimiento hotelero, por un lado los asientos de la recepción (Figura 4a) con una estética diferenciadora, son cómodos y llamativos. En los comedores, por el contrario la sillería es más ligera, aunque también estética, deben ser fáciles de limpiar, poco voluminosas, apilables y deben permitir al usuario una posición erguida adecuada para comer (Figura 4b). En las salas de reuniones (Figura 4c) se valora la apilabilidad o facilidad de plegado, la comodidad (ya que deben ser utilizadas durante periodos de tiempo continuados) y además deben permitir la escritura o el trabajo con dispositivos móviles. Por último el mobiliario de exterior (Figura 4d) debe ser resistente a la intemperie, ligero, fácil de limpiar y apilable. Por tanto, los escenarios de uso de las sillas en hoteles serían recepción, comedor, sala de conferencias y uso en el exterior.

Figura 4: Diferentes asientos en un establecimiento hotelero (recepción, comedor, sala de conferencias y zona exterior).

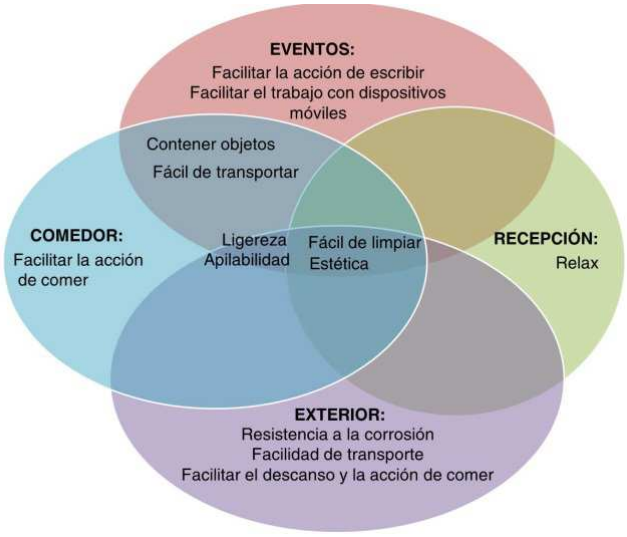
En este caso, cuando el número de escenarios de uso es superior a dos es conveniente utilizar el Mapa de Convergencia, técnica utilizada en Design Thinking (Gasca & Zaragozá, 2013), que consiste en obtener los escenarios compatibles mediante la intersección entre las funciones principales de cada uno de ellos.

En este mapa (Figura 5) se pueden ver aquellas características propias de cada escenario; para eventos son facilitar la acción de escribir y el trabajo con dispositivos móviles, para comedor principalmente facilitar la acción de comer, para exterior, la resistencia a la corrosión, la facilidad de transporte, además de facilitar el descanso y la acción de comer y en recepción se ha considerado únicamente la de relax. El mapa muestra también las características comunes a varios escenarios como por ejemplo contener objetos y facilitar el transporte entre comedor y eventos, ligereza y apilabilidad entre comedor, eventos y exterior y por último, fácil de limpiar y estética que son comunes a los cuatro escenarios. Después del estudio mediante el Mapa de Convergencia se deduce que los escenarios que más posibilidades tienen de integrarse son comedor y eventos.

Los escenarios de recepción y exterior quedan descartados por la necesidad de una gran comodidad (sillería de recepción) incompatible con sillería de comedor y eventos, y por las complejas características en cuanto a resistencia a la intemperie de la sillería de exterior.

Una vez seleccionados los escenarios compatibles se detecta que la sillería utilizada en la zona de conferencias no tiene apenas diferencias con los asientos de comedor. Debido a que el asiento para eventos se utiliza con una frecuencia baja o moderada se estudia la manera de integrar otras funciones (del escenario de comedor) para aumentar el uso del mismo.

Figura 5: Mapa de convergencia entre las funciones de diferentes escenarios de uso.



Una vez obtenidos los escenarios a integrar se pasa a buscar un producto de referencia (USD) que actualmente resuelve cada uno de los escenarios de forma efectiva. Para la silla de comedor, entre las múltiples opciones, se han seleccionado dos modelos representados en la Figura 6. Para la obtención de la USD se han de investigar aquellos modelos que actualmente están en uso en este tipo de establecimientos y seleccionar aquel que tenga características diferenciadoras respecto al resto de los productos existentes en el mercado, por ejemplo, en este caso se selecciona la silla de la Figura 6b porque además de permitir el asiento tiene en cuenta otras funciones como apilar y facilitar el transporte, características que no posee la silla de la Figura 6a.

Figura 6: Unidades de referencia de sillas de comedor

En el caso de obtención de la USD representativa del escenario eventos (Figura 7), se ha vuelto a realizar el mismo proceso que en la silla de comedor seleccionando como USD la silla de la Figura 7b ya que además de permitir el asiento posee otras características como transportar y contener objetos, funciones que no posee la Figura 7a.

Figura 7: Unidades de referencia de sillas de conferencias

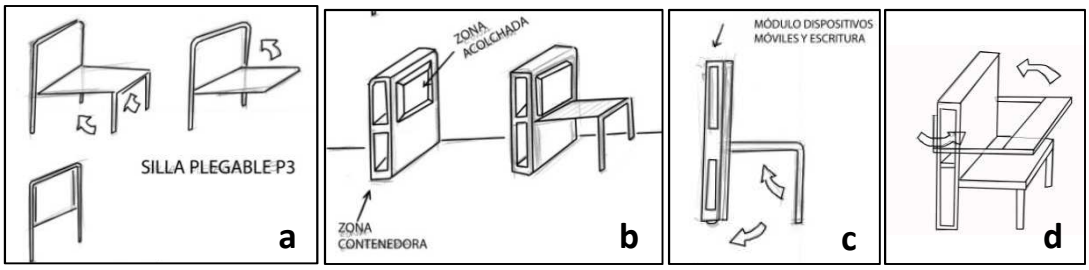
4.2 Generación de la soluciones

En este paso se utilizan técnicas creativas para la obtención de nuevos conceptos teniendo en cuenta la búsqueda de información anterior, el estudio de mercado, el análisis funcional, y el Mapa de Convergencia que ofrecen ideas para la obtención de nuevas soluciones que abarquen los dos escenarios estudiados. De entre las soluciones obtenidas, destacan 2 conceptos.

El primer concepto se basa en la combinación de dos elementos independientes: un elemento vertical y un asiento plegable (Figura 8). En la Figura 8a se muestra el asiento independiente y la posibilidad de un plegado completo para reducir su tamaño y facilitar el apilado. En la Figura 8b se visualiza el elemento vertical que sirve como contenedor de objetos personales, apoyo para la escritura y permite la conexión de dispositivos móviles. La Figura 8d muestra la extracción de la bandeja del elemento vertical y la colocación de la misma frente al usuario. Además, el elemento vertical posee una zona acolchada que al unirse a la silla se combinan formando un asiento que permite mayor comodidad al usuario.

La función de facilitar el transporte se consigue mediante la colocación de unas ruedas en la parte inferior del accesorio modular (Figura 8c), al inclinar la silla situamos todo el peso sobre ellas y podemos arrastrar el asiento al lugar donde sea necesario.

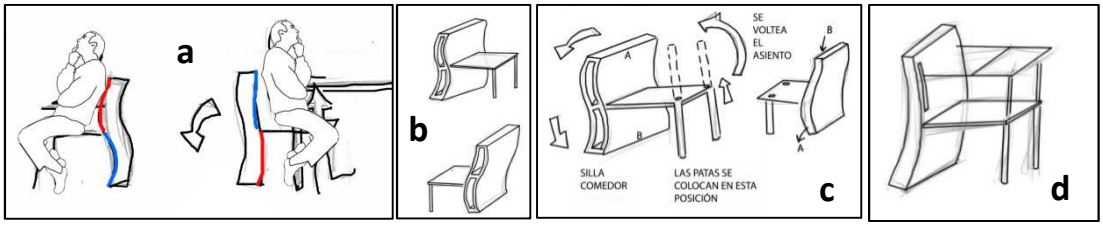
Figura 8: Concepto 1.



Este concepto permite flexibilidad de uso, es decir, se pueden comprar sillas independientes y cuando el establecimiento hotelero necesita utilizar estos asientos como sillas de conferencias se les acopla el módulo vertical al respaldo para complementar las funciones requeridas. Al ser modular permite que pueda quitarse o ponerse según las necesidades del hotel y funcionar como silla indistintamente.

En la Figura 9 se muestra el concepto 2, cuya diferencia con el anterior radica en dos cuestiones: es una pieza única (asiento y elemento vertical están unidos) y se convierte en mesa de escritorio o comedor sin necesidad de acoplar ningún elemento nuevo. Para ello la curvatura del respaldo está diseñada para erguir o bien inclinar al usuario dependiendo del uso (Figura 9a). El funcionamiento queda reflejado en la Figura 9b que muestra como las patas pasan al otro lado del asiento y al voltearlo queda como silla de conferencias. En la última imagen, Figura 9c se muestra la zona de escritura que está almacenada en el interior del elemento vertical.

Figura 9: Concepto 2.



Una vez obtenidos ambos conceptos se evalúan para seleccionar el más adecuado.

Los objetivos a evaluar entre ambos conceptos son: facilitar el movimiento de la silla, la facilidad de uso y por último la rapidez a la hora del montaje, por lo tanto son los que utilizaremos para la evaluación ya que el resto de objetivos son cumplidos de igual manera por ambos conceptos (Tabla 1).

Para el objetivo “fácil de mover” se tiene en cuenta el criterio de que es mejor aquel concepto que quede más compacto para su movimiento, por otra parte “fácil de utilizar” se evalúa por la complejidad de los pasos de montaje y la “rapidez de montaje” se valora comparando el tiempo que conlleva el montaje. Todas estas cuestiones son importantes a la hora de adaptarse a ambos escenarios de uso (comedores y sala de conferencias). Visto esto, la evaluación de los conceptos se refleja en la Tabla 1 en la que se evalúa mediante un 1 si el concepto comparado cumple mejor el objetivo y con un 0 si lo cumple peor. En el caso de “fácil de mover” ambos conceptos permiten arrastrar el asiento mediante las ruedas pero el concepto 1 tiene la opción de plegar el asiento lo que hace que quede más compacto, por otro lado el objetivo “fácil de utilizar” muestra que el concepto 1 es mejor debido a la menor cantidad de pasos a la hora de realizar el cambio de silla de comedor a eventos y por último, para el objetivo “rápido de montar” el concepto 2 está mejor valorado debido a que con dos pasos, que no implican el uso de herramientas ni la aplicación de otros componentes, se obtiene el mismo resultado. Según los resultados, el concepto 1 cumple mejor que el 2 con un resultado de 2 sobre 1 punto.

Tabla 1: Evaluación de objetivos de los conceptos 1 y 2.

OBJETIVO	CONCEPTOS	
	C 1	C 2
O1 Fácil de mover	1	0
O2 Fácil de utilizar	1	0
O3 Rápido de montar	0	1
TOTAL	2	1

4.3 Valoración de la mejora

Seguidamente se estima la cantidad de materiales de los cuatro productos estudiados, por un lado las USD: la silla de comedor P1, la silla de conferencias P2 y, por otro lado el nuevo concepto de asiento: P3 y su complemento P4. Así, se pretende comparar dos alternativas diferentes, la primera en la que el establecimiento hotelero tiene una silla para comedor y otra para conferencias y la segunda, en la que el establecimiento hotelero tiene dos silla P3

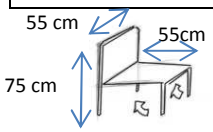
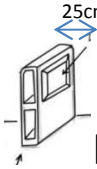
y un acople vertical P4, que utilizará como complemento para los asientos de conferencias (Tabla 2).

En primer lugar se ha buscado el peso de las sillas P1 y P2 en catálogos técnicos del producto. Como no has sido posible localizar este dato, se ha optado por buscar el peso en modelos similares y basarse en dichos datos. Para calcular el peso del nuevo concepto de silla (P3 y P4) se han estimado las cantidades de los materiales a partir de las dimensiones aproximadas y de los materiales previstos para los componentes que forman la silla P3 y el acople P4 posterior. Como resultado se estima que la silla P3 pesaría 6,2 y el acople P4 17,6 kg (Tabla 2)

Para comparar el coste de utilizar las sillas P1 y P2 frente a dos sillas P3 y un acople P4 se ha realizado un estudio de mercado de los modelos escogidos como USD. El coste por unidad de silla P3 se obtiene sumando el coste de todos los componentes a partir de las cantidades de material y de costes unitarios de los materiales. A continuación se estima el coste total de fabricación y el PVP utilizando ratios típicos de este tipo de producto. En concreto se estima que el coste de materias primas está en torno al 33% del coste total de fabricación y que el coste de fabricación es la mitad del precio de venta al público. Ello da lugar a un PVP para la silla P3 de 166€ y de 222,5€ para el acople P4.

Comparando ambos resultados se deduce que la 2ª alternativa presenta un consumo de materias primas algo superior al de la 1ª situación. Sin embargo, los costes de la 2ª situación son menores (18%), si bien con otros modelos de sillas para la 1ª situación la diferencia no hubiera sido tan favorable.

Tabla 2: Comparación de materias primas y costes.

MODELOS A MEDIR	KG MATERIAS PRIMAS	PVP €	unidades	ESCENARIOS
P1	8	260	1	
P2	20	412	1	
1ª situación	**28kg**	**672€**	**2**	**TOTAL**
 P3	6,2	166	2	
 P4	17,6	222,5	1	
2ª situación: dos sillas y un accesorio	**30kg**	**554,5€**	**3**	**TOTAL**

Aunque el diseño propuesto utiliza una cantidad de materias primas un poco mayor que en las otras sillas, cabe destacar, que el nuevo concepto incluye la funcionalidad extra de tener

una pala abatible que puede guardarse o extraerse para tomar notas en la sala de conferencias.

La mayor ventaja se observa cuando se compara la utilización de esta silla de forma flexible. Por ejemplo si imaginamos que un hotel organiza un banquete en el que participan 200 invitados y al mismo tiempo, una conferencia con la misma cantidad de personas. Ese mismo hotel al día siguiente debe organizar un banquete para 300 personas y una conferencia de 100. Para solventar ambas situaciones el establecimiento hotelero debería poseer o bien 300 asientos de comedor P1 y 200 de conferencias P2 (número máximo de asientos necesarios para cubrir la situación más numerosa) o, 400 sillas P3 y 200 acoples P4 (Tabla 3). De ambas maneras se resuelve el mismo problema pero la segunda con una menor cantidad de materias primas y con mayor flexibilidad de uso ya que colocando los acoples (P4) se consigue obtener un asiento u otro.

Tabla 3: Estudio de necesidades de uso en un establecimiento hotelero

	DIFERENTES NECESIDADES DE USO		
Situaciones	**Nº plazas comedor**	**Nº plazas conferencias**	
Día 1	**200**	**200**	
Día 2	**300**	**100**	
Nº asientos necesarios (P1 y P2) para cubrir ambas situaciones	300 P1	200 P2	
Materias primas	300*8kg	200*20kg	
TOTAL MATERIAS PRIMAS	**2.400 kg**	**4.000 kg**	**6.400 kg**
Coste PVP	300*260€	200*412€	
TOTAL COSTE	**78.000 €**	**82.400 €**	**160.400 €**
Nº asientos necesarios (P3 y P4) para cubrir ambas situaciones	400 P3	200 P4	
Materias primas	400*6,2kg	200*17,6kg	
TOTAL MATERIAS PRIMAS	**2.480 kg**	**3.520 kg**	**6.000 kg**
Coste PVP	400*166€	200*222,5 €	
TOTAL COSTE	**66.400 €**	**44.500 €**	**110.900 €**

El ahorro que se conseguiría con el nuevo concepto de silla sería de un 6% en material (400 kg) y de un 31% en ahorro económico. Esto se debe a la mayor flexibilidad de uso que ofrece el nuevo concepto de silla.

5. Conclusiones

Uno de los aspectos a tener en cuenta en el aumento de la ecoeficiencia a través del uso de los materiales es la extensión de la vida del producto y la reducción del consumo de las materias primas. Este artículo muestra cómo se pueden definir nuevos productos que se adaptan a distintas situaciones con el fin de incrementar el tiempo de uso de los mismos, gracias a la mayor flexibilidad de uso. Las conclusiones obtenidas son:

- Se describe cómo obtener el diseño conceptual de un nuevo producto, en este caso un asiento, que incrementa el tiempo de uso permitiendo adaptarse a distintos escenarios de uso.
- Se muestra cómo utilizando la herramienta de Mapa de Convergencia se puede identificar más fácilmente qué escenarios de uso se pueden combinar en un solo producto, a través de las funciones comunes.
- Se muestra cualitativamente el ahorro económico obtenido con el diseño propuesto es aproximadamente del 18%. Cuando se analiza una situación de múltiples asientos, parte de los cuáles pueden usarse tanto como sillas de comedor como de conferencias, el ahorro económico aumenta considerablemente y también puede haber un ahorro en materiales.
- También se muestra la flexibilidad de uso que se consigue en comparación con otros asientos convencionales, ya que este diseño permite un mayor número de configuraciones según las necesidades.
- Se abre un camino para seguir profundizando en cómo aumentar el tiempo de uso mediante el estudio de escenarios, ahorro de materiales y reduciendo costes, aplicadas tanto en asientos como en todo tipo de productos.

6. Referencias.

Baines, T. S., Lightfoot, H., Steve, E., Neely, A., Greenough, R., Peppard, J., Roy, R., Shehab, E., Braganza, A., Tiwari, A., Alcock, J., Angus, J., Bastl, M., Cousens, A., Irving P., Johnson, M., Kingston, J., Lockett, H., Martinez, V., Michele, P., Tranfield, D., Walton, I., & Wilson, H. (2007). State-of-the-art in product service-systems Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, *Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 221 (10), 1543-1552.

Ceschin, F. (2013). Critical factors for implementing and diffusing sustainable product-Service systems: insights from innovation studies and companies' experiences *Journal of Cleaner Production*, *45*, 74-88.

Gasca, J., & Zaragozá, R. (2013). Designpedia. Zaragoza: Thinkers Co.

Iriarte, I., Justel, D., Val, E., & Gonzalez, I. (2013). Service design for small and medium manufacturing companies. 17th International Congress on Project Management and Engineering. Logroño, 17-19th.

Lim, Y. K., & Sato, K. (2006). Describing multiple aspects of use situation: applications of Design Information Framework (DIF) to scenario development. *Design Studies*, 27(1), 57-76.

Lindahl, M., & Sundin, E. (2013). *Product design considerations for improved integrated product/service offerings*. Book chapter. In Lee K-M and Kauffman J (eds). Handbook of sustainable engineering. Beyond conventional thinking and current practice. Springer.

Pérez-Belis, V., Bovea, M., Gómez, A., & Ruiz, A. (2012). Caracterización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en su categoría 7 (juguetes), *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Valencia*, 973-984

Royo, M., Navarro, M., & Mulet Escrig, E. (2014). Conceptual design of a small electrical appliance with multiple uses following the design to last approach. 18th International Congress on Project Management and Engineering. Alcañiz, 17-19th.

Van Hemel, C. G. (1995) Tools for setting realisable priorities at strategic level in design for environment. En Proceedings from International Conference on Engineering Design, ICED. p. 1040-1047.

Verfaillie, H. A., & Bidwell, R. (2000). eco-efficiency. Measuring eco-efficiency a guide to reporting company performance. World Business Council for Sustainable Development (Hrsg.), oO.

WBCSD (2010) Vision 2050: *The new agenda for business*. Technical Report

03-012

HOW TO TEACH USERS WITHOUT PREVIOUS EXPERIENCE THE ADVANTAGES THAT A PRODUCT WILL PROVIDE THEM? THE CASE OF BABY BUGGIES

Royo González, Marta [1]; Mulet Escrig, Elena [1]; Agost Albiol, María [1]; Galán Serrano, Julia [2]; Chulvi Ramos, Vicente [1]

[1] Universitat Jaume I, Dep. Enginyeria Mecànica i Construcció, [2] Universitat Jaume I, Dep. Enginyeria de Sistemes Industrials i Disseny

Nowadays there are many products around us that have a short life cycle due to the fact that they are needed for little time. PSS approach (Product Service System) promotes the hiring as an option to increase the time of use of a product in order to save costs and material consumption; however there are corporative, regulative and cultural barriers that restrain this tendency. Therefore, it would be interesting to increase the time of use of a product considering both present and future needs since the conceptual design phase. Moreover, it is necessary to show suitably the advantages of this type of products, which avoid buying new products, to the users. This need is especially important in products where there is a lack of previous experience, as in childcare articles.This communication aims to show how to teach the future users the way in which a baby buggy can be used during a longer time and how it can be adapted to present and future situations. To afford this, Design Thinking techniques are applied to develop a storytelling to be exposed to the users. Also, it is shown how to collect the users' perception through questionnaires and EPOC neuroheadsets.

Keywords: *increasing the usage of products; future experiences; adaptation to different situations; user's perception measurement; storytelling*

¿CÓMO ENSEÑAR A USUARIOS SIN EXPERIENCIA LAS VENTAJAS QUE UN PRODUCTO LES PROPORCIONARÁ? EL CASO DE LOS CARRITOS DE BEBÉS

Actualmente gran cantidad de productos que nos rodean tienen una vida útil muy breve debido a que se necesitan durante poco tiempo. El PSS (Product Service System) promueve el alquiler para aumentar el tiempo de uso de un producto y así ahorrar costes y consumo de materias primas, pero existen barreras corporativas, regulativas y culturales que frenan esta tendencia. Todo ello indica que sería interesante aumentar el tiempo de uso de un producto considerando tanto necesidades presentes como futuras desde la fase de diseño conceptual. Pero además, es necesario mostrar adecuadamente al usuario las ventajas de este tipo de productos que evitan comprar un nuevo producto, especialmente en el caso de productos para los que no se tiene experiencia previa, tal y como sucede en el sector de la puericultura. La siguiente comunicación pretende mostrar la manera de enseñar a los futuros usuarios cómo un carrito de bebés puede ser utilizado durante más tiempo y su adaptación a diferentes situaciones presentes y futuras. Para ello se emplean técnicas de Design Thinking en la elaboración de un storytelling que se mostrará a los usuarios y se plantean las maneras de recopilar la percepción de éstos mediante cuestionarios y cascos electroencefalográficos.

Palabras clave: *aumento del uso de los productos; experiencias futuras; adaptación a diferentes situaciones; medición de la percepción del usuario; storytelling*

Correspondencia: Marta Royo González royo@uji.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto "AVANCES EN CONTENIDO DIGITAL PARA JUEGOS SERIOS", TIN2013-47276-C6-6-R, financiado por MINECO

1. Introducción

Cuando los usuarios compran un producto por primera vez suelen tener en cuenta muchos factores y de diverso tipo, pero en ocasiones no son conscientes de que las necesidades inmediatas que buscan cubrir con un producto pueden variar a medio plazo y llevarles a necesitar adquirir un nuevo producto antes de lo esperado.

Esto suele ocurrir en el sector de la puericultura, donde las necesidades exigidas a un producto se transforman en otras y la falta de experiencia previa hace difícil que el usuario se plantee cuáles serán las ventajas futuras en el momento de la compra. Precisamente en este sector existen productos que han sido diseñados para cubrir necesidades o escenarios de uso presentes y futuros (Figura 1). Estos diseños permiten reducir el número total de artículos que se adquieren y, por tanto, reducir el uso de materiales

Figura 1: Productos de puericultura que se adaptan a escenarios presentes y futuros.

Fuente: www.babyessentials.es

Uno de los objetos de puericultura más importante es el cochecito o sillita de paseo, en cuya selección entran en juego muchos factores: precio, comodidad, facilidad de plegado, diseño, durabilidad, etc.

Según datos del INE (Instituto Nacional de Estadística) del año 2007 al 2013 el promedio de nacimientos con un intervalo intergenésico inferior a 2 años es de aproximadamente 44.577 bebés por lo que se deduce que 1 de cada 7 familias (aproximadamente el 14%) tienen un segundo hijo antes de que transcurran dos años desde el primero.

Estos datos muestran que el segundo hijo nace cuando el primero todavía está en edad de usar carro. Las opciones de mercado para llevar a dos niños a la vez son: comprar un nuevo carro para tener uno para cada hijo, comprar un carro gemelar para poder llevar a los dos o comprar un patín, accesorio que se engancha al carro para colocar al hijo mayor que iría de pie o sentado en una posición poco cómoda. Ante estas alternativas, algunas marcas permiten pasar de una a dos plazas con el mismo carrito, tal y como se ve en la Figura 2, que utilizándolo primero para el primer hijo permite mediante la extensión del chasis y colocación de la segunda silla, llevar al segundo hijo.

Figura 2: Ejemplo de carro individual convertible a carro doble

Fuente: www.bugaboo.com

Este último diseño podría ser por tanto interesante para un número elevado de familias, que llevarían a dos niños simultáneamente a medio plazo sin renunciar a comodidad ni verse obligados a comprar un nuevo carro. Sin embargo, no está claro si las ventajas de un carro convertible a carro doble se tienen en cuenta en el momento de la compra.

La publicidad que ofrece este tipo de productos se enfoca mayormente en las opciones y facilidades de funcionamiento del carro. Esto plantea la duda de si el usuario es capaz de valorar cómo una inversión inicial repercutirá a medio plazo en la experiencia de uso y en evitar futuros desembolsos económicos en nuevos carros.

Muchos productos dejan de usarse pronto por su baja calidad, la escasez de opciones de "actualización" del producto cuando aparece una mejora tecnológica en el mercado, o por la variación de las necesidades del usuario. Esto provoca que se desechen toneladas de productos con un gran porcentaje de sus materiales reciclables o reutilizables (Pérez-Belis et al., 2012).

El PSS (Product Service System) promueve el alquiler como medida para optimizar el tiempo de uso de los productos. Sin embargo, los usuarios de cochecitos de bebés prefieren tener un cochecito en propiedad (Mont et al., 2006).

Desde el punto de vista de la sostenibilidad, para mantener las condiciones de consumo actuales se requerirán 2.3 veces más recursos naturales de los que tiene en este momento el Planeta Tierra (WBCSD, 2010). Por ello, un aspecto relevante del diseño de productos en un futuro próximo es el de diseñar objetos cuya duración sea mayor que los diseños que existen en la actualidad para realizar una misma función o que alarguen directamente su vida, tanto a través del propio diseño como de sus servicios asociados (recambios, ampliaciones, etc.) (Royo et al., 2014). Así, diseñar productos que se usen durante más tiempo está en consonancia con la eco-eficiencia que, entre otros, busca extender la vida del producto y aumentar la intensidad del servicio (Verfaillie & Bidwell, 2000).

El siguiente estudio se centra en la necesidad de mostrar a los futuros padres las características de un carrito de bebés que se convierta en un carrito doble. En concreto, se deben mostrar las ventajas de poder alargar el uso del carrito adaptándolo a las necesidades de uso cambiantes sin tener que adquirir un nuevo carrito.

Esta investigación pone de manifiesto la importancia de lanzar al mercado productos que permitan ser usados durante más tiempo, anticipando en su diseño las necesidades presentes y futuras que tendrá que cubrir. Para ello es necesario analizar de qué manera se puede comunicar al usuario las ventajas futuras de un producto y hasta qué punto éste percibe el valor que le ofrecerá un producto que se adapta a futuras necesidades frente a otro que no lo hace.

2. Objetivo

El objetivo de este artículo es definir el modo de enseñar a los usuarios cómo un carrito de bebés puede ser utilizado durante más tiempo mediante su adaptación a situaciones presentes y futuras. Para ello se utilizan técnicas propias del diseño de servicios-experiencias, como el storytelling, que ayuden a que el usuario se sienta identificado con la situación y se generen emociones positivas hacia el producto. Se planteará también cómo evaluar la percepción del usuario mediante cuestionarios y cascos encefalográficos (EPOC).

3. Metodología

Para establecer el procedimiento que permita poner en situación a los futuros usuarios acerca de cómo un producto proporcionará ventajas en el futuro, se estudian herramientas de Design Thinking utilizadas en los ámbitos del diseño de servicios-experiencias y se seleccionan aquellas más adecuadas para el fin que se persigue. La metodología a seguir consta de los siguientes pasos:

- Identificar el producto, el usuario y las necesidades futuras sobre el producto
- Analizar las opciones del mercado para cubrir dichas necesidades
- Elaborar el mapa de empatía de la situación, en este caso: “elección del cochecito de paseo”
- Elaborar un storytelling para mostrar las ventajas futuras
- Evaluar cuánto se han percibido las ventajas del producto

Así, en primer lugar se identifica el producto, el usuario y las necesidades futuras del producto. Seguidamente se analiza cuáles son las opciones disponibles en el mercado para solucionar las necesidades futuras del usuario en relación al producto. Para seguir adelante hay que plantearse dos cuestiones:

¿las opciones existentes en el mercado son adecuadas para resolver el problema? ¿tienen alguna desventaja?

¿hay alguna opción que pueda ser más ventajosa de lo que el usuario percibe?

Si la respuesta a algunas de estas preguntas es afirmativa, el diseñador continuaría con la metodología. Para ello, se analizarán las motivaciones de compra que tienen lugar cuando se elige un cochecito de bebés. En este punto se aplica la técnica de Mapa de Empatía (Osterwalder & Pigneur, 2010), que se usa para perfilar segmentos de clientes, basándose en 6 preguntas: qué ven, qué escuchan, qué piensan y sienten, qué dicen y hacen; qué esfuerzos realizan y qué beneficios esperan obtener.

Tras realizar el mapa de empatía y entender las razones que actúan en la elección del producto, el siguiente paso consiste en elaborar una estrategia de comunicación de las ventajas presentes y futuras que le deparan al usuario si se decide por comprar un carrito convertible.

Como herramienta para comunicar las ventajas de un carro convertible se escoge el storytelling, herramienta de visualización rápida para definir con pequeños dibujos una historia y así concretar de manera superficial detalles que se pierden cuando se explican oralmente estas situaciones (Gasca & Zaragozá, 2013). Es una técnica efectiva para provocar cambios en el presente, planteando cómo puede ser el futuro (Rasmussen, 2005). Dicho storytelling mostrará, a través de una historia contada, narrada de forma visual, sencilla y cercana, la evolución de una familia desde su primer embarazo hasta la llegada del segundo hijo. El contenido de la historia hará énfasis en la problemática directamente relacionada con un carro individual convertible a doble. Para ello se identifica cuál es el mensaje que se quiere transmitir y se visionan distintos formatos de historias contadas y estilos audiovisuales.

Finalmente, para evaluar cómo se perciben las ventajas del producto contado a través del

storytelling, se propone recopilar datos sobre la percepción del usuario mediante dos métodos diferentes para disponer de mayor número y variedad de datos.

En primer lugar se tomará una muestra de usuarios a quienes se les pasará el visionado de la historia mientras llevan colocados cascos electroencefalográficos (Emotiv EPOC), que se colocan sobre la cabeza, y permiten medir las siguientes emociones: excitación (versus calma), desinterés (versus compromiso o interés) y el grado de meditación. Estos parámetros son registrados en tiempo real y aportarán una información directa, libre de juicios, de las reacciones que la historia genera. Los cascos electroencefalográficos (EPOC) ya han sido utilizados en diferentes estudios como herramienta de medida (Inventado et al., 2010; Ramirez & Vamvakousis, 2012; Pham & Tran, 2012). Esta herramienta es ligera, fácil de colocar y permite a los encuestados responder y moverse con soltura por una sala. La desventaja es que no se pueden aplicar a una muestra elevada, siendo los cuestionarios la herramienta más efectiva en este sentido. El tamaño de muestra previsto para llegar a tener resultados significativos será de entre 12 y 32 personas.

Una vez medidas las emociones generadas por la historia a través de los cascos, se utilizará un cuestionario de evaluación que permitirá obtener más información sobre el comportamiento del usuario en este tipo de producto, como cuántos productos compra y cómo de satisfecho está con ellos y, por otra parte, cuán interesante le resultaría un carro como el presentado en la historieta que acaba de visualizar. Los datos obtenidos del cuestionario serán contrastados con los datos de las emociones registrados por los cascos.

Dado que el cuestionario es una herramienta que requiere menor infraestructura y recursos que el uso de los cascos EPOC, se implementaría de forma online y se lanzaría a través de redes sociales de alguna fundación o asociación cuyos usuarios principales sean padres. Tras su visionado, se solicitará al usuario que rellene el cuestionario dando su opinión sobre el carro convertible. De este modo se conseguirá alcanzar una muestra de datos de percepción elevada que permitirá conocer hasta qué punto los usuarios perciben las ventajas de este tipo de productos.

Para la recopilación de datos mediante los cascos encefalográficos se seguirán los siguientes pasos:

- Se explicará a los usuarios la finalidad del estudio y los pasos a seguir.
- Se les coloca los cascos electroencefalográficos EPOC.
- Se les proyectará el vídeo y los cascos medirán las emociones.
- Mientras se proyecta el video se recopilará la información.
- Se les retiran los cascos.
- Responderán al cuestionario.

Para la recopilación de datos mediante el cuestionario el proceso será el siguiente:

- Se explicará a los usuarios la finalidad del estudio y los pasos a seguir.
- Se proyectará el material audiovisual obtenido del estudio.
- Contestarán al cuestionario on-line.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la aplicación de esta metodología hasta la fase de elaboración del storytelling.

4. Resultados

En primer lugar se analizan las opciones con las que cuentan las familias cuando van a tener un segundo hijo y el primero aún tiene menos de dos años, y que han sido mencionadas en la introducción. La Tabla 1 resume las ventajas y desventajas de cada una de estas opciones.

La estimación de costes se ha realizado suponiendo que el usuario objeto de este estudio invierte en carritos de gama media-alta, con unas prestaciones altas y una durabilidad elevada. Para ello se han analizado los precios de algunas de las marcas más vendidas, tomándose de referencia para el estudio comparativo de opciones que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Comparación de opciones para llevar a dos hijos simultáneamente.

LLEGADA DEL PRIMER HIJO				
	Compra de cochecito individual			Compra de cochecito convertible
Coste inicial	900€			1345 €
LLEGADA DEL SEGUNDO HIJO, ANTES DE 2 AÑOS DEL PRIMERO Y QUE TODAVÍA USARÁ EL CARRITO				
Opciones	Comprar otra sillita	Comprar un carro gemelar	Niño más mayor en patín	Extender el carro y colocar a la vez sillita y capazo
Coste futuro	160€	450€	60€	0 €
Coste total	1060€	1350€	960€	1345€
Comodidad	Regular (para pasearlos tiene que haber dos personas)	Buena	Regular (un niño en patín)	Buena
Cantidad de producto comprado	2 carros individuales	Un carro individual Un carro doble	Un carro individual Un patín	Un carro convertible
Almacenamiento de productos	Alto	Muy alto	Óptimo	Óptimo

Con la información indicada en la Tabla 1, parece que, desde una perspectiva a medio plazo, el carro convertible en carro doble presenta mayores ventajas, ya que es la única opción que permite que en el futuro no sea necesario comprar un nuevo carro y que se pueda llevar a los dos niños simultáneamente. No obstante, hay muy pocos modelos en el mercado que lo permiten.

Se han realizado entrevistas a tres madres con hijos de menos de dos años de diferencia y cada una de ellas ha optado por una opción distinta: una ha adquirido un carro gemelar, otra ha adquirido un segundo carrito y la última eligió un carrito al que se le podía acoplar un asiento lateral con sidecar. También se han realizado observaciones in situ en parques frecuentados por niños pequeños y bebés, encontrando numerosos casos de carros gemelares, uso de dos carritos y uso de patín con carro. La opción de carro con acople para llevar dos niños es mucho menos utilizada. El mayor coste de un carro convertible y la incertidumbre sobre la evolución del número de miembros de la familia motivan esta situación. En conversaciones con una empresaria del sector, los clientes que tienen un segundo hijo al poco tiempo consultan si hay algún accesorio que permita colocar un segundo asiento al carrito.

En la Figura 3 se muestra el mapa de empatía realizado con futuros usuarios de carritos de bebés. En la parte central se sitúan las personas a las que se les hace el estudio y sus características generales. De izquierda a derecha y por la parte superior se indica la información referente a lo que oye: qué le dicen las personas que le influencian, qué dicen los medios de comunicación, a quién escucha, en este caso son fundamentalmente otros padres con experiencia. En este apartado destacan los comentarios de que “los carros duran poco y se rompen fácilmente” “los buenos carros son caros” “son un objeto de lujo…”, “algunos le dicen que es mejor invertir en un buen carro, pero otros le dicen que ningún carro es perfecto y que no vale la pena escoger el más caro”, además hay “familiares o amigos le dicen que le quieren regalar el carro”.

Por otro lado en la parte superior, se indican las cuestiones que piensa y siente el usuario, sus aspiraciones y miedos, las cosas que le importan, sus sueños. En esta zona se recogen frases como: “quiero seguridad para los productos de mi hijo”, “quiero un carro que sea cómodo y a ser posible que esté de moda”, las cuales hacen referencia a lo que piensan los usuarios y frases como “no me gusta usar un carro que no sé de quién ha sido”, “con los objetos de mi hijo no me la juego” y “si se lo van a regalar, no se siente cómodo eligiendo uno muy caro, cuando aparentemente las funciones son similares a las de carros más baratos”, que hacen referencia a sus emociones y sentimientos referidos a estos productos.

A la derecha, se anota lo que ve, qué oferta hay en el mercado, con quién se relaciona, cómo es su entorno. En este sentido ve que “existen grandes marcas con productos muy funcionales” que “cuesta entenderlos bien mirando por internet” y “hay montones de carros en el mercado, la decisión es difícil de tomar, hay precios muy distintos y la funcionalidad parece similar”.

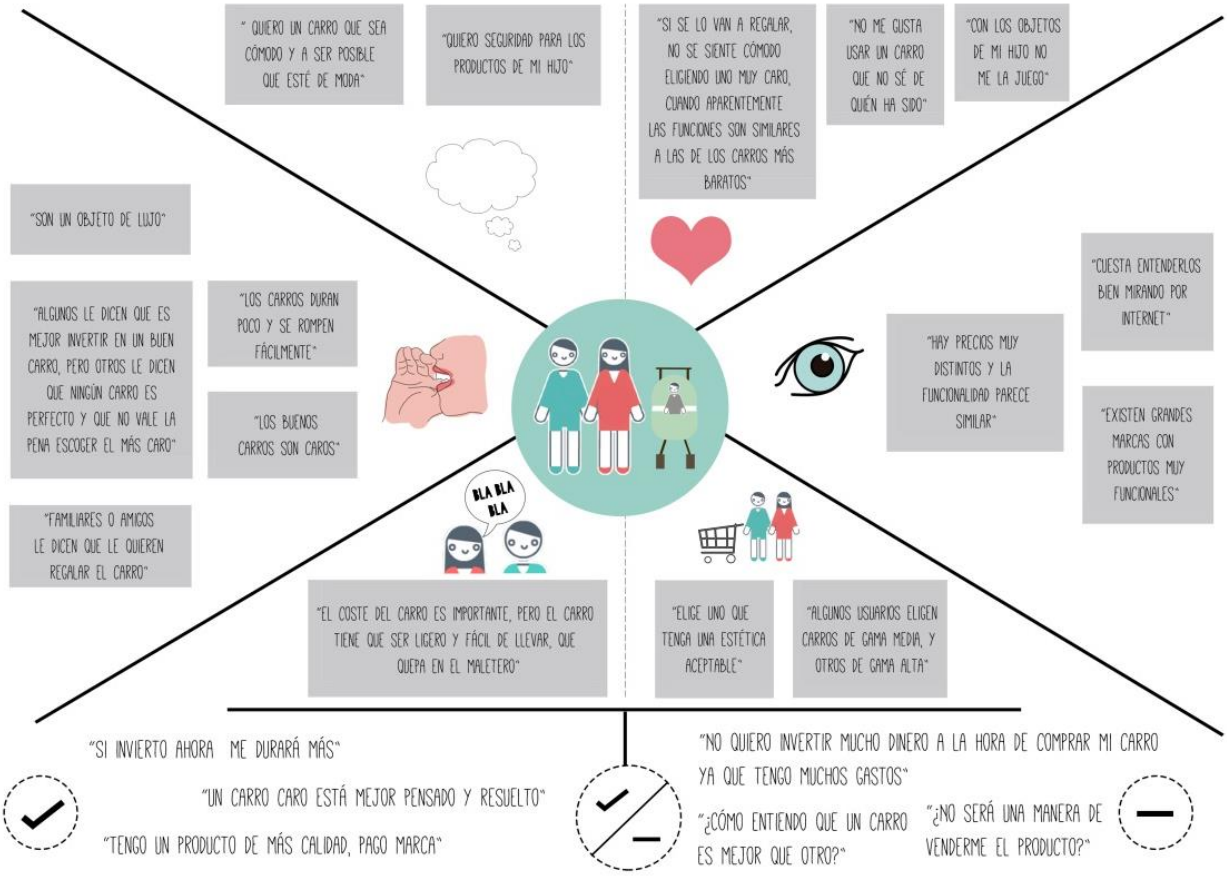
Abajo se refleja lo que el usuario dice y hace, cómo se comporta ante los demás, qué actitud tiene. En este punto se identifica que para el usuario el coste es importante, pero el carro tiene que ser ligero y fácil de llevar, que quepa en el maletero, además eligen carros con una estética aceptable, y por último algunos usuarios eligen carros de gama media, y otros de gama alta.

A partir de las anteriores respuestas, en la parte inferior se resumen los esfuerzos y las ganancias: esfuerzos entendidos como frustraciones, obstáculos y problemas con los que se encuentra y ganancias como los resultados de los esfuerzos, su manera de medir el éxito.

Los esfuerzos identificados son que el usuario no quiere invertir mucho dinero a la hora de comprar el carro porque ya tiene muchos gastos, le cuesta entender bien si un carro es mejor que otro, ya que si va a invertir mucho no quiere equivocarse ni arrepentirse más adelante.

En cuanto a las ganancias que el usuario puede obtener se identifican las siguientes: si invierte ahora más dinero, probablemente le durará más, tendría un producto de más calidad, pagaría marca, ya que un carro caro está mejor pensado y resuelto.

Figura 3. Esquema generado mediante el Mapa de Empatía.



Al analizar el mapa de empatía, se concluye que la elección de carro es difícil de hacer y normalmente o se compra uno de marca prestigiosa o, si se mira el precio, se aseguran alguna característica concreta por la que apuestan, como por ejemplo el plegado en poco espacio. Sin embargo, aspectos como ahorrarse futuras compras de carros y sillitas no son tenidos en cuenta al principio y tampoco se piensa en cómo va a funcionar el carro si se tienen más hijos a corto plazo.

También se ha entrevistado a padres y madres con varios hijos que tienen tres años de diferencia o más y que por tanto ya tienen experiencia en carritos. Entre ellos, se ha hablado

tanto con usuarios que han invertido en un carro con mayores prestaciones como quienes han adquirido uno más básico. Aquellos que han comprado un carro con mayores prestaciones, lo han utilizado con los siguientes hijos, prolongado su uso. Algunos de estos carritos permiten sustituir piezas, ofrecen servicios de limpieza y puesta a punto, etc. Entre quienes han optado por carros más básicos, hay un elevado porcentaje de casos que han necesitado comprar más carros para los siguientes hijos, con el gasto económico adicional y la necesidad de espacio extra para su almacenamiento. Por tanto, es habitual que la unidad familiar adquiera más de un carro, utilizando en cada momento el que mejor se adapta a sus necesidades.

A partir de este análisis se deduce que las principales razones por las que los futuros padres y madres no comprarían un carro convertible podrían ser que estos productos suelen ser más caros, a lo que se suma el desconocimiento de la necesidad futura y la incertidumbre ante la posible paternidad/maternidad de otro hijo en un tiempo inferior a 2 años. Por tanto, interesaría conseguir que el usuario entendiera el ahorro global de dinero y la satisfacción a la hora de maximizar el uso del carrito. También podría ser interesante que se sensibilizara con el ahorro en el consumo de materiales y de energía necesarios para fabricar un nuevo producto.

Para elaborar el storytelling se considera un público conformado por padres y madres de un rango de edad centrado en torno a los 35 años y con un nivel de estudios y económico medio. Algunas pautas a seguir para elaborar la historia son:

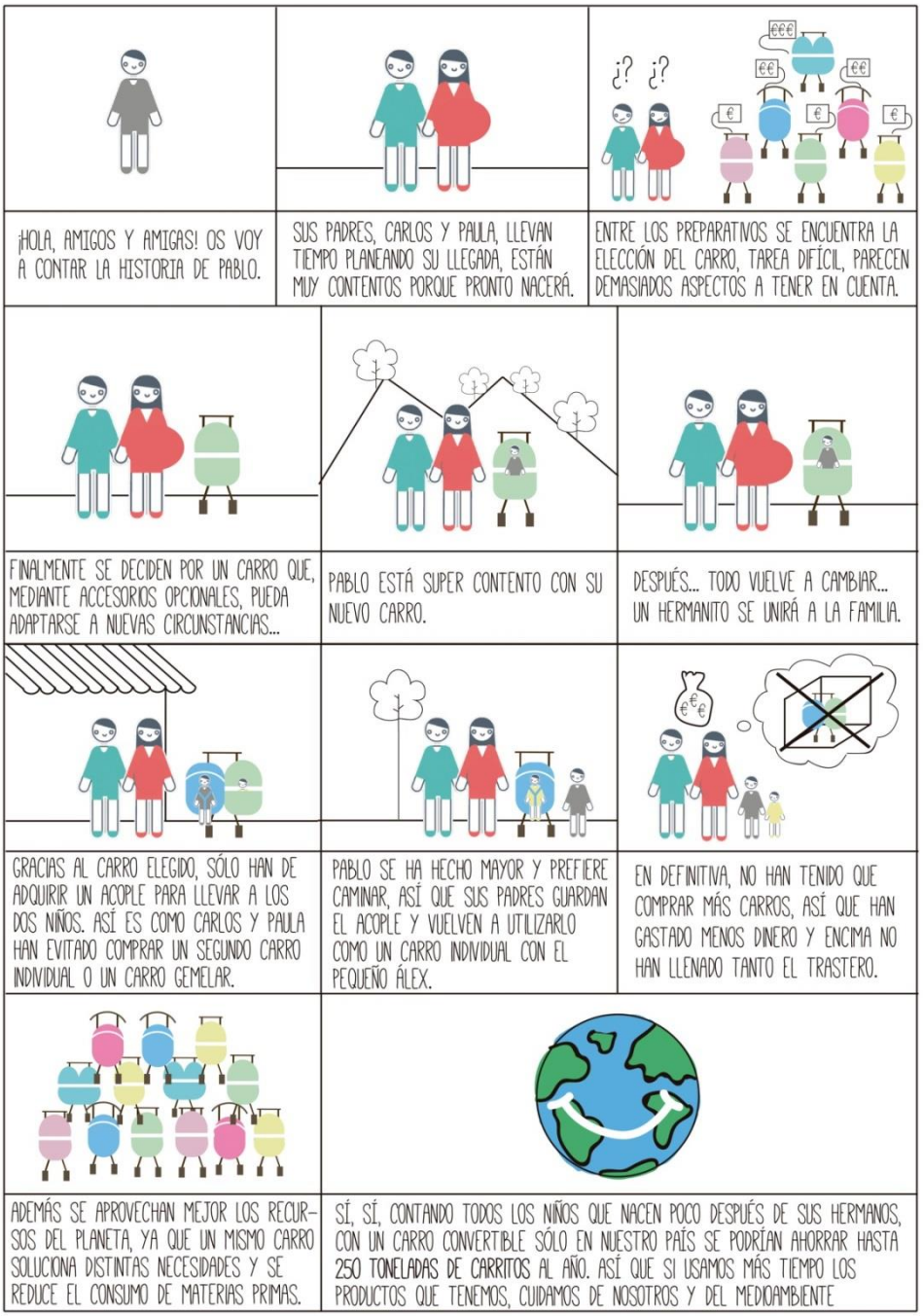
- El guión de la historia debe ser claro y debe llevar al “espectador” a sentirse identificado con la situación y comprender las ventajas del producto.
- La historia estaría protagonizada por una familia ficticia, pero con la que se pueda reconocer “el espectador”.
- A ser posible, mostrará algún dato fácil de entender que enfatice el interés del producto del que se muestran las ventajas.
- Debe ser de corta duración.
- Mostrará primero las ventajas que ofrece al individuo, y después, en un segundo plano, otras ventajas que proporciona a la sociedad, en este caso, un producto más sostenible, ya que se utiliza más tiempo y evita comprar más productos, ahorrando así materiales y energía.
- El formato del vídeo se elegirá en función del alcance que se le quiera dar a la historia: un vídeo realizado a partir de dibujos es más universal, tiene menos connotaciones culturales y más repercusión internacional, además es un lenguaje más diferenciador y que puede conectar mejor con la gente joven. Por su parte, un vídeo con actores puede conectar más con las emociones del oyente, sin embargo se puede perder conexión con clientes de otras culturas y nacionalidades y además puede distraer más, ya que las emociones que evoca pueden estar ocasionadas por las expresiones faciales, los efectos de luz del vídeo, etc.
- La historia podrá de servir de elemento de promoción del producto una vez se lance al mercado.

A partir de estas pautas se definieron los personajes y se elaboraron varios borradores del guión, hasta llegar a la versión final que se muestra en la Figura 4. La historia presentada se puede contar en un vídeo de corta duración, la narración y los personajes hacen que sea

fácil identificarse con ellos y sobretodo, refleja las ventajas de invertir en un carrito convertible en carro doble.

Actualmente esta historia está en fase de implementación para tomar la forma de vídeo. La evaluación de la percepción se abordará en futuros trabajos.

Figura 4. Storytelling para mostrar las ventajas de un carro convertible a medio plazo.



5. Conclusiones

En este estudio se identifica una situación en la que la falta de experiencia previa dificulta al usuario tomar una decisión de compra que, desde el punto de vista de las necesidades presentes y futuras, proporciona más ventajas que otras opciones.

Se emplea el Mapa de Empatía como herramienta para recoger las motivaciones del usuario detectando aspectos a tener en cuenta a la hora de plantear cómo enseñarle las ventajas y así facilitar la conexión con el usuario.

Se describe cómo utilizando la técnica del storytelling se favorece la comprensión de nuevos productos que incrementan su uso utilizándose tanto en escenarios presentes como futuros.

A partir de esta fase, se procederá a analizar la percepción del usuario para demostrar la importancia que tiene comunicar al futuro usuario las experiencias futuras de un producto frente a limitarse las características funcionales del mismo.

Referencias

Gasca, J., & Zaragozá, R. (2013). *Designpedia. Zaragoza: Thinkers Co*.

INE, Nacimientos de madre casada por duración en años del intervalo intergenésico y orden del nacimiento. Obtenido el 25 de Marzo de 2015, desde http://www.ine.es/buscar/searchResults.do?searchString=intergen%E9sico&Menu_botonBuscador=Buscar&searchType=DEF_SEARCH&startat=0&L=0

Inventado, P. S., Legaspi, R., Bui, T. D., & Suarez, M. (2010). Predicting student's appraisal of feedback in an it's using previous affective states and continuous affect labels from eeg data. In Proceedings of the 18th International Conference on Computers in Education, Putrajaya, Malaysia.

Mont, O., Dalhammar, C., Jacobsson, N. (2006). A new business model for baby prams based on leasing and product remanufacturing. Journal of Cleaner Production 14 (17), 1509-1518.

Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). Business Model Generation: A Handbook for Visionarles, Game Changers and Challengers. Self-published.

Pérez-Belis, V., Bovea, M., Gómez, A., & Ruiz, A. (2012). Caracterización de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en su categoría 7 (juguetes), *XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Valencia*, 973-984

Pham, T. D., & Tran, D. (2012). Emotion recognition using the emotiv epoc device. In Neural Information Processing, pp. 394-399. Springer Berlin Heidelberg.

Ramirez, R., & Vamvakousis, Z. (2012). Detecting emotion from EEG signals using the emotive epoc device. In Brain Informatics, 175-184. Springer Berlin Heidelberg.

Rasmussen, L.B. (2005). The narrative aspect of scenario building-how story telling may give people a memory of the future. A I & Society, 19, 229-249.

Royo, M., Navarro, M., & Mulet, E. (2014). Conceptual design of a small electrical appliance with multiple uses following the design to last approach. 18th International Congress on Project Management and Engineering. Alcañiz, 17-19th.

Verfaillie, H.A., & Bidwell, R. (2000). Measuring eco-efficiency. A guide to reporting company performance. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

WBCSD (2010) Vision 2050: *The new agenda for business*. Technical Report.

03-016

A NOVEL HYBRID EVOLUTIONARY APPROACH FOR CAPTURING THE EXPERT KNOWLEDGE INTO THE UNEQUAL AREA FACILITY LAYOUT PROBLEM.

Garcia Hernandez, Laura [1]; Palomo Romero, Juan María [2]; Salas Morera, Lorenzo [2]; Arauzo Azofra, Antonio [2]; García Hernández, Jose A. [3]

[1] Universidad de Córdoba, [2] Universidad de Córdoba, [3] Junta de Andalucía

This article presents a new hybrid evolutionary system for considering human expert knowledge into the Unequal Area Facility Layout Problem (UA-FLP). The novel hybrid system proposed consists of an Interactive Genetic Algorithm combined with two different niching methods with the aim of allowing interaction between the hybrid algorithm and the human expert designer, normally called Decision Maker (DM) in the field of UA-FLP. The participation of the DM knowledge into the approach guides the complex search process, adjusting it to the DM's preferences. The whole population associated to facility layout designs is evaluated by the DM, who only gives a subjective evaluation to a set of representative individuals of the population in each iteration (in order to avoid fatiguing him/her). The inclusion of niching techniques into the approach allow the preservation of the population diversity avoiding that similar solutions will be presented to the DM in the same algorithm iteration. The novel proposed approach was tested using a interesting case study of facility layout designs. The results of the experiments, which successfully validate the novel proposed approach, are presented, compared and discussed in this study.

Keywords: *Unequal Area Facility Layout Problem; Interactive Evolutionary Computation; Expert Knowledge; Niching method*

UNA NUEVA PROPUESTA HÍBRIDA EVOLUTIVA PARA CAPTURAR EL CONOCIMIENTO EXPERTO EN EL PROBLEMA DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE ÁREAS DESIGUALES

En este artículo se presenta un nuevo sistema evolutivo híbrido para considerar el conocimiento experto humano en el problema de distribución de instalaciones de áreas desiguales. El nuevo sistema híbrido propuesto, consta de un algoritmo interactivo genético combinado con dos métodos niching diferentes con el objetivo de permitir la interacción entre el algoritmo híbrido y el experto humano. La participación del conocimiento del experto en la guía del complejo proceso de búsqueda, lo ajusta a las preferencias del diseñador. La población asociada a los esquemas de distribución en planta es evaluada por el diseñador, que sólo da una evaluación subjetiva a un conjunto de individuos representativos de la población en cada iteración (para evitar fatigarlo). La inclusión de técnicas de niching en la propuesta permite la preservación de la diversidad de la población evitando que soluciones similares se presenten al diseñador en la misma iteración del algoritmo. La nueva propuesta ha sido probada mediante un caso de estudio de distribución en planta. Los resultados de los experimentos, que se validan satisfactoriamente el nuevo enfoque propuesto, se presentan, comparan y analizan en este estudio.

Palabras clave: *Problema de distribución en planta de areas desiguales; Computación interactiva evolutiva; Conocimiento experto; Métodos de niching*

Correspondencia: Laura García Hernández ir1gahel@uco.es

1. Introducción

La distribución de las instalaciones de una planta, que a menudo se conoce como el problema de distribución en planta, se sabe que tiene un impacto significativo en los costes de fabricación, productos en proceso, los tiempos y la productividad (Drira, Pierreval, & Hajri-Gabbouj, 2007). Dónde ubicar las instalaciones y el diseño eficiente de las instalaciones son cuestiones estratégicas importantes y fundamentales en cualquier industria manufacturera (Singh & Sharma, 2006). Un buena distribución de las instalaciones contribuyen a la eficiencia global de las operaciones y pueden reducir los costes operativos totales entre un 20% y un 50% (Tompkins et al., 2010).

Dependiendo de las características que se consideren, varios problemas se incluyen en el campo del diseño de distribución en planta de las instalaciones (Kusiak & Heragu, 1987). En particular, el trabajo propuesto en este artículo se centra en el problema de distribución en planta de áreas desiguales (comúnmente llamado, UA-FLP) tal y como se describe por Armour y Buffa (Armour & Buffa, 1963), quien lo formuló como un diseño de planta rectangular que es compuesta de instalaciones rectangulares desiguales que deben ser dispuestas de una manera eficaz.

Los problemas de distribución en planta pueden modelarse usando diferentes técnicas como: la programación lineal entera, programación entera mixta (Izadinia, Eshghi, & Salmani, 2014) y los métodos gráficos (Heragu & Kusiak, 1991). Varias técnicas se han aplicado, como branch and bound (Solimanpur & Jafri, 2008) y la teoría de grafos (Kim & Kim, 1995). Recientemente, los investigadores se han centrado en los métodos meta-heurísticos, como la búsqueda tabú (McKendall et al, 2006;. Scholz, Petrick, & Domschke, 2009), el recocido simulado (Sahin, Ertogral, & Türkbey, 2010), el sistema de hormigas (Komarudin & Wong, 2010, 2012a) y los algoritmos genéticos (AG) (Aiello, Scalia, & Enea, 2013; Goldberg, 1989). Los últimos métodos se han utilizado comúnmente en el problema de distribución en planta de áreas desiguales (García-Hernández et al., 2009; Michalewicz et al., 1996).

En general, el problema de diseñar una disposición física de instalaciones consiste en la optimización y la consideración de determinados objetivos (principalmente, el flujo de materiales) (Aiello, Scalia, & Enea, 2012) y criterios. Sin embargo, Babbar-Sebens y Minsker (2012), declaró que estos enfoques de optimización no describen adecuadamente toda la información cualitativa importante que es considerada como esencial por un experto humano que está involucrado en la fase de diseño (por ejemplo, ingenieros). Sin embargo, es difícil tener en cuenta estas características cualitativas utilizando una heurística clásica o sistema de optimización de meta-heurística (Brintup, Ramsden, & Tiwari, 2007). Supuestamente, la manera más razonable para considerar todas estas características en el proceso de selección consiste en incluir personalmente el tomador de decisiones en el proceso (Brintup et al., 2007), esto proporciona ventajas adicionales y elimina el requisito de especificar toda la información conveniente sobre el diseño de la instalación de antemano, ofreciendo al diseñador la capacidad de aprender de sus propias preferencias, y estimular la creatividad ce los usuarios (García-Hernández et al., 2013).

Brintup et al. (2006) destacaron el hecho de que la computación evolutiva interactiva puede contribuir en gran medida a mejorar el diseño optimizado mediante la participación de los usuarios en la búsqueda de una solución satisfactoria. Sin embargo, en los problemas de optimización de la vida real, a veces no estamos satisfechos con sólo una solución óptima. En este sentido, los algoritmos genéticos a menudo carecen de la capacidad de encontrar

múltiples soluciones óptimas. Muchos autores han utilizado métodos de niching para resolver este problema ya que pueden mantener una población diversa y no son tan propensos a converger prematuramente como los algoritmos genéticos (Yu & Suganthan, 2010). Niching es un término genérico que se refiere a una técnica para encontrar y preservar múltiples nichos estables o partes favorables en la población de las soluciones, posiblemente alrededor de óptimos locales, para evitar la convergencia a una solución única (Gren y Pierreval, 2013).

En este artículo se presenta un nuevo algoritmo evolutivo híbrido para incorporar el conocimiento experto humano en el problema de distribución en planta de áreas desiguales. Este enfoque consiste en un algoritmo genético interactivo que se combina con dos métodos niching para permitir la interacción entre el proceso de algoritmo y el diseñador, preservando al mismo tiempo la diversidad de la población de soluciones.

2. Definición del problema.

El problema de distribución en planta de áreas desiguales fue propuesto por Armour y Buffa (1963). En él se considera una planta rectangular con dimensiones fijas, y un conjunto de instalaciones que, con un área requerida, donde la suma de las áreas de las instalaciones debe ser inferior o igual al área total de la planta. El objetivo es la asignación de las instalaciones de la planta en base a un criterio de optimización dado con la restricción de no superposición de las instalaciones.

Muchos autores han tenido en cuenta criterios cuantitativos para resolver el problema de distribución en planta de áreas desiguales, incluidos los costos de manipulación de materiales, requerimientos de adyacencia, requisitos de distancia entre instalaciones y una relación de aspecto deseada.

Sin embargo, como se discutió en la sección anterior, existen características cualitativas que deberían ser consideradas por el diseñador en el diseño de la distribución de las instalaciones. Estas pueden ser:

- La distribución del espacio sobrante en el diseño de la planta.
- La colocación instalación.
- La orientación que el diseñador prefiere para una instalación.
- Lugares que no se desean para una cierta instalación para evitar ciertos factores (por ejemplo, ruido, malos olores, humedad)
- Cualquier otra preferencia subjetiva que el diseñador considera necesaria en el diseño final de la distribución de las instalaciones.

3. Enfoque propuesto

3.1. Representación de la planta

La estructura usada es la estructura flexible de bahías propuesta por Tong (1991) se utiliza para representar la distribución de la planta. La planta rectangular se define por sus dimensiones de altura y anchura. Este área se divide en una dirección en bahías de diferentes anchos, que se subdividen para asignar las instalaciones que componen el diseño de la planta.

3.2. Estructura de codificación

La estructura de codificación que se utiliza en nuestro enfoque para representar cada

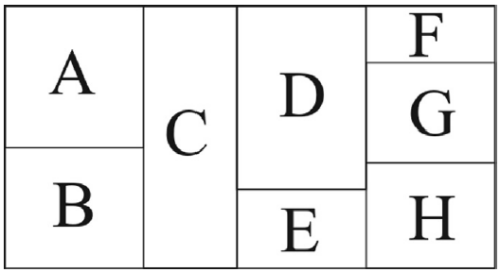
individuo de la población es similar al propuesto por García-Hernández et al. (2013). Esta estructura contiene un cromosoma que se compone de 2 segmentos. El primer segmento encierra la secuencia de instalaciones organizadas bahía por bahía, de izquierda a derecha y de arriba a abajo. Contiene *n* etiquetas que representan cada una de las instalaciones en el diseño de la planta. El segundo segmento incluye las divisiones de bahías en la distribución de la planta. Contiene *n*-1 elementos binarios.

Un valor de 0 indica que la instalación correspondiente se coloca en la misma bahía que la anterior, y un valor de 1 indica que este elemento es la última instalación en la presente bahía. Un ejemplo de una estructura de codificación de individuos y su representación asociada se muestran en las siguientes figuras:

Figura 1: Ejemplo de codificación del cromosoma

Facility sequence								Bay divisions						
A	B	C	D	E	F	G	H	0	1	1	0	1	0	0

Figura 2: Representación de la planta asociada al cromosoma anterior



3.3. Algoritmo evolutivo híbrido

En esta sección se explica el algoritmo evolutivo híbrido en detalle. El algoritmo se ilustra en la Fig. 3.

En la primera etapa del algoritmo, una población inicial de *n* instalaciones se genera aleatoriamente. A continuación, se clasifica la población en grupos utilizando el algoritmo fuzzy c-means que fue descrita y usada en el trabajo de García-Hernández et al. (2013). Así, un subconjunto de individuos que se compone de los elementos representativos de cada categoría se muestra al diseñador.

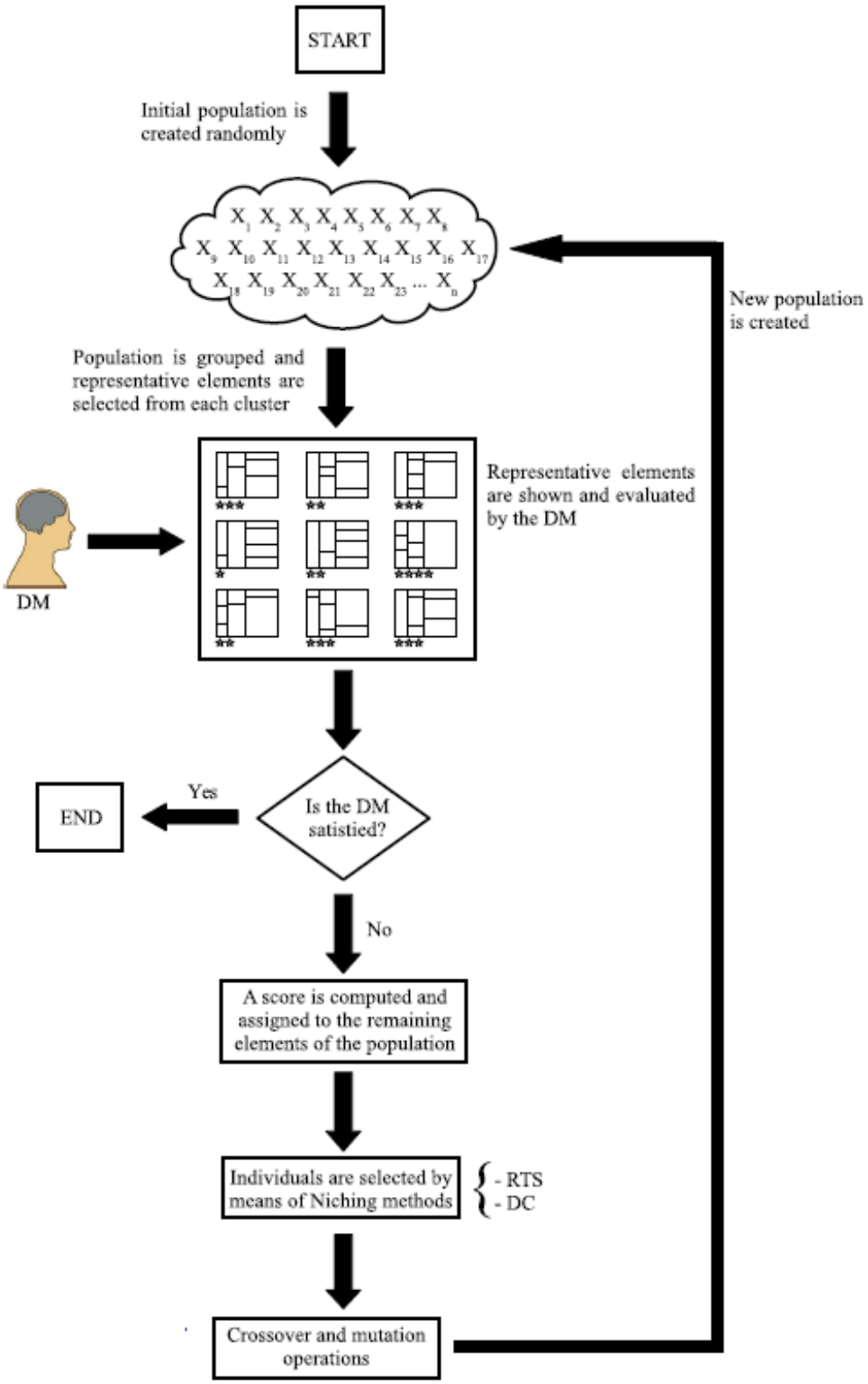
Nueve soluciones se muestran al diseñador en cada generación como era propuesto por García-Hernández et al. (2013). Éste evalúa las soluciones de acuerdo con sus preferencias para cada diseño. En cada iteración, el diseñador da una calificación a cada una de las soluciones, la puntuación puede ir desde 1 (solución poco satisfactoria) a 5 (solución muy satisfactoria). La aptitud de los demás individuos (*eval*) se calcula utilizando la ecuación 1.

$$eval = \sum_{i=1}^{c} m_{ij} e_i \quad (1)$$

donde *c* es el número de grupos, *mij* es el grado de pertenencia de *j* individuo en el grupo *i,* y *ei* es la puntuación dada por el diseñador al individuo representativo del grupo *i*. En esta etapa, un método de selección se aplica a la población. En este estudio, se utilizan dos técnicas niching: la técnica DC descrita en el trabajo de De Jong (1975) y la técnica RTS descrita en el artículo de Harik (1995). Finalmente, operadores de cruce y mutación (que se describirán en las secciones 3.3.1 y 3.3.2, respectivamente) se aplican, y la nueva población se crea, siendo más probable que se adapte mejor a las preferencias del diseñador que la

población anterior. El proceso se repite hasta que el diseñador encuentra un diseño de distribución en planta que satisface sus preferencias.

Figura 3: Diagrama del algoritmo evolutivo híbrido propuesto



3.3.1. Operadores de cruce

En el método propuesto, dos operadores de cruce diferentes son aplicados a los dos segmentos del cromosoma.

El segmento de secuencia de instalaciones se recombina mediante el método de cruce Partial Mapped Crossover tal y como se describe en el trabajo de Sadrzadeh (2012), lo que garantiza que no haya instalaciones que se repitan en un diseño de distribución en planta. Los pasos de este método son los siguientes:

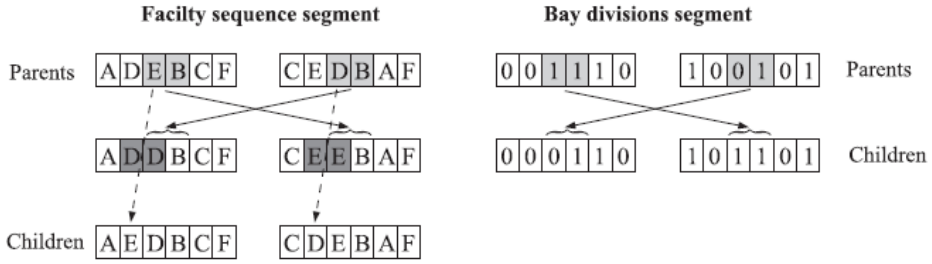
1. Selecciona al azar una subcadena.

2. Cambio de la subcadena seleccionada entre los padres.

3. Regular la descendencia con la relación de proyección.

El segundo segmento (segmento divisiónde bahías) es atravesado por medio de los n-puntos de cruce (Holand, 1992; Starkweather et al., 1991). En este caso, un solo punto de cruce (que se selecciona al azar) se utiliza para el intercambio de las subseries entre los padres para crear la descendencia. Ejemplos de ambos operadores de cruce se muestra en la Fig. 4.

Figura 4: Ejemplos de operadores de cruce que son aplicados a cada segmento



3.3.2. Operador de mutación

En nuestro enfoque, el operador de mutación se aplica con una cierta probabilidad (normalmente baja) para cada segmento del cromosoma. En el segmento de secuencia de instalaciones, dos instalaciones son elegidas al azar y conmutadas. En el segmento de división de bahías, un índice es escogido al azar, y su valor se invierte.

4. Experimentación.

En esta sección se describe la metodología experimental, esta es realizada sobre la base de las preferencias que se consideran interesantes para el diseñador. Un caso de prueba ha sido seleccionado para probar nuestro algoritmo híbrido y los resultados se validan comparándolas con los obtenidos por García-Hernández et al. (2013). Este caso fue definido por Aiello, Enea, y Galante (2006). En este problema, el diseño de la planta se compone de 20 instalaciones que debe ser destinada dentro de un área cuadrada de 70 m de lado. En la definición del problema, cada una de las instalaciones posee un tamaño de área (m^2) a partir de la cual, y dependiendo del cromosoma generado, un algoritmo calcula el alto y ancho de cada una de las instalaciones, así como genera la representación de la planta en una imagen, la cual, posteriormente, será mostrada al DM (García-Hernández et al., 2013).

Los grupos de preferencias determinan escenarios de prueba que contienen preferencias que se consideran importantes para el diseñador en cada caso de prueba. Los grupos de preferencias considerados se enumeran a continuación:

1. Una disposición de la planta donde la instalación 'G' toca cualquier lado de la planta, la

instalación 'J' está situado en una esquina, la instalación 'T' es adyacente a la instalación 'G' y la instalación 'T' es una instalación interior.

2. Una disposición de la planta cuando la instalación 'G' es una instalación exterior, la instalación 'T' no es adyacente a la instalación 'G', la instalación 'J' está situado en una esquina, y la instalación 'G' es adyacente a la instalación 'P' (que es una instalación de interior).

3. Una disposición de la planta que se divide cinco bahías, donde: la instalación 'C' es una instalación exterior, y la instalación 'G' es una instalación interior que no es adyacente a la instalación 'T'.

4.1. Metodología

El objetivo principal de la metodología propuesta es definir una planta distribución de las instalaciones que satisface las preferencias del diseñador, es decir, un diseño con una puntuación de 5 (el valor máximo posible). Adicionalmente, para evitar la fatiga del diseñador, el número de generaciones que se requiere para llegar a la meta debe ser lo más bajo posible.

El algoritmo evolutivo híbrido propuesto contiene parámetros que han sido afinados previamente de forma empírica. Debido a que el diseñador evalúa nueve diseños durante cada iteración el algoritmo, no es viable realizar una prueba masiva. Para evitar los efectos aleatorios, se repite la prueba tres veces con el algoritmo propuesto para cada uno de los grupos de preferencias que han sido definidos como importantes para el diseñador. Los resultados de estos experimentos son comparados con los encontrados usando el enfoque propuesto por García-Hernández et al. (2013).

La Tabla 1 muestra los resultados que se obtuvieron utilizando nuestro enfoque con las dos técnicas de niching que han sido implementadas (llamados como Niching (DC) y Niching (RTS), respectivamente) y los obtenidos utilizando la metodología de García-Hernández et al. (2013) (denominada en la tabla como IGA). Se ha considerado el número de generaciones (llamada Gen. en la tabla) que se necesitan para satisfacer cada uno de los grupos de preferencias definidos en la sección anterior. Estos tres grupos de preferencias se encuentran representados en la tabla mediante la columna G.I. Para cada uno de los grupos de preferencias se ha lanzado el algoritmo propuesto un total de tres repeticiones. Además, se ha considerado la media (Av.) y la desviación estándar (Std. Dev), con el objeto de analizar los resultados arrojados por las pruebas. La tabla muestran el número de iteraciones de los algoritmos que se necesitan para llegar a una solución satisfactoria, que se define como la solución que tiene la puntuación máxima. Los mejores valores alcanzados en cada conjunto de preferencias se han resaltado en negrita.

Tabla 1: Comparativa del nº de generaciones que son necesarias para satisfacer al diseñador

	IGA				Niching (DC)			Niching (RTS)				
G.I.	**Gen.**			**Av.**	**Std. Dev.**	**Gen.**			**Av.**	**Std. Dev.**	**Gen.**			**Av.**	**Std. Dev.**
1	5	9	7	7	2	**3**	4	5	4	1	4	4	5	4.33	0.57
2	9	11	8	9.33	1.52	7	6	7	6.66	0.57	7	8	**5**	6.66	1.52
3	10	13	9	10.66	2.08	7	9	**6**	7.33	1.52	8	10	8	8.66	1.15

Como se muestra en la Tabla 1, el número de generaciones que es necesario para llegar a una solución satisfactoria por el diseñador varía entre repeticiones con el mismo grupo de

preferencias. El mínimo número de generaciones que se requiere para llegar a una solución que satisface todas las preferencias del diseñador varía entre 3 y 6 para el caso 1. Nuestro enfoque ha llegado a una solución satisfactoria en menos generaciones que mediante García-Hernández et al. (2013) en las tres repeticiones.

En la Tabla 2, se representa la diversidad de las soluciones obtenidas por los diferentes algoritmos. En este caso, el valor de los resultados mostrado en esta tabla corresponde con el número de individuos representativos idénticos mostrados al DM en una misma iteración, cuantificando la diversidad de las soluciones que se están generando.

Como se muestra en la Tabla 2, nuestro enfoque generó una mayor diversidad de individuos representativos que los obtenidos por García-Hernández et al. (2013) en todas las repeticiones. Ya que este último, genera un máximo de 5 elementos repetidos por generación durante todas las ejecuciones, y nuestro enfoque ha generado un máximo de 2 elementos repetidos.

Tabla 2: Comparativa de la diversidad de las soluciones de las plantas generadas

	IGA			Niching (DC)			Niching (RTS)		
G.I.	**Gen.**	**Av.**	**Std. Dev.**	**Gen.**	**Av.**	**Std. Dev.**	**Gen.**	**Av.**	**Std. Dev.**
1	3 4 4	3.66	0.57	1 1 0	**0.66**	0.57	2 1 0	1	1
2	4 5 4	4.33	0.57	0 1 0	**0.33**	0.57	2 0 0	0.66	1.15
3	5 3 4	4	1	0 0 0	**0**	0	0 0 1	0.33	0.57

5. Conclusiones.

Este estudio presenta un nuevo algoritmo evolutivo híbrido para el problema de distribución en planta de instalaciones de área desigual. Utilizando el enfoque sugerido, es posible incluir las preferencias del diseñador en el proceso de diseño por medio de un algoritmo genético interactivo. El conocimiento del experto guía el proceso de búsqueda hacia sus preferencias sin necesidad de especificarla al comienzo del proceso.

Debido a que la intervención de los diseñadores es esencial para la evolución adecuada del algoritmo, la selección de soluciones que se le mostrará durante cada iteración es crucial para el éxito del algoritmo. El conjunto de soluciones debe ser representativa de la población, y sus componentes debe ser lo suficientemente diferente de uno a otro para evitar que el diseñador de tener que evaluar soluciones similares o idénticos en el mismo paso del algoritmo. Nuestro enfoque híbrido incluye una combinación de un algoritmo genético interactivo con dos métodos diferentes de niching para preservar la diversidad de soluciones.

El análisis empírico muestra que el enfoque propuesto es capaz de ofrecer diseños de instalaciones que satisfacen las preferencias del diseñador y preservan la diversidad de soluciones durante todo el proceso de diseño. Los resultados experimentales muestran que el método proporciona soluciones satisfactorias que no se repiten y es más rápido que el enfoque con el que ha sido comparado. Además, el nuevo enfoque produce menos fatiga y reduce la sobrecarga del diseñador. Así, el nuevo enfoque híbrido mejora los resultados que se obtienen por el método anterior.

Incorporar el conocimiento experto aumenta la calidad y aplicabilidad de los diseños de las soluciones que se obtienen sólo mediante la optimización matemática, ya que permite tener en cuenta las preferencias cualitativas del diseñador, lo cual es imposible en otros enfoques. Sin embargo, el método adolece de requerir la participación continua del diseñador en la

evaluación de soluciones durante el proceso, por lo que encontrar una manera de acortar el proceso sería beneficioso. Además, acortando el proceso computacional permitiría al diseñador para incorporar requisitos cualitativos más complejos, lo que aumentaría las posibles aplicaciones del método.

En el futuro, podría ser interesante utilizar más de un diseñador en el enfoque. Esto podría enriquecer los diseños de plantas mediante la incorporación de los conocimientos y la experiencia de varios expertos humanos. Además, para ayudar al diseñador en el proceso de evaluación, un enfoque que incluya un sistema de aprendizaje en el algoritmo también se podría investigar.

6. Bibliografía.

Aiello, G., Enea, M., & Galante, G. (2006). A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and electre method. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 22, 447–455.

Aiello, G., Scalia, G. L., & Enea, M. (2012). A multi objective genetic algorithm for the facility layout problem based upon slicing structure encoding. Expert Systems with Applications, 39(12), 10352–10358.

Aiello, G., Scalia, G. L., & Enea, M. (2013). A non dominated ranking multi objective genetic algorithm and electre method for unequal area facility layout problems. Expert Systems with Applications, 40(12), 4812–4819.

Armour, G. C., & Buffa, E. S. (1963). A heuristic algorithm and simulation approach to relative location of facilities. Management Science, 9, 294–309.

Babbar-Sebens, M., & Minsker, B. S. (2012). Interactive genetic algorithm with mixed initiative interaction for multi-criteria ground water monitoring design. Applied Soft Computing, 12(1), 182–195.

Bezdek, J. C., Ehrlich, R., & Full, W. (1984). Fcm: The fuzzy c-means clustering algorithm. Computers and Geosciences, 10, 192–203.

Brintup, A. M., Ramsden, J., & Tiwari, A. (2007). An interactive genetic algorithm-based framework for handling qualitative criteria in design optimization. Computers in Industry, 58, 279–291.

Brintup, A. M., Takagi, H., Tiwari, A., & Ramsden, J. (2006). Evaluation of sequential, multi-objective, and parallel interactive genetic algorithms for multi-objective optimization problems. Journal of Biological Physics and Chemistry, 6, 137–146.

De Jong, K. A. (1975). An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems (Ph.D. thesis), University of Michigan, Ann Arbor: University Microfilms No. 76-9381.

Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. Annual Reviews in Control, 31(2), 255–267.

García-Hernández, L., Arauzo-Azofra, A., Salas-Morera, L., Pierreval, H., & Corchado, E. (2013). Recycling plants layout design by means of an interactive genetic algorithm. Intelligent Automation and Soft Computing, 19(3), 457–468.

García-Hernández, L., Arauzo-Azofra, A., Pierreval, H., & Salas-Morera, L. (2009). Encoding structures and operators used in facility layout problems with genetic algorithms. In: Intelligent Systems Design and Applications, 2009. ISDA ’09. Ninth International Conference on, (pp. 43–48).

García-Hernández, L., Pierreval, H., Salas-Morera, L., & Arauzo-Azofra, A. (2013). Handling

qualitative aspects in unequal area facility layout problem: An interactive genetic algorithm. Applied Soft Computing, 13(4), 1718–1727.

Goldberg, D. E. (1989). Genetic algorithms in Search, optimization, and machine learning. Adisson-Wesley Professional.

Heragu, S. S., & Kusiak, A. (1991). Efficient models for the facility layout problem. European Journal of Operational Research, 53(1), 1–13.

Harik, G. R. (1995). Finding multimodal solutions using restricted tournament selection. In L. J. Eshelman (Ed.), ICGA (pp. 24–31). Morgan Kaufmann.

Izadinia, N., Eshghi, K., & Salmani, M. H. (2014). A robust model for multi-floor layout problem. Computers & Industrial Engineering, 78(0), 127–134.

Kim, J. Y., & Kim, Y. D. (1995). Graph theoretic heuristics for unequal-sized facility layout problems. Omega, 23(4), 391–401.

Komarudin & Wong, K. Y. (2010). Applying ant system for solving unequal area facility layout problems. European Journal of Operational Research, 202(3), 730–746.

Kusiak, A., & Heragu, S. S. (1987). The facility layout problem. European Journal of Operational Research, 29(3), 229–251.

Mahfoud, S. W. (1992). Crowding and preselection revisited. Parallel Problem Solving from Nature, 27–36.

Mahfoud, S.W. (1995). Niching Methods for Genetic Algorithms (Ph.D. thesis), Urbana, IL, USA: University of Illinois at Urbana-Champaign.

McKendall, A. R., Jr., & Jaramillo, J. R. (2006). A tabu search heuristic for the dynamic space allocation problem. Computers and Operations Research, 33(3), 768–789.

Michalewicz, Z., Dasgupta, D., Riche, R. G. L., & Schoenauer, M. (1996). Evolutionary algorithms for constrained engineering problems. Evolutionary Computation, 4, 1–32.

Sadrzadeh, A. (2012). A genetic algorithm with the heuristic procedure to solve the multi-line layout problem. Computers and Industrial Engineering, 62(4), 1055–1064.

Sahin, R., Ertog ral, K., & Türkbey, O. (2010). A simulated annealing heuristic for the dynamic layout problem with budget constraint. Computers and Industrial Engineering, 59(2), 308–313.

Scholz, D., Petrick, A., & Domschke, W. (2009). Stats: A slicing tree and tabu search based heuristic for the unequal area facility layout problem. European Journal of Operational Research, 197(1), 166–178.

Singh, S., & Sharma, R. (2006). A review of different approaches to the facility layout problems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 30, 425–433.

Solimanpur, M., & Jafari, A. (2008). Optimal solution for the two-dimensional facility layout problem using a branch-and-bound algorithm. Computers and Industrial Engineering, 55(3), 606–619.

Starkweather, T., Mcdaniel, S., Whitley, D., Mathias, K., Whitley, D., & Dept, M. E. (1991). A comparison of genetic sequencing operators. In Proceedings of the fourth international conference on genetic algorithms (pp. 69–76). Morgan Kaufmann.

Tompkins, J., White, J., Bozer, Y., & Tanchoco, J. (2010). Facilities planning (4rd ed. edition). New York: Wiley.

Tong, X. (1991). SECOT: A Sequential Construction Technique For Facility Design. Doctoral

Dissertation, University of Pittsburg.

Yu, E., & Suganthan, P. (2010). Ensemble of niching algorithms. Information Sciences, 180(15), 2815–2833.

03-017

CHARACTERIZATION OF REMANUFACTURING IN THE CONTEXT OF THE NORTHERN BORDER OF MEXICO

Salazar Ruiz, Enriqueta [1]; Capuz Rizo, Salvador F. [2]; Arredondo Soto, Karina Cecilia [3]; de Reza de la Cruz, Sylvia [1]; Mier Luna, Irma [1]

[1] Instituto Tecnológico de Mexicali, [2] Universitat Politècnica de València, [3] Universidad Autonóma de Baja California

This paper touches fundamental aspects of remanufacturing and their structure in global context as "end of life" strategy that contributes economically and to Sustainable Development by the recovery of virtually discarded products; although it should not neglect that recovery processes are not necessarily favorable to the environment.Particularly is analyzed the context of Mexicali, Baja; California. Factories and products that are currently doing remanufacturing in the region were documented, as well its problems and its benefits. Also descriptive issues arising of local remanufacturing industries, without neglecting the comparative characterization of the huge remanufacturing in factories maquiladoras in the northern border of Mexico.

Keywords: *Remanufacturing; Sustainable Development; Mexico northern border*

CARACTERIZACIÓN DE LA REMANUFACTURA EN EL CONTEXTO DE LA FRONTERA NORTE DE MÉXICO

Este trabajo toca aspectos fundamentales de la Remanufactura y su estructura en contexto global como estrategia de fin de vida que contribuye económicamente y al desarrollo sustentable por la recuperación de productos prácticamente desechados, aunque no se debe descuidar que los procesos de recuperación no son necesariamente favorables al medioambiente. Particularmente se analiza el contexto de Mexicali, Baja California. Se documentaron empresas y productos que actualmente se están remanufacturando en la región, sus problemáticas y sus bondades. Así mismo se plantean aspectos descriptivos de industrias de remanufactura locales, sin dejar de lado la caracterización comparativa con las enormes maquiladoras remanufacturadoras existentes en la frontera norte de México.

Palabras clave: *Remanufactura; Desarrollo Sustentable; Frontera Norte de México*

Correspondencia: Enriqueta Salazar Ruíz esalazar@itmexicali.edu.mx

1. Introducción

La Remanufactura es una actividad que existe desde el hombre tuvo necesidad de fabricar herramientas y distintos utensilios que apoyaban a su supervivencia y bienestar. La industrialización masiva que abarató los productos y el desarrollo económico vertiginoso, con sus estrategias mercadológicas de consumismo promovieron compras indiscriminadas por el grueso de la población mundial con consecuencias ambientales negativas en todas sus aristas llegando a verse amenazadas la propia sobrevivencia. Actualmente se hacen esfuerzos por revertir o bien no incrementar daños en nuestro entorno y asegurar de alguna manera el continuo desarrollo con un nuevo reto: la sustentabilidad.

Cada vez en más países se crean y fortalecen entidades gubernamentales y no gubernamentales con mística de protección ambiental. Los gobiernos establecen nuevas regulaciones y promueven programas que incentiven a las empresas a realizar mejoras en todas sus actividades con el ingrediente de protección medioambiental.

Actualmente la remanufactura y su estructura en contexto global es considerada como una importante estrategia de recuperación de Fin de Vida que contribuye al desarrollo sustentable por la recuperación de productos prácticamente desechados, pero también al desarrollo económico pues los productos originales descartados por los clientes finales promueven nuevas industrias exitosas que los vuelven a condiciones de nuevo para su re-comercialización y uso.

En el trabajo de Gungor & Gupta (1999) y Ilgin & SM Gupta (2010) se describe el denominado *Environmental Conscious Manufacturing and Product Recovery* (ECMPRO), se afirma que el rápido agotamiento de los recursos naturales, la generación cada vez mayor de residuos y basura, tanto sólidos como contaminación del aire y el agua, hacen mandatorio que las empresas a trabajen en dos objetivos fundamentales: crear productos amigables ambientalmente y desarrollar técnicas de recuperación de productos y gestión de residuos. Por lo que en el marco de ECMPRO se incluyen las actividades de diseño, fabricación, uso y recuperación como en el ciclo de vida del producto, pero desde una perspectiva más amplia.

Falta mucho por lograr la sustentabilidad y eliminar daños medioambientales de manera global. Hay países que aún no tiene ningún tipo de política de protección medioambiental y otros dan pasos tímidos estableciendo regulaciones que escasamente vigilan su aplicación y/o no incentivan a hacer inversiones sustentables.

Uno de los aspectos relevantes observados en las visitas industriales a empresas remanufacturadoras dentro de éste proyecto, fue detectar que actualmente están operando industrias de remanufactura cuyos procesos de recuperación y re-fabricación no son necesariamente favorables al medioambiente. No se debe dejar de lado que también se debe buscar la sustentabilidad de los mismos procesos de remanufactura.

Tomando en cuenta el fenómeno de maquiladoras a lo largo de la frontera con Estados Unidos, éste trabajo se enfoca a ofrecer una fotografía de México en relación a la información existente de las industrias de remanufactura y su situación desde distintos puntos de vista en la frontera norte del país.

2. Antecedentes

Cuando los productos manufacturados son descartados por el usuario, han llegado a su Fin de Vida o EoL por sus siglas en inglés de “End of Life”; (King et al; 2006).

Con el fin aprovechar productos descartados y extender su vida útil se realizan estrategias de recuperación llamadas “Estrategias de Fin de Vida” o “Estrategias EoL” como:

a. Reciclaje
b. Canibalización
c. Reuso,
d. Reparación,
e. Restauración (reacondicionar)
f. Remanufactura

Sabemos que la remanufactura presenta importantes afinidades con el Desarrollo Sustentable ya que reduce el costo de manufactura al mismo tiempo que disminuye el impacto ambiental debido a su participación en la reducción de recursos de consumo y desperdicio.

Pero, tampoco hay que perder de vista que la remanufactura no puede ser aplicada a cualquier producto ni a cualquier industria por que intervienen factores distintos a las otras estrategias EoL, incluso factores distintos a la fabricación de productos nuevos.

El Instituto de Remanufactura, de Estados Unidos (TRI, 2014) considera que un producto ha sido remanufacturado si y sólo si:

1) Sus componentes provienen de un producto usado;
2) El producto usado es desmantelado para determinar las condiciones de sus componentes;
3) Los componentes son limpiados y liberados de óxido y corrosión;
4) Las partes defectuosas, rotas o desgastadas son restauradas, reparadas o remplazadas;
5) Se realiza cualquier proceso necesario para que componentes queden en condiciones aptas para el trabajo;
6) El producto es reensamblado y se inspecciona para asegurar que funcione como uno nuevo.

Por su parte Ijomah (2002) define la remanufactura como el proceso de retorno de un producto usado a una condición igual a la de uno nuevo, incluyendo la garantía. Un proceso simplista de la remanufactura debe incluir: clasificación, inspección, desensamble, limpieza, reproceso y reensamblaje.

Las partes que no pueden ser utilizadas en su forma original son reemplazadas por nuevas, siendo el producto final una mezcla de componentes nuevos y usados (Ijomah et al; 2007). Los pasos a seguir en el proceso de remanufactura pueden variar dependiendo del tipo de producto a ser remanufacturado (Junkun et al; 2008).

Aun en la actualidad se presentan prejuicios y variables que pueden afectar a artículos que han sido remanufacturados:

a) Se percibe incertidumbre por el cliente en el producto remanufacturado: Todavía es común que el cliente asocie un menor costo del producto remanufacturado con una menor calidad, aunque éste sea remanufacturado con estándares iguales o más estrictos que los de un producto nuevo.

b) Se debe tener un especial cuidado en el análisis de la oferta y la demanda. Esta puede ser muy variable, sobre todo si tomamos en cuenta fenómenos como el avance tecnológico y el consumismo o las modas. Por lo que rápidamente el producto origina puede ser obsoleto y consecuentemente el producto remanufacturado tendrá dificultades tanto para producirse por falta de “cores”o partes para remanufacturar, como para comercializarlo. (Guide , V.D.R.; 2000)

c) La perspectiva de las OEMs. La percepción de los fabricantes de productos nuevos en cuanto a una posible afectación en su prestigio y/o en sus ganancias (Seitz; 2007). Es común que los productores originales no tengan un control sobre la calidad de las remanufactureras, por lo que ven amenazadas sus propias marcas cuando no hay un enlace directo entre el fabricante original y las empresas remanufactureras.

La conceptualización anterior y su aplicación en México, tiene cierta complejidad adicional por los distintos tratados internacionales, pero sobre todo en la región de la frontera norte por el manejo de la industria maquiladora.

En México, una maquiladora es una empresa de manufactura donde normalmente sus materias primas y la mayoría de los insumos requeridos son extranjeras y estas son importadas de manera temporal, las cuales deberán regresar a su país de origen en forma de producto terminado. De ahí que las maquiladoras anteriormente estaban exentas de pago de impuestos, pero que actualmente, se paga el impuesto al importar las materias primas a México y les son regresados una vez que vuelven esos materiales mediante el producto terminado a su país de origen. Por lo anterior, los productos que se elaboran en una maquiladora no es común que se queden para consumo mexicano.

Las reglas generales de comercio exterior y la fracción arancelaria aplicable de la Tarifa de la Ley General de Importación y de Exportación ofrecen beneficios para la industria maquiladora de acuerdo al llamado Decreto IMMEX, DOF (2006).

El Decreto IMMEX es un instrumento mediante el cual se permite importar temporalmente los bienes necesarios para ser utilizados en un proceso industrial o de servicios destinado a la elaboración, transformación o reparación de mercancías de procedencia extranjera importadas temporalmente para su exportación. Decreto IMMEX, DOF (2006).

Incluye los procesos de Desensamble, Recuperación de Materiales, Reacondicionamiento y Remanufactura mismos que les define a continuación :

- **a) Desensamble**: el proceso de desmantelamiento o desmontaje de un bien usado que ha perdido su vida útil, o un bien desechado u obsoleto, para transformarlo en partes o componentes individuales. Las partes o componentes recuperados resultantes de este proceso, deberán destinarse previa selección y clasificación, a procesos de reparación, reacondicionamiento o remanufactura.

- **b) Recuperación de Materiales**: el proceso de selección, clasificación, limpieza de materiales desensamblados en forma de partes o componentes que son destinados a procesos de reparación, reacondicionamiento o remanufactura.
- **c) Reacondicionamiento**: el proceso de reparación, restauración, renovación, limpieza, mantenimiento, ajuste, reprogramación u otro que restablezca el correcto funcionamiento y apariencia de una parte o bien.
- **d) Remanufactura**: El proceso de manufactura o ensamble de bienes compuestos integra o parcialmente de materiales desensamblados, recuperados, o reacondicionados, como una forma de darle una nueva vida útil. Los productos remanufacturados deben cumplir con las mismas expectativas de rendimiento de los productos nuevos.

En la frontera norte de México están agrupados seis estados, los cuales colindan con Estados Unidos. De izquierda a derecha de la Figura al inicio, junto al océano Pacífico, está el estado de Baja California, seguido por los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila de Zaragoza, Nuevo León y Tamaulipas ya colindante con el Golfo de México.

Figura 1. Mapa de México destacando los estados de la frontera norte en color verde.

Fuente: Instituto Nacional de Geografía e Informática. http://www.inegi.org.mx/i

3. Metodología

Se tomó en cuenta los conceptos de instancias oficiales gubernamentales como INEGI, IMMEX para plantear la información desde la perspectiva mexicana y especialmente de la franja de la frontera norte, ya que la mayoría de las empresas son inversiones de capital extranjero, principalmente de Estados Unidos. Esas inversiones extranjeras, son devueltas a su país de origen una vez pasadas como materia prima por el proceso de "maquila" regresando ya en forma de productos terminados o subproductos.

Se siguen como mandatorios los conceptos descritos en el documento: *"Conceptos y precisiones metodológicas para el llenado del cuestionario mensual para establecimientos*

manufactureros" publicado en 2010 por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) como base durante en el estudio, comprensión y obtención de resultados y conclusiones de la investigación.

En ese documento se plantea que la remanufactura en sentido estricto es una *modalidad de la maquila*; y se refiere a la adición, complementación o modificación de un componente, a un producto previamente manufacturado.

Ejemplo: el intercambio de carátulas en los teléfonos celulares por los cambios en la moda, temporada o relanzamiento del mismo producto para diferentes tipos de consumidores.

Dónde se muestran datos respecto a submaquila se le debe considerar como los trabajos que son realizados mediante la subcontratación de un tercero en las actividades de maquila,

Por ejemplo: el fabricante de pantalones, recibe tela e hilos para producir pantalones de dama, sin embargo, se encuentra con una fuerte carga de trabajo, por lo que decide realizar el corte de la tela, armar los pantalones y contratar a un tercero para que efectúe el pegado de botones y cierres, así como el dobladillado de los pantalones; de esta forma quien hace el acabado de los pantalones, realiza actividades de submaquila para el maquilador de la prenda.

Uno de los indicadores que se exponen en el apartado de Resultados son los "Ingresos por maquila, submaquila y remanufactura". Estos son los ingresos obtenidos por la fabricación, ensamble u otro tipo de transformación de las materias primas propiedad de terceros. Estos ingresos incluyen los costos de producción (mano de obra, desgaste de activos, insumos nacionales propiedad de la unidad económica, etcétera) más los costos administrativos y el margen de operación o utilidad obtenida por el establecimiento.

Se solicitaron entrevistas y visitas industriales a empresas de remanufactura de la localidad con el objetivo de conocer directamente los procesos de remanufactura, ver lo que se esta remanufacturando y escuchar directamente de los expertos en productos remanufacturados sus opiniones y conocimientos al respecto.

También fue de gran importancia la búsqueda de artículos o notas de prensa dónde dan a conocer los planes y decisiones de inversión, expansión y/o desarrollo de nuevas empresas de remanufactura. Se consideraron notas de divulgación de información de instancias gubernamentales como la Secretaría de Desarrollo Económico, Subsecretarías, Secretaría de Economía, entre otras.

La información recopilada, ya procesada y enfocada a las características de la remanufactura de la frontera norte de México es la que se presenta como resultado en éste documento.

4. Resultados

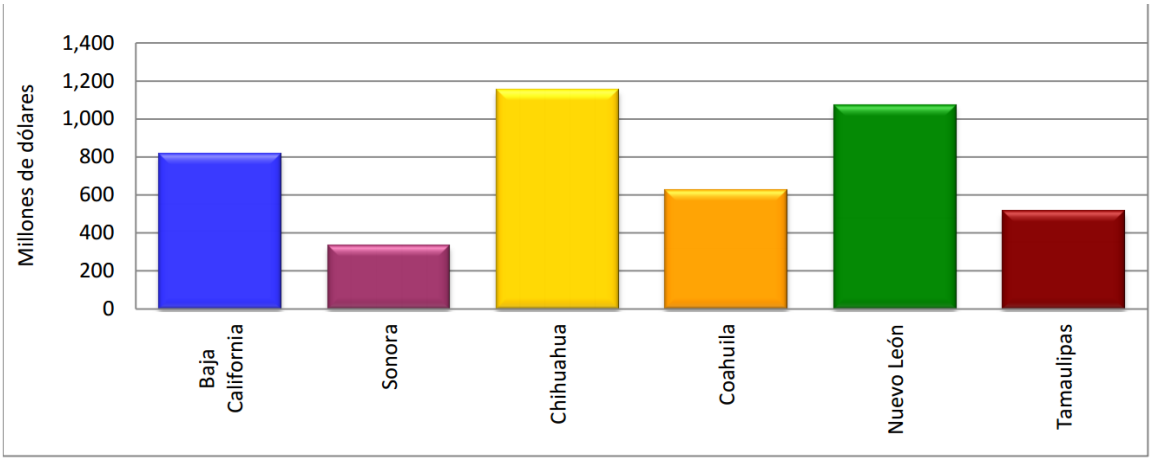
Este estudio toma en cuenta fundamentalmente el fenómeno industrial maquilador en la frontera norte de México, que como ya se mencionó, la forman seis estados de la república con vecindad con Estados Unidos: Baja Califonia, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.

La frontera norte se caracteriza por su dinamismo industrial debido principalmente a su vecindad estratégica con Estados Unidos. La economía en esa franja fronteriza tiene como pilar más importante el gran numero de maquiladoras, las cuales son esencialmente empresas de capital extranjero que importan sus materias primas de manera temporal para después regresar a su país de origen como productos terminados o semi-terminados.

Por lo anterior es relevante comentar la reciente la puesta en marcha del Decreto para el fomento de la Industria Manufacturera Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX, 01 de noviembre de 2006; publicada en el Diario Oficial de la Federación) donde se integran los programas correspondientes al fomento y Operación de la Industria Maquiladora de Exportación y al de Importación Temporal para Producir artículos de exportación denominado PITEX. Ahí se establecen las bases de operación de la manufactura e incluyen también las bases regulatorias de lo que consideran remanufactura de productos. (DOF, 2006; http://sc.inegi.org.mx/cobdem/consulta-por-ageo.jsp?recargar=true)

En 2014, la Secretaría de Desarrollo Económico de México divulga montos aproximados de Inversión extranjera directa en las entidades de la frontera norte (Figura 3) . Montos que dejan ver el perfil del dinamismo económico de la región. Dicha inversión extranjera sobrepasa los mil millones de dólares en los estados de Chihuahua y Nuevo León, seguida de Baja California con 800 mil millones de dólares invertidos principalmente en los municipios de Tijuana y Mexicali. En escala descendente seguirían las inversiones extranjeras en los estados de Coahuila de Zaragoza, Tamaulipas y Sonora.

Figura 2. Inversión extranjera directa en las entidades de la frontera norte, 2014



Fuente: Secretaría de desarrollo económico SEDECO., 2014

4.1 Industrias remanufactureras establecidas en la frontera norte.

Existe cierto hermetismo en el ámbito de la industria remanufacturera. Después de búsquedas de información en dependencias oficiales, de indagatorias en parques industriales y entrevistas a empleados de algunas de éstas empresas, descubrimos que consideran que no es beneficioso para la mayoría de ellas debido a demandas legales en

curso y/o posibles futuras demandas legales de las empresas Manufacturadoras de Equipos Originales (OEM's por sus siglas en ingles).

Por lo anterior, no fue posible tener acceso a un padrón oficial o datos estadísticos formales del número de industrias dedicadas exclusivamente a la remanufactura. Pero en Junio, 19 – 2012 la Secretaría de Desarrollo y Turismo del Estado de Tamaulipas publica una nota en la página web: http://sedet.tamaulipas.gob.mx/programas-en-la-sedet/tamaulipas-impulsa-inversion/remanufactura/ dónde informa que a lo largo de la franja fronteriza norte de México están establecidas alrededor de 11 industrias de remanufactura del sector eléctrico y electrónico y 6 empresas remanufactureras del ramo automotriz, las cuales ofrecen un promedio de 6, 500 empleos directos.

En esa mismo documento informativo, se señala que el giro principal es el de remanufactura, reconstrucción y reparación de aparatos eléctricos, cableados automotrices, electrónicos, computadoras de escritorio, laptops, componentes de teléfonos celulares, blu ray, ruteadores, antenas satelitales, cámaras fotográficas, inversores de corriente, direcciones hidráulicas, alternadores, motores e inyectores, suspensiones, marchas y alternadores, convertidores catalíticos, entre otros.

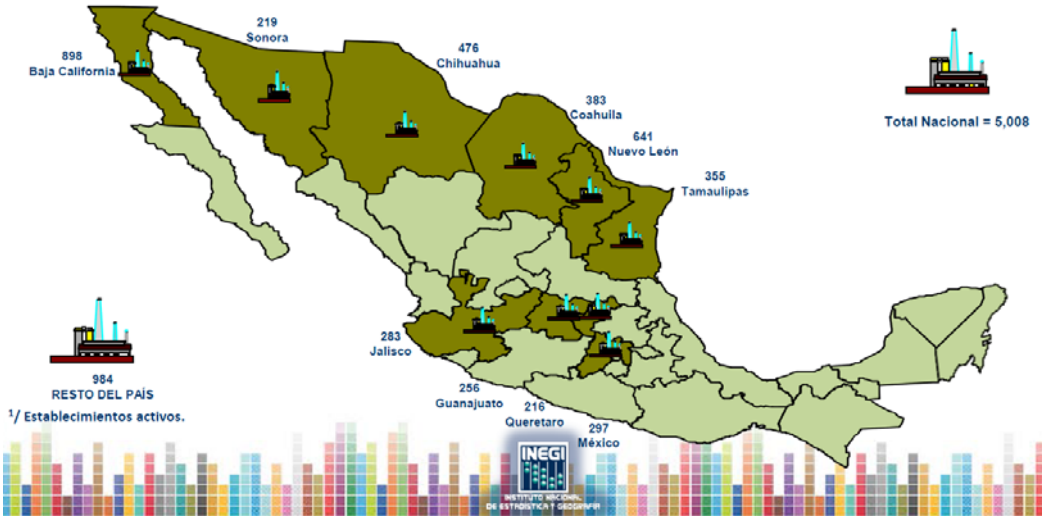
Ya en diciembre de 2010, la subsecretaría de Promoción de Mexicali (ciudad fronteriza del Estado de Baja California) y su valle dependiente de la Secretaría de Desarrollo Económico había dado un panorama de fuerte crecimiento de la remanufactura de teléfonos celulares, computadoras personales, lap top´s, cámaras fotográficas y de video. (https://matchmxl.wordpress.com/2010/12/20/esperan-mayor-inversion-en-2011/).

En esa misma publicación. Se afirma que en Baja California, más de 6 mil 500 empleados se dedicarán a la remanufactura de aparatos electrónicos.

4.2 Datos de IMMEX e INEGI

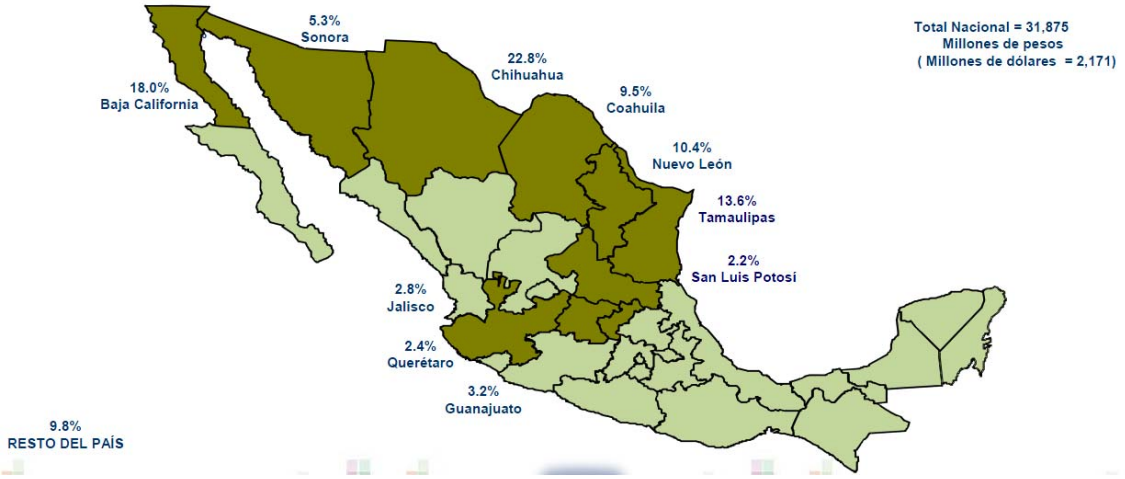
Los datos estadísticos oficiales dados a conocer por la Industria Manufacturera Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX) y acopiados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía; INEGI, no hacen diferencia entre la industria de manufactura y de remanufactura ya que consideran a ambas como maquiladoras, por lo que muestra en un solo número la suma de ambos tipos de manufactura en la región. Figura 3.

Figura 3. Número Promedio de establecimientos Manufactureros, Enero 2015



Fuente: INEGI, enero 2015.

Figura 4. Ingresos por Maquila, Submaquila y Remanufactura del Mercado Extranjero, 2015

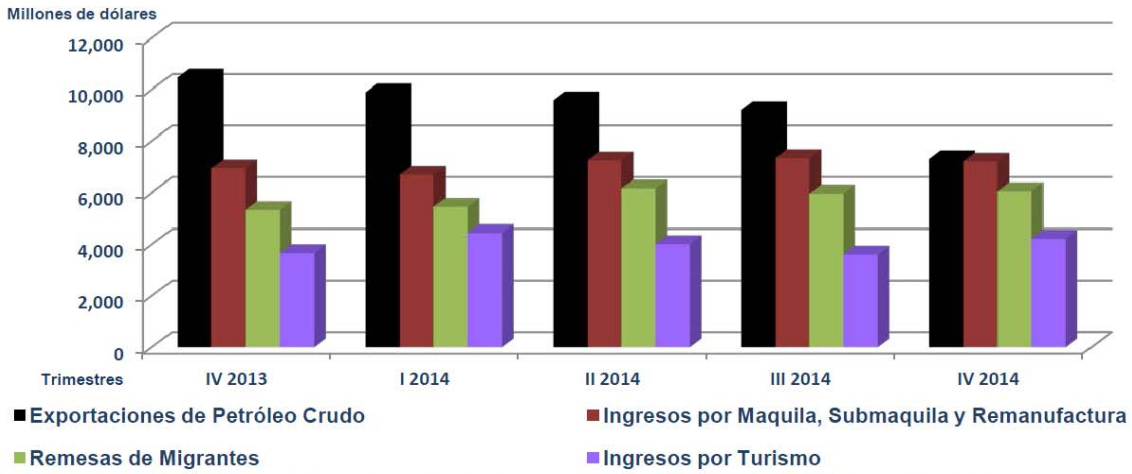


Fuente: INEGI, enero 2015.

Nota: No fue posible obtener información de manera desglosada, ya que el censo desarrollado por INEGI no lo contempla por separado

Aún así, los datos de la Figura 4 son un buen indicador de la dinámica económica de la frontera norte donde un gran número de esas maquiladoras, están remanufacturando. Baja California se destaca por el mayor número de industrias de manufactura activas (898 en enero de 2015), seguido de Nuevo León con 641 empresas manufactureras, Chihuahua con 476 industrias de manufactura, Coahuila con 383 industrias, Tamaulipas 355 y con 219 industrias manufactureras el estado de Sonora. Es destacable también establecer como indicador de la presencia de la remanufactura en la región de la frontera norte de México, el monto de los ingresos más recientes registrados y publicados por INEGI (enero 2015) por la industria maquiladora, submaquila y remanufactura juntas, por las inversiones extranjeras.

Figura 5 Resultados Comparativos de acuerdo a Ingresos por Maquila, Submaquila y Remanufactura de IMMEX provenientes del extranjero, Exportaciones Petroleras, Remesas y Divisas por Turismo, 2013-2014.



Fuente: Elaborada a partir de la Estadística Mensual del Programa IMMEX y de las cifras trimestrales de la Balanza de Pagos calculada por el Banco de México

El estudio muestra también resultados comparativos de ingresos por indicadores económicos como Ingresos por Exportación de Petróleo crudo, ingreso por Remesas de dinero que migrantes laborando en Estados Unidos envían a México, ingresos por turismo, y finalmente ingresos por maquila, submaquila y remanufactura para tener el medio comparativo de la importancia en nuestro país de cada uno de los distintos indicadores ingresos económicos, pero en especial por ingresos extranjeros para la maquila, submaquila y remanufactura.

4.3 Publicaciones noticiosas relacionadas con la remanufactura en la frontera

4.3.1 Sector Automotriz. Clúster clave para la remanufactura de autopartes

En la nota http://elempresario.mx/actualidad/industria-electronica-mayor-relevancia-economica-tijuana (18 abril 2013) destaca el sector automotriz cómo un Clúster clave para Baja California y con las recientes inversiones extranjeras dadas a conocer en ese ramo, se puede afirmar que es un clúster clave para todo el país tanto para la manufactura de autos, como para la remanufactura de autopartes .

En 2013, el clúster lo conforman 82 empresas de Baja California, 51 de éstas establecidas en la ciudad de Tijuana, 20 en Mexicali, 5 en Ensenada, 5 en Tecate y 1 en Rosarito, mismas que dan empleo a más de 30,000 personas. Dentro de sus actividades se encuentra la fabricación de cables y arneses, partes plásticas para los carros, bocinas, vidrios, piezas metálicas de precisión, tapicería, rines, cajas de plástico y de metal para pick ups, cintos de seguridad, bolsas de aire, componentes electrónicos, entre otros.

Asimismo, se cuenta con la remanufacturación de alternadores, arrancadores, computadoras para carros, motores y transmisiones. Sus principales mercados son Estados Unidos, Canadá y México.

4.3.2 Invierten en Motor Parts of America (MPA)

MPA es una empresa de remanufactura establecida en el municipio de Tijuana, en Baja California. Información de la Secretaría de Desarrollo Económico (SEDECO) afirma que la empresa invertirá 25 millones de dólares en la ciudad de Tijuana para la ampliación de sus operaciones en este 2015, lo que generará 500 empleos.

Indican que se trata de un proyecto de ampliación en el que la empresa expandirá operaciones de remanufactura de alternadores y generadores para la industria automotriz

MPA opera en dos naves industriales, con un área total techada de 300 pies cuadrados, donde da empleo a 2,000 personas hoy en día.

En el 2014, la empresa reconstruyó 5 millones de unidades automotrices y proyecta incrementar a 6 millones este 2015, con este proyecto de ampliación. Adicionalmente, se reciben cilindros maestros y masas de ruedas (wheel hubs) de Asia, que deben inspeccionar, probar, reempaquetar y enviar a sus clientes en EU.

Fuente: http://eleconomista.com.mx/estados/2015/04/14/autopartera-ampliara-planta-tijuana

4.3.3.En 2009, Teleplan Mexicali invirtió $20.5 millones de dólares en un almacén inteligente, según la nota de http://www.biznews.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=118%3Ateleplan-baja-california&catid=45%3Atecnologia&Itemid=100

Teleplan, empresa que se dedicada a la remanufactura de productos electrónicos de las marcas internacionales IBM y HP. Tiene presencia en varios estados fronterizos como Baja California, en el municipio de Mexicali y en Tamaulipas, específicamente en el municipio de Reynosa.

5. Conclusiones

Aún falta mucho por hacer en México para obtener logros significativos en sustentabilidad mediante la estrategia de remanufactura. Las inversiones en remaufactura mexicana son básicamente talleres de reparación y las industrias de remanufactura están controladas por inversiones extranjeras.

También aun se lucha en distintos países por ir eliminando temor de comprar y usar cada vez más artículos remanufacturados.

Algunos aspectos recogidos en la investigación que valdría la pena considerar para su reflexión en contra de la Remanufactura son:

a) El valor percibido por el cliente: Aun es común que el cliente asocie un menor costo del producto remanufacturado con una menor calidad, aunque éste sea remanufacturado con estándares iguales o más estrictos que los de un producto nuevo.

b) La obsolescencia: Se debe tener un especial cuidado en el análisis de la oferta y la demanda. Esta puede ser muy variable, sobre todo si tomamos en cuenta fenómenos como el avance tecnológico Guide [21] y el consumismo o las modas.

c) La percepción de los fabricantes de productos nuevos en cuanto a una posible afectación en su prestigio y/o en sus ganancias Seitz [22]. Es común que los productores originales no tengan un control sobre la calidad de las remanufactureras, por lo que ven amenazadas sus propias marcas cuando no hay un enlace directo entre el fabricante original y las empresas remanufactureras.

En párrafos iniciales se señalo que muy posiblemente los procesos de remanufactura no son del todo sustentables, y un ejemplo es la remanufactura de piezas automotrices

Remanufactura o reconstrucción de piezas para automóvil Esta rama incluye las Pyme dedicadas a la reconstrucción de piezas de automóviles como motores, transformadores, carburadores, alternadores, arranques. El proceso de producción de esta rama incluye el lavado de piezas con agua o solventes, desoldar la pieza, proceso de sand blast,6 pulido, barnizado, reconstrucción de la pieza, pintura, lijado, entre otros.

Las industrias de esta rama generan emisiones al aire (NO_2 , Sox , COV, PST y humos de soldadura); aguas residuales con carga orgánica y partículas sólidas suspendidas descargadas a la red de alcantarillado sin previo tratamiento; y residuos peligrosos.

El cumplimiento ambiental que presentaron en materia de autorizaciones es nulo (autorización de impacto ambiental, registro de emisiones al aire, registro de aguas residuales), así como en el resto de los rubros aplicables (impacto ambiental, riesgo, emisiones a la atmósfera, ruido, residuos peligrosos y no peligrosos, y aguas residuales potencialmente contaminantes)..(De Dios et al, 2011)

7. Referencias

De Dios, D., Maribel, F., & Peña Salmón, C. Á. (2011). Identificación de perfiles ambientales en la Pyme a través de la auditoría ambiental. *Contaduría y administración*, (235), 195-215.

DOF, Diario official de la federación. Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo DCXXXVIII, No. ¡ México D.F. miércoles 01 de Noviembre de 2006. Pag. 18-20 http://www.dof.gob.mx/copias_cert.php

Guide, V.D.R., 2000. Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs. J. Oper. Manage. 4, 467-483.

Gungor, A., & Gupta, S. M. (1999). Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. *Computers & Industrial Engineering*, *36*(4), 811-853.

Ilgin, M. A., & Gupta, S. M. (2010). Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): a review of the state of the art. *Journal of environmental management*, *91*(3), 563-591.

Ijomah, W. L. (2002). A model-based definition of the generic remanufacturing business process.

Ijomah, W. L., McMahon, C. A., Hammond, G. P., & Newman, S. T. (2007). Development of design for remanufacturing guidelines to support sustainable manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, *23*(6), 712-719.

Instituto Nacional de Geografía e Informática. http://www.inegi.org.mx/i

INEGI, Instituto Nacional de Geografía e Informática , 2010 Conceptos y precisiones metodológicas para el llenado del cuestionario mensual para establecimientos manufactureros

Junkun Y. Sheng, Z. Peizhi, C. (2008). Reverse Logistics Management for remanufacturing. Wireless Communications, Networking and Mobile

King, A.M., et al. Reducing Waste: Repair, Recondition, Remanufacture or Recycle Sustainable Development. v.14, p. 257-267. 2006.

Seitz, M.A., 2007. A critical assessment of motives for product recovery: the case of engine remanufacturing. J. Clean. Prod. 11-12, 1147-1157

TRI The remanufacturing Institute. .Consultado:en Junio 02, 2014.

www.reman.org/AboutReman_main.htm.

http://sc.inegi.org.mx/cobdem/consulta-por-ageo.jsp?recargar=true)

http://sedet.tamaulipas.gob.mx/programas-en-la-sedet/tamaulipas-impulsa-inversion/remanufactura/

(https://matchmxl.wordpress.com/2010/12/20/esperan-mayor-inversion-en-2011/).

http://elempresario.mx/actualidad/industria-electronica-mayor-relevancia-economica-tijuana

http://eleconomista.com.mx/estados/2015/04/14/autopartera-ampliara-planta-tijuana

http://scielo.unam.mx/pdf/cya/n235/n235a10.pdf

http://www.biznews.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=118%3Atelepla n-baja-california&catid=45%3Atecnologia&Itemid=100

03-018

STUDY OF THE INFLUENCE OF WHITE CHEESE PACKAGING DESIGN VARIABLES IN USER'S PERCEPTION

Gil Pérez, Ignacio [1]; Rebollar Rubio, Rubén [1]; Lidón López, Iván [1]; Martín Vallejo, Javier [2] [1] Universidad de Zaragoza, [2] Universidad de Salamanca

The design of packaging is a decisive factor in the perception that users have of the product before consumption, so it's key to precisely know what is the most suitable design for the message that brands want to convey. This research aims to study the influence of the serving suggestion and colour of the label variables in user's perception of products that, by themselves, do not have high aesthetic or taste appeal. The case of white cheese was studied due to the high consumption that it has in Spain and because it is usually accompanied by other products during consumption. 247 people took part on a survey in which sensory attributes and the willingness to buy were analyzed by the presentation of 8 different packaging proposals whose designs have been the result of combination of 5 types of serving suggestions and 4 colours of labels.The results show that serving suggestion is strongly related both with user's sensory expectations and the appropriate day time for consumption and that the colour of the label influences the perceived white cheese category.

Keywords: *White cheese; Perception; Packaging; Label; Serving suggestion*

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE DISEÑO DEL ENVASE DEL QUESO FRESCO EN LA PERCEPCIÓN DEL USUARIO

El diseño de envases supone un factor determinante en la percepción que los usuarios tienen de un producto antes de consumirlo, por lo que conviene conocer de forma precisa cuál es el diseño más adecuado para el mensaje que las marcas pretenden transmitir. Esta investigación tiene por objeto analizar la influencia de las variables sugerencia de presentación y color de la etiqueta en la percepción que el consumidor tiene de productos que, en sí mismos, no poseen un alto atractivo estético o gustativo. Se analizó el caso del queso fresco por tratarse de un producto muy consumido en España y que suele acompañarse de otros productos durante su consumo. 247 personas participaron en una encuesta en la que se analizaron aspectos sensoriales y predisposición a la compra mediante la presentación de 8 propuestas distintas de envases cuyos diseños se obtuvieron combinando 5 tipos de sugerencias de presentación y 4 colores de etiqueta. Los resultados muestran que la sugerencia de presentación está fuertemente relacionada tanto con las expectativas sensoriales del consumidor como con el momento de día adecuado para su consumo y que el color de la etiqueta influye en la categoría de queso fresco percibida.

Palabras clave: *Queso fresco; Percepción; Envase; Etiqueta; Sugerencia de presentación*

Correspondencia: Ignacio Gil Pérez inakigil@unizar.es

1. Introducción

La apariencia externa de un envase alimentario es un elemento fundamental a la hora de captar la atención de los consumidores potenciales (Silayoi & Speece, 2007) y para incentivar la compra del producto (Bloch, 1995; Tuorila & Pangborn, 1988). De hecho, el 70% de todas las decisiones de compra se toman dentro de la tienda incluso en los casos en los que la compra fue planificada con anterioridad (Inman, Winer, & Ferraro, 2013): ha quedado demostrado que el envase ya no sólo tiene por objetivos la contención y transporte del producto, sino también su promoción (Kauppinen-Räisänen, 2014).

Gracias a los múltiples estudios que muestran la influencia que tienen los elementos presentes en los envases alimentarios sobre el comprador potencial conocemos el efecto que producen en el consumidor aspectos como el material de un envase (Mutsikiwa & Marumbwa, 2013), su forma física (Rebollar et al., 2012; Becker et al., 2011) o la etiqueta y sus elementos (Charters, Lockshin & Unwin, 1999; Orth, Campana & Malkewitz, 2009). Este estudio tiene por objetivo avanzar un paso más en la comprensión de cómo dos de los elementos más frecuentes en el diseño de los envases alimentarios, la imagen del producto envasado (especialmente, cuando ésta se muestra como sugerencia de presentación) y el color del envase, influyen sobre la percepción y las expectativas del consumidor.

En los envases alimentarios se emplean habitualmente recursos que permiten que el usuario se forme una idea de cómo es el producto que hay contenido en su interior. Así, es muy habitual que éstos muestren el producto que contienen gracias a elementos o materiales transparentes o incluyan en su gráfica una o varias imágenes del mismo. De hecho, ha quedado probado que la presencia de dichas imágenes tiene un impacto sobre el consumidor: algunos estudios ayudan a comprender mejor cómo es dicho impacto analizando la influencia que la presencia de imágenes en el envase (sean del producto contenido o no) tiene en la respuesta emocional del consumidor (Liao et al., 2015), afectan a su predisposición a la compra (Bone & France, 2001) o alteran su percepción sensorial del producto (Mizutani et al., 2010).

Sin embargo, las investigaciones que han estudiado las imágenes mostradas en los envases alimentarios han solido considerarlas como si fuesen un único elemento, centrándose en su carácter emocional (Bone & France, 2001; Liao et al., 2015; Mizutani et al., 2010) o comunicativo (Underwood, Klein & Burke, 2001; Underwood & Klein, 2002; Miraballes et al., 2014). Pero en la práctica, las imágenes empleadas en los envases alimentarios suelen ser composiciones complejas en las que se representan distintos elementos, que generalmente pueden ser otros alimentos, personas o atrezzo. Hasta la fecha no tenemos constancia de que haya sido analizado el modo en que los alimentos representados junto al producto principal influyen, de forma independiente, sobre el consumidor.

En este contexto destaca el caso de las sugerencias de presentación, recurso mediante el cual el fabricante muestra el producto contenido en el envase ya listo para su consumo, presentado generalmente sobre elementos de atrezzo (habitualmente vajilla y/o cubertería) y acompañado de otros alimentos no incluidos en el envase.

La sugerencia de presentación es por tanto un recurso de diseño muy utilizado en envases alimentarios pero que cuenta con una escasa presencia en los trabajos de investigación realizados hasta la fecha. Este artículo busca cubrir el vacío detectado en este campo estudiando cómo influyen los alimentos presentes en la sugerencia de presentación de un envase alimentario y no contenidos en el mismo en las expectativas que el consumidor tiene sobre el producto principal.

Otro de los principales elementos de diseño de que consta un envase alimentario es el color. Al igual que sucede con las imágenes, el uso del color en un envase alimentario tiene un fuerte impacto sobre el observador (Rebollar et al., 2012; Ares & Deliza, 2010; Mohebbi, 2014), por lo que se sitúa como recurso prioritario en la estrategia de marketing (Singh & Satyendra, 2006; Labrecque & Milne, 2012).

Dicho impacto ha sido estudiado desde diversos ángulos, pero generalmente los estudios que hay sobre el color del packaging se orientan a comprender su influencia en las expectativas sensoriales (Gollety & Guichard, 2011; Kauppinen-Räisänen, 2014), en la experiencia del consumidor (Becker et al., 2011; Smets & Overbeeke, 1995) o incluso en las expectativas experienciales (Rebollar et al., 2012).

Comparativamente hablando, sin embargo, resulta más difícil encontrar artículos que se centren en la categorización que el consumidor hace de un producto alimentario en función del color de su envase. Muchos productos, como los lácteos, emplean en sus envases un código cromático que permite al consumidor identificar las características intrínsecas del producto (distinguiéndolo así de los demás productos similares ofrecidos por ese mismo fabricante). A pesar de ser un recurso de comunicación muy utilizado por las empresas, no existe un código cromático establecido para realizar dicha normalización, por lo que cada empresa escoge los de sus productos en función de su propio criterio.

De acuerdo con Grossman y Wisenblit (1999), el consumidor prefiere unos colores sobre otros para identificar un producto determinado porque aprende, a través de la asociación (su experiencia pasada), que algunos colores resultan adecuados para ciertas categorías de producto. Por ejemplo, Piqueras-Fiszman, Velasco y Spence (2012) sugieren que usar el color propio de una comida en un envase facilitará que el consumidor realice correctamente la asociación entre color de envase y sabor de producto.

Existe, por tanto, una carencia de estudios que permitan entender cómo pueden identificarse cromáticamente los envases alimentarios de productos que se ofrezcan con distintas características. Este artículo busca avanzar en esta dirección analizando el caso de un producto alimentario habitual.

Para lograr ambos objetivos se ha decidido analizar el caso del queso fresco, ya que según datos del Ministerio español de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, n.d.) se trata del tipo de queso más consumido en los hogares españoles y es adquirido mayoritariamente en supermercados e hipermercados (por lo que el consumidor está habituado a adquirir el producto envasado).

De entre todas las categorías de queso fresco presentes en el mercado español este estudio se centra en aquél que se obtiene a partir de leche pasteurizada (de oveja, cabra, o más generalmente vaca) y se caracteriza por ser un queso blanco y blando, de forma cilíndrica, cónica o prismática sin corteza y de textura suave con muy poca materia grasa. Es muy habitual que en su envase se muestre una sugerencia de presentación donde es representado junto con otros productos alimentarios no contenidos en el envase.

Por todo lo dicho anteriormente, este artículo tiene un doble objetivo. Por un lado, analizar la influencia que los alimentos que acompañan al queso fresco en la sugerencia de presentación mostrada en los envases de dicho producto tienen en:

- las expectativas que tiene el potencial comprador sobre los atributos del queso fresco,
- el momento del día que creen más adecuado para su consumo,
- y la predisposición a comprar el producto.

Y por otro, analizar la influencia que el color del envase de queso fresco tiene en:

- la tipología de queso fresco que el usuario cree que contiene el envase,
- y la predisposición a comprar el producto.

2. Metodología

2.1 Participantes

En esta investigación participaron 247 personas durante los meses de octubre y noviembre de 2014 de los que el 64% fueron mujeres (158) y el 36% hombres (89), siendo la edad media del grupo de 27.7 años con una desviación típica de 10.4 años. En lo que respecta al consumo de queso fresco, el 45% admitieron consumirlo de vez en cuando, el 24% en raras ocasiones, el 21% a menudo y el 10% restante declaró no consumirlo nunca.

2.2 Procedimiento

El experimento se llevó a cabo mediante una encuesta a través de un proveedor de encuestas online, SurveyMonkey®, que fue difundida a través de las redes sociales. Dicha encuesta se respondía de forma voluntaria y anónima, no existiendo un tiempo límite para la cumplimentación total o de alguna de sus partes. Durante el desarrollo de la misma se mostró a los participantes una imagen fotográfica donde se representaban las alternativas de envases de queso fresco elaboradas para la investigación y un cuestionario para evaluarlas. Todos los participantes en la encuesta vieron los mismos envases mostrados en orden aleatorio.

2.3 Estímulos

Variable sugerencia de presentación

Se diseñaron un total de cinco estímulos de sugerencia de presentación para este experimento, replicando los casos más habituales de los envases de queso fresco presentes en el mercado. Se contempló el uso de acompañamientos tanto salados (fiambre de pavo o ensalada) como dulces (fruta o membrillo), así como un caso en el que se mostró el queso fresco en solitario (sin acompañamiento).

Estos estímulos presentaban una única variable de diseño del envase: el alimento que acompaña al queso fresco en la sugerencia de presentación (acompañamiento). En todos los casos dicho alimento aparece a la izquierda del queso fresco, teniendo éste el papel protagonista de la composición, siendo el resto de variables idénticas en todos los casos. El área ocupada por el acompañamiento es siempre la misma, así como el área ocupada por el queso fresco, por lo que la relación de tamaño entre ambos elementos es siempre constante. Las cinco posibilidades de sugerencia de presentación se muestran sobre fondo de color azul para evitar interferencia entre ambas variables.

Pueden verse los cinco estímulos diseñados para la variable sugerencia de presentación en la Figura 1.

Figura 1: Estímulos diseñados para la variable sugerencia de presentación

Variable color de envase

Con respecto a la variable color se diseñaron un total de cuatro estímulos para este experimento, replicando también los casos más habituales de los envases de queso fresco presentes en el mercado: azul, rosa, verde y blanco.

En el caso de estos estímulos únicamente varía el color de fondo de la composición, siendo el resto de variables idénticas en todos los casos. Las cuatro posibilidades de color de fondo se muestran con el acompañamiento de la fruta cortada para evitar interferencia entre ambas variables.

Pueden verse los cuatro estímulos diseñados para la variable color de envase en la Figura 2.

Figura 2: Estímulos diseñados para la variable color de envase

Para el diseño formal del envase se replicó un envase real de cuatro tarrinas estuchado en una faja de cartón, por tratarse de un formato muy habitual para este producto. Para el diseño gráfico de la faja, que hace las veces de etiqueta, se respetó la ubicación y tamaño de los distintos elementos para hacerlo lo más parecido posible a los envases comerciales. Los elementos presentes en la gráfica fueron la descripción del producto (las palabras Queso Fresco), la marca ficticia (se utilizó “Torre Blanca”, creada a propósito para la investigación para evitar que los participantes pudieran inferir determinados atributos a los productos debido a la asociación con marcas reales), la información nutricional (idéntica en todos los casos), la sugerencia de presentación y la cantidad de producto contenida (idéntica en todos los casos).

Como estímulos visuales para la encuesta se emplearon unos renders fotorealistas que se realizaron utilizando el software Photoshop CS5 y Keyshot 4. Las fotografías de producto utilizadas en el diseño de los envases se realizaron en un set fotográfico habilitado para tal fin en el laboratorio empleando productos naturales como modelo.

2.4 Medidas

La encuesta se estructuró en tres bloques: preguntas de control para identificar a los participantes (edad, sexo, formación académica, consumo de queso fresco), presentación

de los envases a analizar (a través de los estímulos visuales ya descritos) y cuestionario relativo a las variables de estudio.

Dicho cuestionario evaluaba distintos factores para cada uno de los ocho envases, en función de si se trataba de un estímulo visual relativo a la variable sugerencia de presentación o relativo a la variable color. La lista de las variables en evaluación para cada caso puede verse en la Tabla 1 y la Tabla 2 respectivamente.

Variable sugerencia de presentación

Tabla 1. Lista de las variables en evaluación para los estímulos relativos a la variable sugerencia de presentación

Atributos de producto	Momentos de consumo	Predisposición
Dulce	En el desayuno	A comprarlo
Salado	En la comida	
Saludable	En la cena	
Sabor intenso	Entre horas	
	A cualquier hora	

Se pidió a los participantes que evaluaran los cuatro atributos de producto en cada uno de los ocho envases siguiendo una escala LIKERT de 1 (completamente en desacuerdo) a 7 (completamente de acuerdo) y que escogieran qué momento del día (de los cinco propuestos) consideraban más adecuado para el consumo de cada envase de queso fresco. En cada caso se dio la opción de poder dejar el cuestionario en blanco para aquellas personas que no supieran qué responder.

Para evaluar la predisposición a comprar el producto se utilizó también una escala LIKERT siendo en este caso de 1 (no lo haría bajo ningún concepto) a 7 (estaría totalmente dispuesto a hacerlo). Se indicó que en todos los casos el envase contenía la misma cantidad de queso fresco y que todos costaban lo mismo (aunque el precio no se especificó).

Variable color de envase

Tabla 2. Lista de las variables en evaluación para los estímulos relativos a la variable color de envase

Tipologías de queso fresco	Predisposición
Natural	A comprarlo
Bajo en calorías	
Bajo en sal	
Ns/Nc	

Se pidió a los participantes que escogieran qué tipología de queso de las cuatro propuestas creían que estaba contenida en el envase, mientras que para evaluar la predisposición a

comprar el producto se utilizó la misma escala LIKERT que para la variable anterior, siendo en este caso de 1 (no lo haría bajo ningún concepto) a 7 (estaría totalmente dispuesto a hacerlo). Del mismo modo, también se indicó que en todos los casos el envase contenía la misma cantidad de queso fresco y que todos costaban lo mismo (aunque el precio no se especificó).

2.5 Análisis de los Datos

Para el análisis de los datos de los atributos y la predisposición a la compra se utilizó el análisis de la varianza ANOVA. Con ello, se analizó cada atributo de uno en uno y se pudo conocer si existe una diferencia estadística significativa entre las medias de las series de los resultados obtenidos.

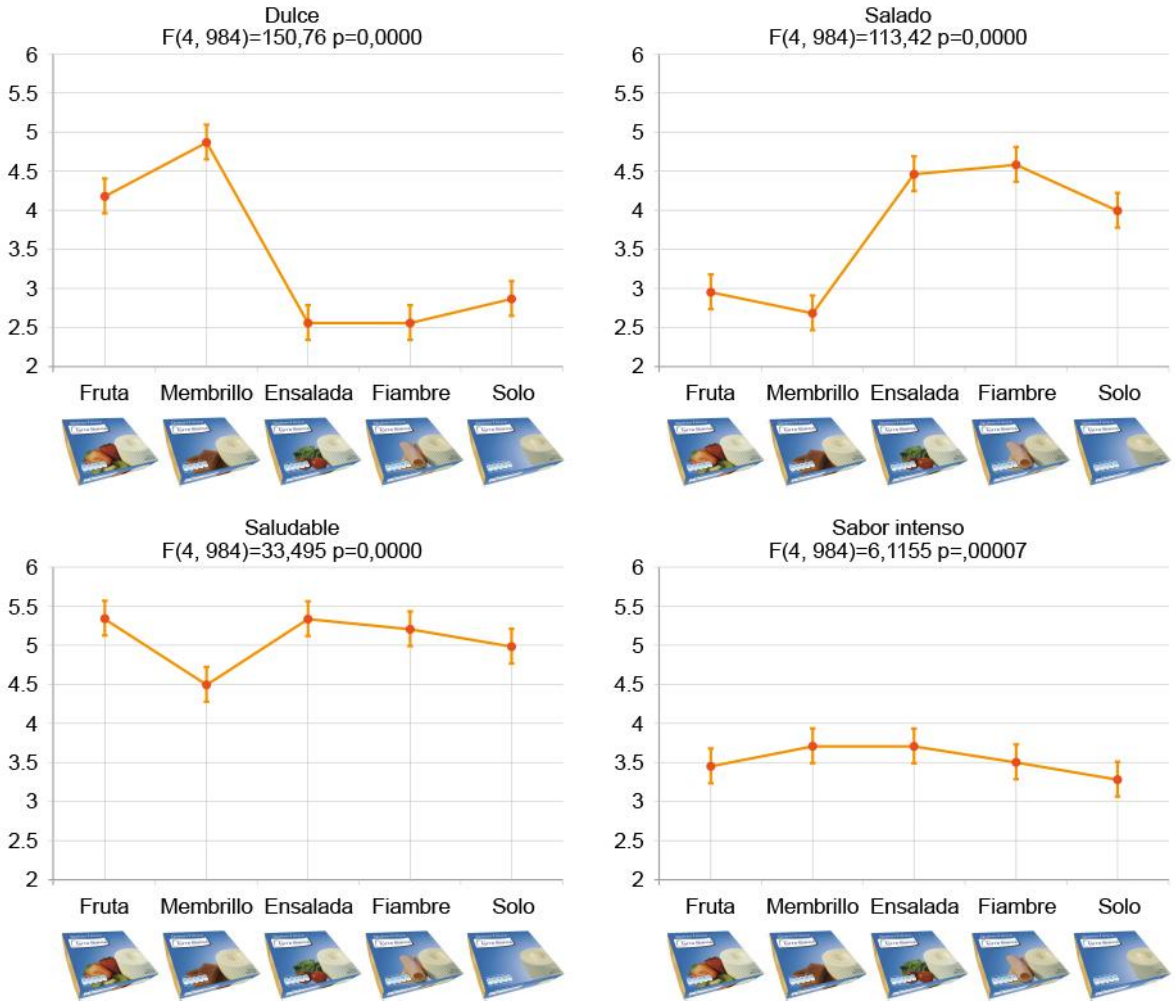
Para el análisis de los datos del momento de consumo y de la tipología de queso fresco que se cree está asociada con cada color de envase se realizó un análisis de correspondencia. Mediante la realización de una tabla de contingencia se construyó un diagrama cartesiano basado en la asociación entre las variables analizadas y donde la proximidad entre los puntos representados está relacionada con el nivel de asociación entre dichas variables.

3. Resultados

3.1 Influencia de la sugerencia de presentación en las expectativas de los atributos del producto

Los cuatro atributos de producto evaluados en función de las sugerencias de presentación presentes en el envase arrojan resultados estadísticamente significativos. A pesar de ello, los resultados indican que las distintas sugerencias de presentación tienen una mayor incidencia en las expectativas de algunos atributos que en otros, encontrándose mayores contrastes en los casos de los atributos Dulce y Salado que en los de Saludable y Sabor Intenso. Pueden verse los resultados de los análisis de varianza en la figura 3.

Figura 3: Resultados de los análisis de varianza de los distintos atributos



En el caso del atributo dulce, existe una marcada diferencia entre los casos en los que se muestran acompañamientos de fruta y membrillo con respecto a los demás, siendo el queso fresco acompañado de membrillo el que genera mayores expectativas de dulzor. El queso fresco en solitario se percibe como poco dulce y solo unas décimas por encima de la ensalada y el fiambre.

Por el contrario, en el caso del atributo salado, se aprecia una clara diferencia entre los casos de la ensalada y el fiambre y los demás, siendo éstos, al contrario que en el caso anterior, los que representan unas expectativas mayores. El caso del fiambre obtiene el valor más alto y el del membrillo el más bajo.

En el caso del atributo saludable las cinco alternativas de envase obtienen valores altos, siendo la opción del membrillo la que resulta ser más baja.

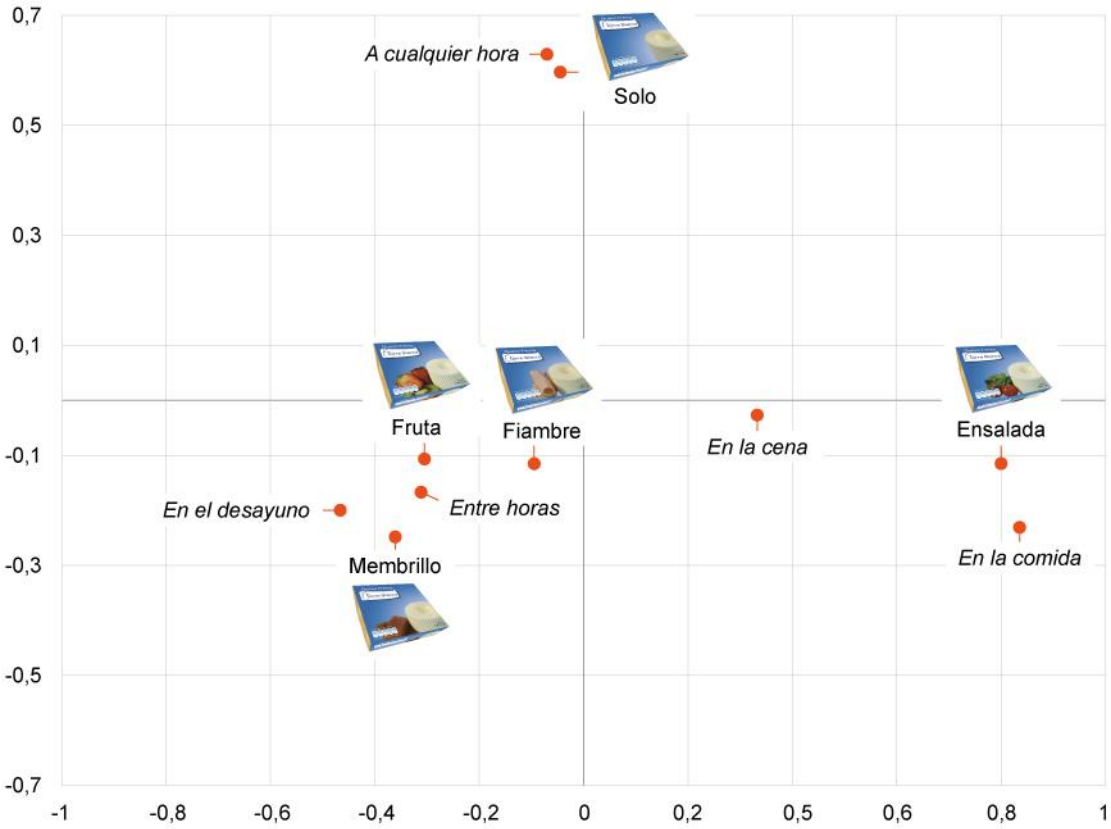
Por último, en el caso del atributo sabor intenso los casos de la ensalada y el membrillo generan mayores expectativas de intensidad en el sabor, mientras que el queso fresco en solitario se percibe como el caso más insípido.

3.2 Influencia de la sugerencia de presentación en el momento de consumo

Para el análisis de la influencia de la sugerencia de presentación en el momento del día percibido como idóneo para el consumo del producto se realizó un análisis de

correspondencia que puede verse en la Figura 4. El test chi-cuadrado de asociación resultó ser significativo (X2=345p-valor<0,0001).

Figura 4: Gráfica del análisis de correspondencia de la variable sugerencia de presentación



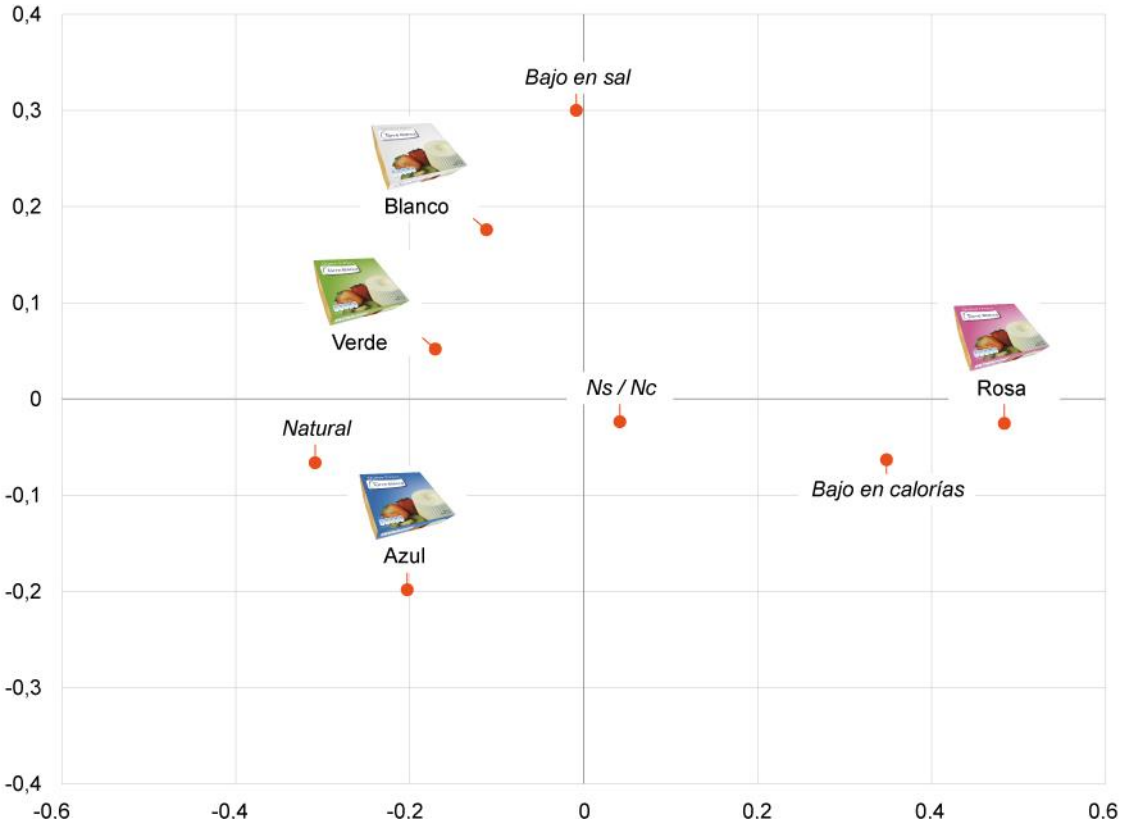
En el gráfico se aprecia que el envase que muestra el acompañamiento de ensalada presenta una fuerte vinculación con el momento de la comida, mientras que el envase en el que se muestra el queso fresco sin acompañamiento se relaciona claramente con el consumo a cualquier hora del día.

Puede apreciarse cómo las otras tres alternativas de envase, sin embargo, no presentan una relación clara con ningún momento del día determinado.

3.3 Influencia del color del envase en la expectativa de la tipología de producto

Para el análisis de la influencia del color de envase en la expectativa de la tipología de producto percibida por el consumidor se realizó un análisis de correspondencia que puede verse en la Figura 5. El test chi-cuadrado de asociación resultó ser significativo (X2=103,36; p-valor<0,0001).

Figura 5: Gráfica del análisis de correspondencia de la variable color de envase



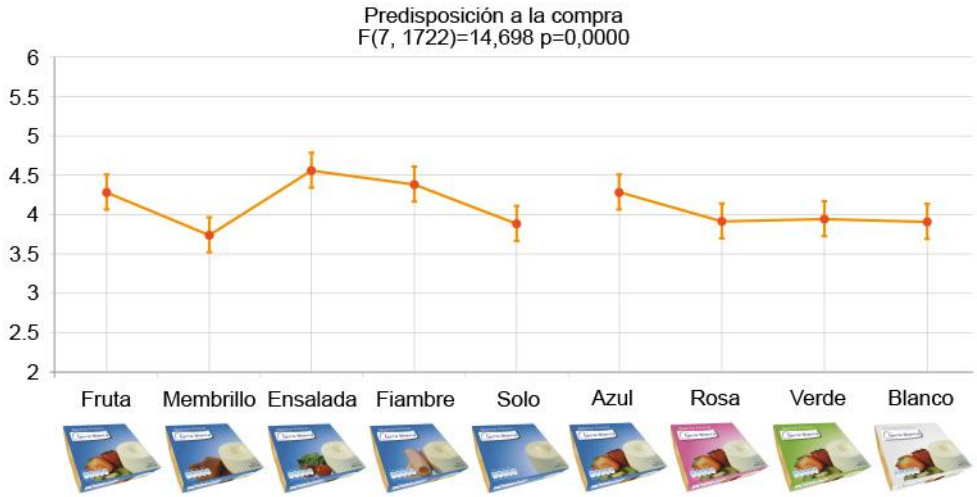
En el gráfico se aprecia una relación entre el envase de color rosa y la tipología de queso fresco bajo en calorías. No se aprecian sin embargo relaciones claras entre los otros colores de envase y las otras tipologías de queso fresco.

3.4 Influencia de la sugerencia de presentación y del color del envase en la predisposición a la compra

Los resultados obtenidos del análisis de la varianza realizado, y cuya gráfica se muestra en la Figura 6, muestran diferencias estadísticamente significativas entre los distintos casos siendo el envase de color azul con acompañamiento de ensalada el que arroja un mayor valor de predisposición a la compra con una media de 4,54. Por su parte, el caso del envase de color azul con acompañamiento de membrillo es el que menor predisposición a la compra muestra con un valor de 3.73.

En la gráfica se muestra repetido el caso del envase azul con acompañamiento de fruta por ser un estímulo común a ambos experimentos.

Figura 6: Predisposición a la compra en función del color del envase



4. Conclusiones

Los resultados muestran cómo la elección de los alimentos que acompañan al queso fresco en la sugerencia de presentación mostrada en el envase condicionan las expectativas que los consumidores generan con respecto a los atributos del queso fresco.

En los resultados se observa cómo los consumidores extrapolan los atributos propios de los alimentos usados como acompañamiento sobre el propio queso fresco. De ese modo, puede verse cómo los acompañamientos más dulces (especialmente el membrillo, el más dulce de los acompañamientos testados) modifican la percepción del queso fresco como tal del mismo modo que los acompañamientos salados generan en el consumidor la expectativa de que el propio queso fresco va a ser también salado.

Los resultados relativos a los otros dos atributos testados en el experimento, saludable y sabor intenso, muestran unas diferencias mucho más sutiles en función de la sugerencia de presentación mostrada. En el caso del atributo saludable destaca negativamente el caso del membrillo, probablemente por la asociación que se hace de éste con una dieta alta en azúcares y, por lo tanto, poco saludable, mientras que los demás casos arrojan resultados relativamente homogéneos. En el caso del atributo sabor intenso el consumidor espera que el queso fresco tenga poco sabor, por lo que todos los resultados ofrecen valores muy bajos. Sin embargo, es posible apreciar diferencias en función de la sugerencia de presentación mostrada: así, los casos del membrillo y la ensalada son los que obtienen valores más altos mientras que el queso fresco solo es el que obtiene un valor más bajo.

Por otro lado, los resultados muestran también la influencia que la sugerencia de presentación tiene sobre el momento del día que el consumidor considera idóneo para el consumo de cada caso de envase de queso fresco. De ese modo, se aprecia con claridad la identificación del acompañamiento de ensalada con el momento de la comida y, especialmente, del queso fresco mostrado en solitario con su consumo en cualquier momento del día, al no verse influenciado por las características de un acompañamiento determinado.

La influencia negativa que los acompañamientos dulces tienen sobre la percepción del consumidor se aprecia también en la predisposición a la compra de cada caso. Así, con respecto a la sugerencia de presentación, el membrillo y la fruta son junto al caso en que el queso se muestra en solitario (donde probablemente el consumidor no se siente atraído por el producto al carecer éste de un gran atractivo en sí mismo) los casos donde la

predisposición a la compra es más baja (siendo muy claro el caso del membrillo, identificado por los usuarios como poco saludable).

Los resultados también muestran la influencia del color del envase tanto en la identificación de la tipología de queso fresco contenida en el mismo como en la predisposición a su compra. Con respecto a la tipología de producto identificada por el usuario se aprecia una clara asociación entre el color rosa del envase y la tipología de queso fresco bajo en calorías; por su parte, el envase azul es el que presenta una mayor predisposición a la compra, que se explica por la preeminencia de dicho color en los envases de queso fresco existentes en el mercado y la consecuente habituación del consumidor a ese color.

Los resultados obtenidos con este trabajo muestran la importancia del diseño del envase de un producto en la comunicación de sus atributos y en la predisposición a su compra, lo que sin duda determina las posibilidades de éxito de un producto en el mercado.

REFERENCIAS

Ares, G., & Deliza, R. (2010). Studying the influence of package shape and colour on consumer expectations of milk desserts using word association and conjoint analysis. *Food Quality and Preference*, *21*, 930–937.

Becker, L., van Rompay, T. J. L., Schifferstein, H. N. J., & Galetzka, M. (2011). Tough package, strong taste: The influence of packaging design on taste impressions and product evaluations. *Food Quality and Preference*, *22*, 17–23.

Bloch, P. H. (1995). Seeking the ideal form: product design and consumer response. *Journal of Marketing*, *59*, 16-29.

Bone, P. F., & France, K. R. (2001). Package graphics and consumer product beliefs. *Journal of Business and Psychology*, *15*, 467–489.

Charters, S., Lockshin, L., & Unwin, T. (1999). Consumer responses to wine bottle back labels. *Journal of Wine Research*, *10*, 183–195.

Gollety, M., & Guichard, N. (2011). The dilemma of flavor and color in the choice of packaging by children. *Young Consumers*, *12*, 82–90.

Grossman, R. P., & Wisenblit, J. Z. (1999). What we know about consumers' color choices. *Journal of Marketing Practice: Applied Marketing Science*, *5*, 78–88.

Inman, J. J., Winer, R. S., & Ferraro, R. (2013). The interplay among category characteristics, customer characteristics, and customer activities on in-store decision making. *Journal of Marketing*, *73*, 19–29.

Kauppinen-Räisänen, H. (2014). Strategic use of colour in brand packaging. *Packaging Technology and Science*, *27*, 663–676.

Labrecque, L. I., & Milne, G. R. (2012). Exciting red and competent blue: The importance of color in marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *40*, 711–727.

Liao, L. X., Corsi, A. M., Chrysochou, P., & Lockshin, L. (2015). Emotional responses towards food packaging: a joint application of self-report and physiological measures of emotion. *Food Quality and Preference*, *42*, 48–55.

MAGRAMA (n.d.). Base de datos de consumo en hogares. Obtenido el 18 de abril de 2015, desde http://www.magrama.gob.es/es/alimentacion/temas/consumo-y-comercializacion-y-distribucion-alimentaria/panel-de-consumo-alimentario/base-de-datos-de-consumo-en-hogares/consulta11.asp

Miraballes, M., Fiszman, S., Gámbaro, A., & Varela, P. (2014). Consumer perceptions of satiating and meal replacement bars, built up from cues in packaging information, health claims and nutritional claims. *Food Research International*, *64*, 456–464.

Mizutani, N., Okamoto, M., Yamaguchi, Y., Kusakabe, Y., Dan, I., & Yamanaka, T. (2010). Package images modulate flavor perception for orange juice. *Food Quality and Preference*, *21*, 867–872.

Mohebbi, B. (2014). The art of packaging: an investigation into the role of color in packaging, marketing, and branding. *International Journal of Organizational Leadership*, *3*, 92–102.

Mutsikiwa, M., & Marumbwa, J. (2013). The Impact of aesthetics package design elements on consumer purchase decisions: a case of locally produced dairy products. *Journal of Business and Management*, *8*, 64–71.

Orth, U. R., Campana, D., & Malkewitz, K. (2009). Formation of consumer price expectation based on package design: attractive and quality routes. *The Journal of Marketing Theory and Practice*, *18*, 23–40.

Piqueras-Fiszman, B., Velasco, C., & Spence, C. (2012). Exploring implicit and explicit crossmodal colour-flavour correspondences in product packaging. *Food Quality and Preference*, *25*, 148–155.

Rebollar, R., Lidón, I., Serrano, A., Martín, J., & Fernández, M. J. (2012). Influence of chewing gum packaging design on consumer expectation and willingness to buy. An analysis of functional, sensory and experience attributes. *Food Quality and Preference*, *24*, 162–170.

Silayoi, P., & Speece, M. (2007). The importance of packaging attributes: a conjoint analysis approach. *European Journal of Marketing*, *41*, 1495–1517.

Singh, & Satyendra. (2006). Impact of color on marketing. *Management Decision*, *44*, 783–789.

Smets, G. J. F., & Overbeeke, C. J. (1995). Expressing tastes in packages. *Design Studies*, *16*, 349–365.

Tuorila, H., & Pangborn, R. M. (1988). Prediction of reported consumption of selected fat-containing foods. *Appetite*, *11*, 81–95.

Underwood, R. L., Klein, N. M., & Burke, R. R. (2001). Packaging communication: attentional effects of product imagery. *Journal of Product & Brand Management*, *10*, 403–422.

Underwood, R. L., & Klein, N. M. (2002). Packaging as brand communication: Effects of product pictures on consumer responses to the package and brand. *Journal of Marketing Theory and Practice*, *10*, 58–68.

03-019

ASSESSMENT OF SEMI-TRAILER REAR UNDERRUN PROTECTION SYSTEM CONSIDERING CRASH SITUATIONS WITH PARTIAL CAR OVERLAP BY MEANS OF THE F.E.M.

Valladares Hernando, David; Carrera Alegre, Marco; Malón Litago, Hugo; Castejón Herrer, Luis Universidad de Zaragoza

The current European regulation concerning rear underrun protection systems in semi-trailers collected in Directives 79/490/CEE and 2006/20/CEE, requires the fulfilment of several tests consisting in the application of an increasing force at three different points without exceeding a maximum deformation value. Nevertheless there are variables not taken into account such as the mass of the impacting vehicle, its speed, its position in the impact or its dimensions, which generate a multitude of possible situations that are necessary to assess in order to improve the safety and the protection capability of these systems. In the present paper it has been assessed the behaviour of a semi-trailer rear underrun protection system in crash situations with partial car overlap and considered at different impact speeds. Numerical simulations by the F.E.M. have been carried out, which will allow to obtain the energy and deformation involved in each case. This methodology will make possible to propose and introduce design modifications in the protection system for increasing its safety when unfavourable impact situations take place.

Keywords: *Semi-trailer; rear underrun protection system; numerical analysis; road safety*

EVALUACIÓN DE SISTEMA DE PROTECCIÓN TRASERA ANTIEMPOTRAMIENTO EN SEMIRREMOLQUE ANTE IMPACTOS CON SOLAPAMIENTO PARCIAL DE AUTOMÓVIL UTILIZANDO EL M.E.F.

La actual regulación europea para sistemas de protección trasera contra el empotramiento en semirremolques recogida en las directivas 79/490/CEE y 2006/20/ CEE requiere superar varios ensayos consistentes en la aplicación de una fuerza en tres puntos diferentes sin llegar a superar un valor de deformación. No tienen en cuenta sin embargo variables como la masa del vehículo que impacta, la velocidad, la posición del mismo en el impacto o sus dimensiones, las cuales generan multitud de escenarios posibles que es preciso evaluar para mejorar la seguridad y la capacidad de protección de estos sistemas. En el presente artículo se evalúa el comportamiento de un sistema de protección trasera antiempotramiento de semirremolque ante posiciones de impacto con diferentes valores de solapamiento del automóvil y para diferentes velocidades de impacto del mismo. Para ello se han realizado simulaciones numéricas por el método de los elementos finitos que van a permitir obtener los diferentes valores de energía y de deformación de los vehículos en cada caso. A través de esta metodología será posible proponer e introducir modificaciones en el diseño del sistema de protección que repercutirán en una mayor seguridad del sistema de protección ante situaciones de impacto desfavorables

Palabras clave: *Semirremolque; protección trasera; antiempotramiento; análisis numérico; seguridad vial*

Correspondencia: Hugo Malón Litago hml@unizar.es

Agradecimientos: El presente artículo se enmarca en el ámbito de actuación del grupo consolidado de investigación VEHIVIAL, reconocido oficialmente por el Gobierno de Aragón, y ha sido financiado a través de fondos FEDER.

1. Introducción

La mejora de la seguridad en accidentes de tráfico en los que se produce el impacto entre varios vehículos es un tema fundamental actualmente en la industria de la automoción, dado que puede ayudar tanto a salvar gran cantidad de vidas humanas como a reducir el nivel de lesividad sobre los pasajeros. A nivel regional (Europa, Estados Unidos, Canada, etc) se han desarrollado directivas y regulaciones dónde se marcan unos requisitos de seguridad de obligado cumplimiento para permitir el tránsito de un vehículo por un determinado territorio. Además existe una gran exigencia por parte del consumidor actual en materia de seguridad en vehículos. Por ejemplo a nivel europeo, organizaciones como Euro NCAP integradas por gobiernos, asociaciones y consumidores plantean ensayos de impacto en diferentes condiciones para evaluar la seguridad de los automóviles existentes en el mercado. La propia competencia entre fabricantes obliga a los mismos a mejorar la seguridad en sus nuevos diseños de acuerdo a los criterios de estos ensayos y a poner a prueba sus prototipos antes de comenzar la producción de un nuevo modelo de coche.

En lo relativo a los sistemas de protección trasera contra empotramiento en semirremolques, a nivel europeo se aplican las directivas europeas 79/490/CEE y 2006/20/CEE, las cuales especifican unos niveles máximos de deformación en el dispositivo instalado en el semirremolque ante la aplicación de una fuerza cuasi-estática creciente hasta alcanzar un cierto valor (50 kN ó 100 kN según el ensayo) en tres puntos diferentes del paragolpes. Con ello se pretende evitar que en un caso de impacto de automóvil contra la parte trasera de un semirremolque, el primero no pueda deslizar bajo el mismo. Carrera et al (2010) estudiaron la correspondencia de los ensayos planteados en las directivas con los resultados obtenidos en la simulación del impacto de un automóvil de tamaño medio a diferentes velocidades contra un sistema de protección trasera de semirremolque específico homologado en España. A partir de simulaciones dinámicas se concluyó que en ese diseño el criterio de deformación de la directiva europea ya se alcanzaba en impactos con velocidades del automóvil inferiores a 30 km/h, considerando el semirremolque en reposo. En este sentido el documento informal GRSG-100-25 (2011) presentado en el grupo de trabajo GRSG del WP.29 (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations) de la UNECE (United nations Economic Commission for Europe) indica tras una investigación de los accidentes de estas características ocurridos en Alemania y recogidos en la base GIDAS (German In Depth Accident Study) que la mayoría de accidentes relevantes de estas características tuvieron lugar para una diferencia de velocidad entre automóvil y semirremolque de entre 40 y 45 km/h. También se indica que en ensayos realizados con un solapamiento del 100% a 35 km/h y 56 km/h con coches familiares de tamaño pequeño y mediano, las máximas fuerzas de impacto fueron 200 kN y 370 kN para la categoría pequeña y de 490 kN y 715 kN para los de categoría mediana respectivamente.

De estos estudios se desprende que el nivel de exigencia de la actual regulación europea se corresponde a una capacidad de protección que no resultaría suficiente en una gran parte de los accidentes de estas características que tienen lugar.

Además de la velocidad de impacto (o la diferencia de velocidades entre vehículos), la masa del automóvil también va a determinar el valor de la energía cinética presente en el impacto, de modo que diferentes categorías de automóviles a diferentes velocidades van a corresponder a un amplio rango de posibilidades de impacto que sería preciso tener en cuenta en la mejora de la seguridad de los sistemas de protección contra el empotramiento.

Otro factor fundamental a considerar es la posición relativa o el solapamiento que tiene lugar entre los vehículos durante el impacto. Atahan (2003) plantea impactos a 48 km/h y 56 km/h con los vehículos alineados y con descentramientos del 50% para verificar el funcionamiento de los sistemas de protección contra el empotramiento. Para comprobar el funcionamiento

estructural en automóviles, EuroNCAP plantea un ensayo de choque frontal con solapamiento parcial del 40% contra una barrera deformable, en una situación que recrea un choque frontal entre dos automóviles de la misma masa circulando a 50 km/h. Si bien se trata de una situación diferente, este ensayo da cuenta de la importancia de comprobar la capacidad de absorción de energía de las estructuras vehiculares en situaciones lo más desfavorables posibles.

En este sentido, en un reciente estudio realizado en 2013 por el IIHS (Institute Insurance for Highway Safety, USA) se ensayaron los sistemas de protección contra empotramiento en ocho trailers diferentes de las marcas más comercializadas en Estados Unidos teniendo en cuenta diferentes condiciones de solapamiento en el impacto. Se comprobó que impactando contra ellos un automóvil a 56.3 km/h todos ellos funcionaron correctamente en el caso de solapamiento al 100%. Para el caso de un solapamiento del 50% tan sólo uno de los sistemas falló, produciéndose intrusión en el habitáculo por parte de la parte trasera del trailer. Sin embargo para un solapamiento del 30% del automóvil fallaron todos los dispositivos con la excepción de uno de ellos que evitó que el automóvil quedara empotrado bajo el trailer. De este estudió se concluyó que aunque todos estos sistemas cumplieron la reglamentación de Canadá en ensayos previos, mucho más exigente en cuanto a fuerza a soportar que la Estadounidense y la Europea, aún queda mucho que mejorar en la seguridad de estos sistemas, dado que con solapamientos a partir del 30% estos accidentes pueden resultar fatales para el conductor o para el pasajero situado en la parte delantera.

2. Objetivos

En el presente artículo se pretende comprobar el funcionamiento de un sistema de protección trasera contra empotramiento en semirremolque para diferentes condiciones de impacto alineado longitudinalmente pero con solapamiento parcial del automóvil en el impacto. Se ha partido de un diseño previo cuyo comportamiento fue verificado conforme a la directiva europea 79/490/CEE por Carrera et al (2007), resultando satisfactorio para los ensayos cuasi-estáticos recogidos en dicha directiva. Dadas las limitaciones existentes en la misma y que han sido descritas previamente, el presente estudio supone un paso adelante en la mejora de la seguridad y la protección de los pasajeros del automóvil y se va a plantear una metodología basada en simulaciones dinámicas de impacto entre automóvil y semirremolque, que permita evaluar el nivel de protección aportado por el dispositivo. De este modo a través de esta herramienta numérica será posible estudiar y plantear alternativas en el diseño que mejoren la seguridad en situaciones desfavorables de impacto. Por otro lado esto permitirá también realizar la optimización del dispositivo de protección conforme a criterios más exigentes, pero necesarios si se pretende mejorar la seguridad en accidentes de estas características. Los objetivos se pueden concretar en los siguientes puntos:

- Evaluación numérica de la seguridad de un sistema de protección trasera contra empotramiento en semirremolque frente a impactos en condiciones de solapamiento parcial.
- Planteamiento de una metodología numérica para abordar tanto la mejora de la seguridad como la optimización estructural frente a impacto en estos sistemas.
- Propuesta y evaluación numérica de modificaciones y mejoras sobre el diseño inicial.
- Incidir en la necesidad de profundizar en la mejora de la seguridad en los proyectos de desarrollo de estos dispositivos, de forma que se contemplen situaciones de impacto más desfavorables al nivel de exigencia de la reglamentación europea vigente.

3. Metodología

En primer lugar se definieron las condiciones en que se desea evaluar el impacto. Parámetros como la velocidad de impacto, la masa del automóvil y la posición de los vehículos se fijaron a partir de datos procedentes de estudios anteriores. Dada la infinidad de posibilidades que pueden darse en un accidente de estas características ha sido preciso acotar estas variables a un valor concreto o a un rango de valores. Para mayor simplicidad se consideró que el semirremolque se encontraba parado en el momento del impacto, con lo cual únicamente se tuvo en cuenta la velocidad del automóvil. En concreto se eligieron las siguientes situaciones:

- Automóvil de tamaño medio, con masa 1073 kg.
- Semirremolque cisterna.
- Se contemplan dos valores de velocidad de impacto: 40 km/h y 56.3 km/h, aplicadas al automóvil.
- Se evaluarán impactos centrados y alineados e impactos alineados con solapamiento parcial del automóvil del 80, 70, 60, 50, 40 y 30% (porcentajes referentes al solapamiento del ancho del automóvil con respecto al paragolpes del semirremolque).

A continuación se crearon modelos de elementos finitos, para el análisis dinámico de estas situaciones con el software ABAQUS Explicit. Se utilizó el modelo de elementos finitos de automóvil Geo Metro del National Crash Analysis Center (NCAC) de la Universidad George Washington en Virginia (EEUU). Para el modelo del semiremolque cisterna se consideró únicamente la porción trasera del vehículo y se restringieron los desplazamientos en la sección de corte. De esta forma el semirremolque se considera con velocidad 0 y toda la energía del impacto la absorberán los componentes de la parte trasera del vehículo. También así se simplificó notablemente la simulación, reduciéndose el tiempo de cálculo necesario para cada simulación de impacto. Se analizó un tiempo total de impacto de 0.2 segundos, el cual se consideró suficiente tras varias simulaciones preliminares y se aplicó una condición de autocontacto entre todos los elementos de la simulación. También se consideró la aceleración de la gravedad de 9.8 m/s^2 aplicada verticalmente hacia abajo a todos los elementos del modelo.

Figura 1: Modelo de elementos finitos del semirremolque cisterna y del automóvil Geo Metro del NCAC

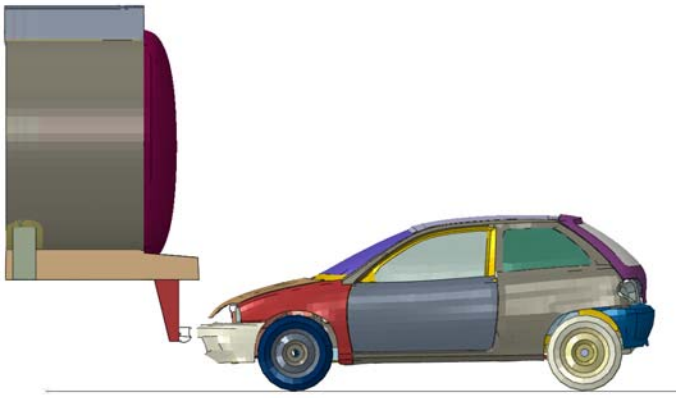
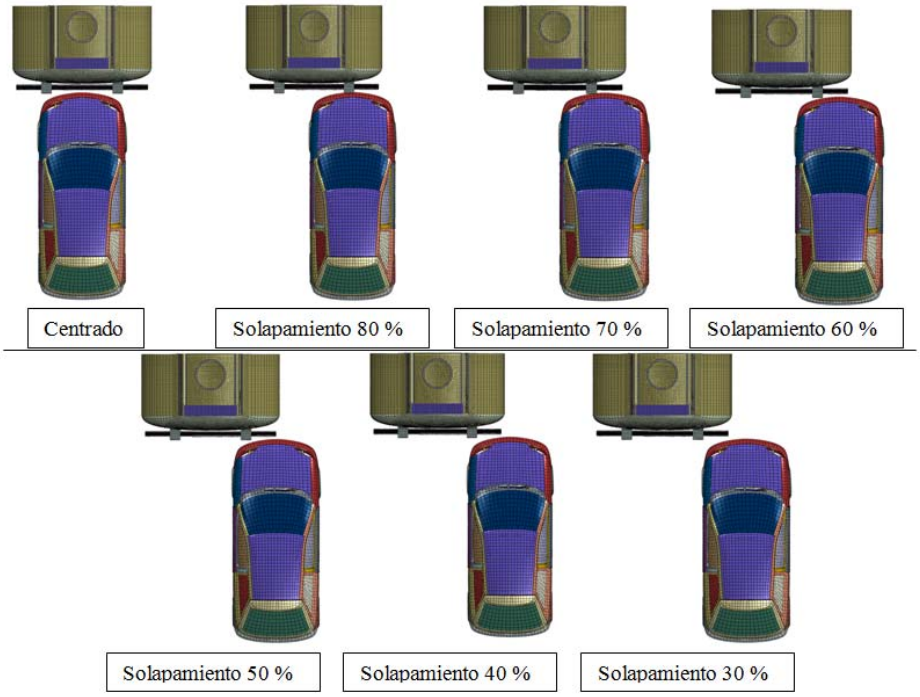


Figura 2: Modelos de elementos finitos con las posiciones de solapamiento consideradas



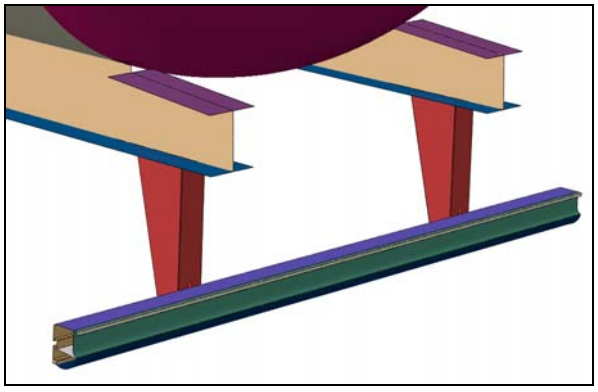
Para el postproceso de los resultados, se evaluó el comportamiento y el nivel de protección alcanzado con el dispositivo, la penetración del automóvil bajo el semirremolque, así como los siguientes parámetros y dimensiones resultantes de la simulación:

- Energía absorbida en forma de energía de deformación por parte del sistema de protección contra empotramiento trasero.
- Energía absorbida en forma de energía de deformación por parte del automóvil.
- Nivel de deformación en el interior del habitáculo del automóvil.

4. Caso de estudio

El punto de partida para llevar a cabo el presente estudio ha sido un diseño ya existente de sistema de protección contra el empotramiento en el que cual ha sido comprobada la adecuación a la directiva europea 79/490/CEE.

Figura 3: Sistema de protección contra el empotramiento estudiado



La configuración del sistema consiste en un perfil fabricado en aleación de aluminio extruido AW 5053, con sección transversal con diferentes espesores de pared comprendidos entre 2

y 5 mm. Este perfil se atornilla a dos soportes de acero fabricados en chapa plegada de acero S355 los cuales se unen por unión soldada al ala inferior de los largueros del semirremolque, en este caso fabricados en acero inoxidable AISI 304L. El comportamiento mecánico de los materiales se caracterizó con un modelo clásico de plasticidad de metal de Mises (definiéndose como isótropo y elasto-plástico bilineal) (Abaqus, 2011). Asimismo se asignó un criterio de rotura según el cual al superarse el alargamiento de rotura del material en un elemento, ese elemento deja de participar estructuralmente en el análisis y a partir de ese instante aparece en el post-proceso con tensión equivalente de Von Mises nula.

Se creó un modelo de elementos finitos del sistema de protección ensamblado a la parte trasera de un semirremolque cisterna. En una primera fase se ha sometido este diseño a impacto contra el automóvil circulando a 40 km/h impactando en las posiciones recogidas en la figura 2. En función de los resultados obtenido en el postproceso se propusieron modificaciones en el diseño con objeto de conseguir una mejora de la seguridad en situaciones de impacto descentrado y a mayor velocidad (concretamente a 56.3 km/h). Estas propuestas fueron incorporadas a los modelos de elementos finitos y evaluadas de nuevo frente a las condiciones de impacto planteadas.

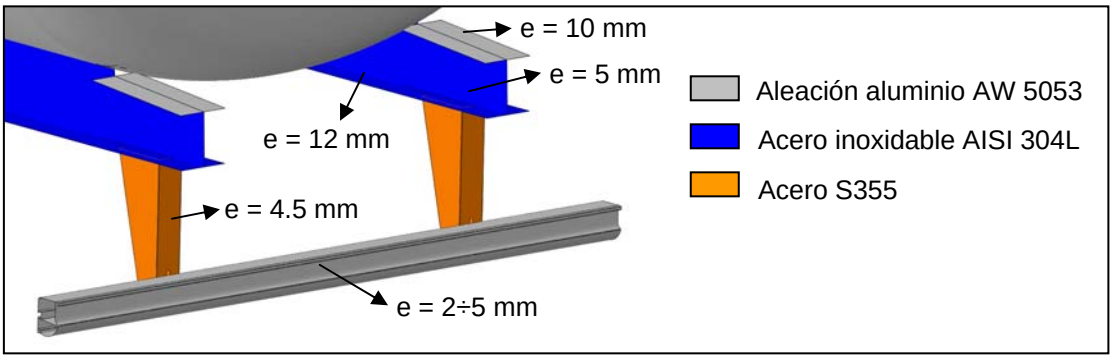
A partir de los resultados obtenidos se obtuvieron una serie de conclusiones y recomendaciones que serán de relevancia en el diseño de nuevos dispositivos de protección trasera contra el empotramiento en semirremolques.

5. Resultados

5.1 Modelo 1: Diseño inicial. Impacto a 40 km/h

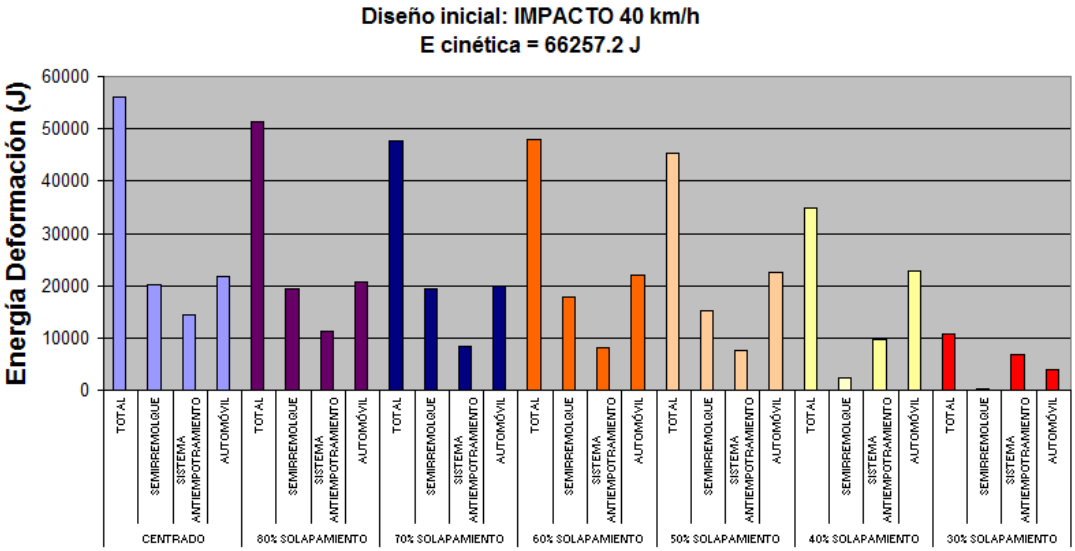
Se analizaron los casos de impacto centrado y con solapamientos parciales indicados para este modelo inicial.

Figura 4: Diseño inicial de sistema antiempotramiento



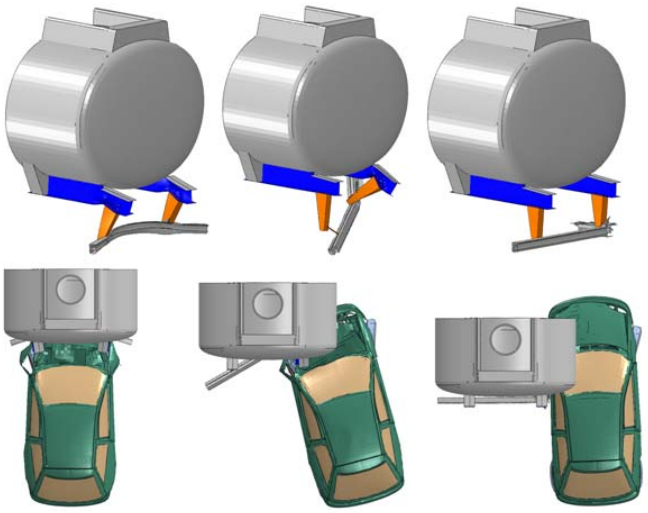
Para una velocidad de 40 km/h y masa del automóvil de 1073 kg se tiene una energía cinética inicial de 66257.2 J. La mayor parte de esta energía es disipada en forma de energía de deformación de los componentes de los vehículos implicados en el impacto, y es por ello que el estudio de las energías de deformación va a aportar información relevante para el diseño del sistema de protección. Como requisito básico de partida interesa que ambos vehículos absorban parte de esta energía sin llegar a alcanzarse valores de deformación que afecten a los ocupantes del habitáculo del automóvil. A continuación en la figura 5 se muestran los resultados obtenidos de energía de deformación total, energía de deformación del semirremolque (sin considerar el sistema antiempotramiento), energía de deformación del sistema antiempotramiento y energía de deformación del automóvil, correspondientes a valores máximos obtenidos en las posiciones de impacto analizadas.

Figura 5: Energías de deformación. Modelo inicial



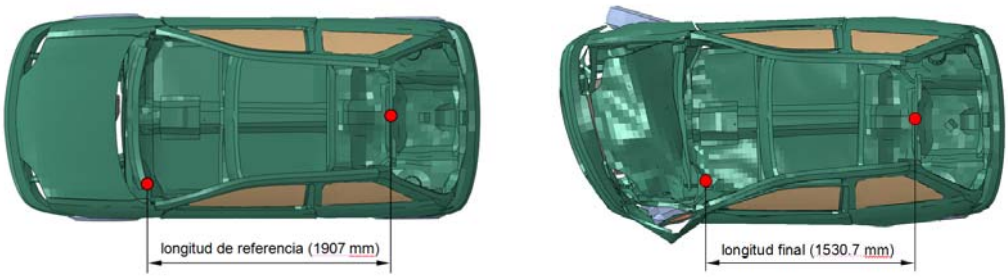
En cuanto a comportamiento mecánico del semirremolque con el sistema antiempotramiento se observó un funcionamiento correcto en el caso de impacto centrado, en el que una parte importante de la deformación se produjo en los largueros principales del semirremolque. Sin embargo los casos de impacto con solapamiento parcial no resultaron satisfactorios, produciéndose por un lado en los casos del 80%, 70%, 60% y 50% una excesiva deformación en el larguero principal del semirremolque que se enfrenta más directamente al impacto y que propició una excesiva penetración del automóvil bajo el semirremolque. Por otro lado los casos de solapamiento 40 y 30% tampoco fueron satisfactorios, produciéndose el plegado del paragolpes de aluminio y absorbiéndose una porción muy reducida de la energía cinética inicial. En estos últimos casos, el automóvil penetra bajo el semirremolque encontrando tan solo una oposición muy reducida a su movimiento.

Figura 6: Deformadas modelo inicial en instante de máxima deformación. Impacto 40 km/h, de izda. a drcha.: solapamiento centrado (t=0.12s), solapamiento 50 % (t=0.2 s) y solapamiento 30 % (t=0.2 s)



Se obtuvieron asimismo los valores de reducción máxima de la distancia longitudinal disponible en el interior del habitáculo. Para la determinación de esta medida se localizaron dos puntos interiores del automóvil, uno situado en la parte izquierda del salpicadero (zona lateral de impacto) y el otro situado en la parte trasera del habitáculo, en un perfil transversal de la zona de ensamblaje de los asientos traseros. El caso más desfavorable de los analizados correspondió a la simulación con solapamiento del 50%, con una reducción en la distancia longitudinal del habitáculo de 376.3 mm.

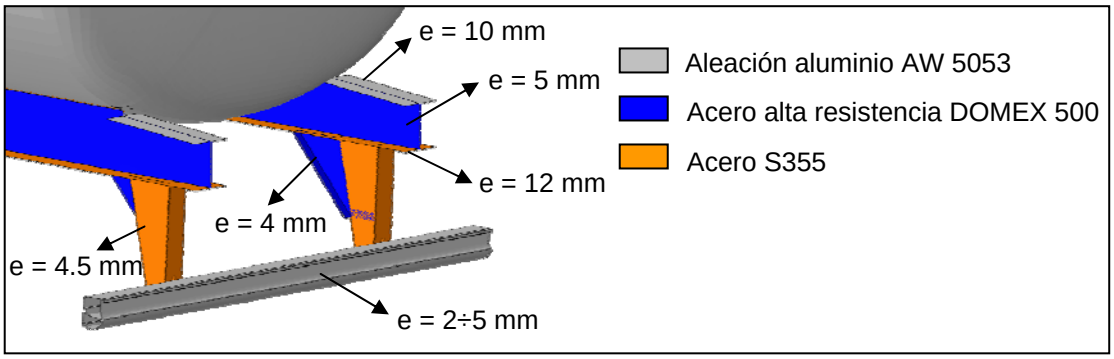
Figura 7: longitud de referencia del interior del habitáculo del automóvil. Caso de solapamiento 50% (reducción máxima de longitud, 376.3 mm)



5.2 Modelo 2. Impacto a 40 km/h

A partir de los resultados obtenidos en el modelo inicial se propusieron varias modificaciones para mejorar el comportamiento frente a impacto del conjunto.

Figura 8: Configuración modelo 2



En concreto se modificó el material del ala inferior de largueros de acero inoxidable AISI 304L a acero convencional S355, se modificó el material del alma de largueros de acero inoxidable AISI 304L a acero de alta resistencia DOMEX 500 y se incluyeron dos componentes de refuerzo en acero DOMEX 500 a modo de cartabón, cada uno situado sobre cada soporte, en la cara externa y hacia el interior del semirremolque.

Al igual que en el modelo inicial, a continuación en la figura 9 se muestran los resultados de energía de deformación obtenidos para los casos de impacto a 40 km/h considerados.

En cuanto al comportamiento del semirremolque, en primer lugar y a diferencia del modelo anterior, para esta configuración se aprecia una reducida energía de deformación en el semirremolque. En este caso la modificación de materiales en los largueros principales permitió evitar el colapso de estos perfiles durante el impacto. También se aprecia un reparto más igualado de la energía de deformación entre el sistema de protección y el automóvil, pasándose de niveles muy igualados en el caso centrado, a un nivel de absorción de energía algo superior en el automóvil (entre 5000 ÷ 8000 J superior) en los casos de solapamientos del 80%, 70%, 60% y 50%. Esta circunstancia se correspondió además con un resultado satisfactorio en cuanto a retención del automóvil para el caso centrado y con

estos solapamientos del 80%, 70%, 60% y 50%. Sin embargo los casos de impacto con solapamientos del 40% y del 30% concluyeron con el fallo a flexión del paragolpes de aluminio de forma similar al modelo anterior, produciéndose la penetración del automóvil bajo el semirremolque.

Figura 9: Energías de deformación. Modelo 2

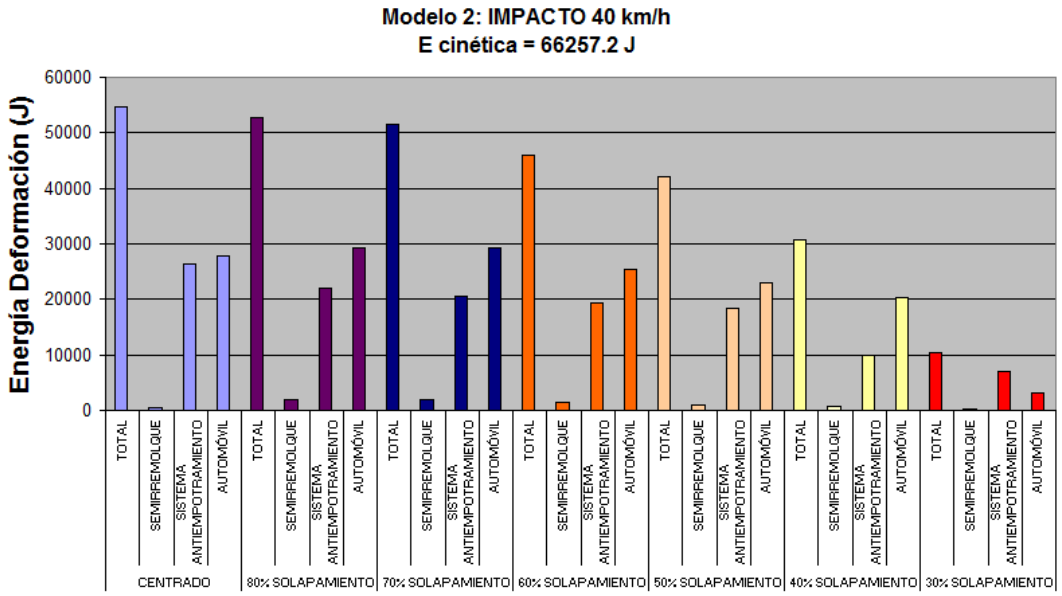
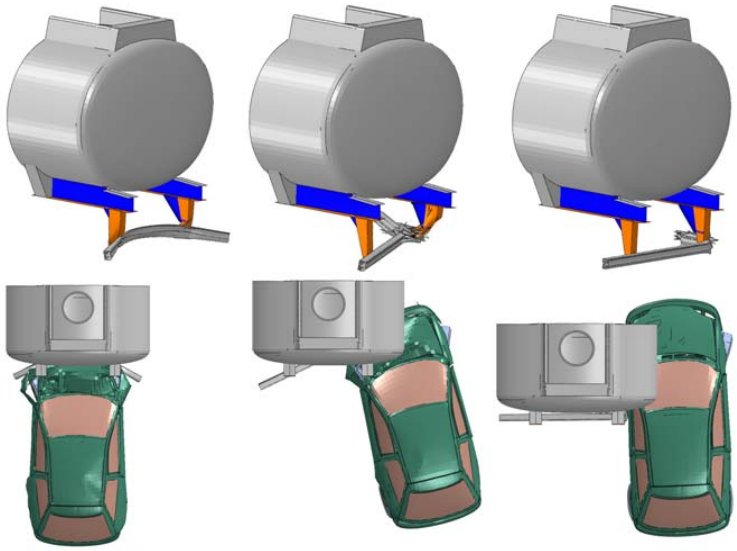


Figura 10: Deformadas modelo 2 en instante de máxima deformación. Impacto 40 km/h, de izda. a drcha.: solapamiento centrado (t=0.095 s), solapamiento 50 % (t=0.2 s) y solapamiento 30 % (t=0.2 s)

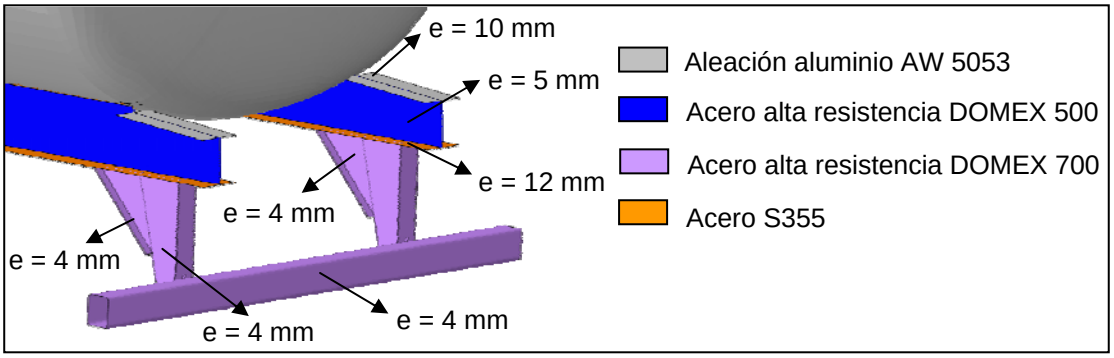


En cuanto a la reducción máxima de la distancia longitudinal disponible en el interior del habitáculo, el caso más desfavorable de los analizados correspondió también a la simulación con solapamiento del 50%, con una reducción en la distancia longitudinal del habitáculo de 265.2 mm. Por tanto, de acuerdo a los resultados indicados, en este modelo 2 se mejoró el comportamiento frente al impacto del sistema de protección. No obstante las simulaciones con solapamientos al 40% y 30% no resultaron favorables y se propusieron nuevas modificaciones en el diseño.

5.3 Modelo 3. Impacto a 40 km/h

La configuración propuesta en el modelo 3 se muestra a continuación.

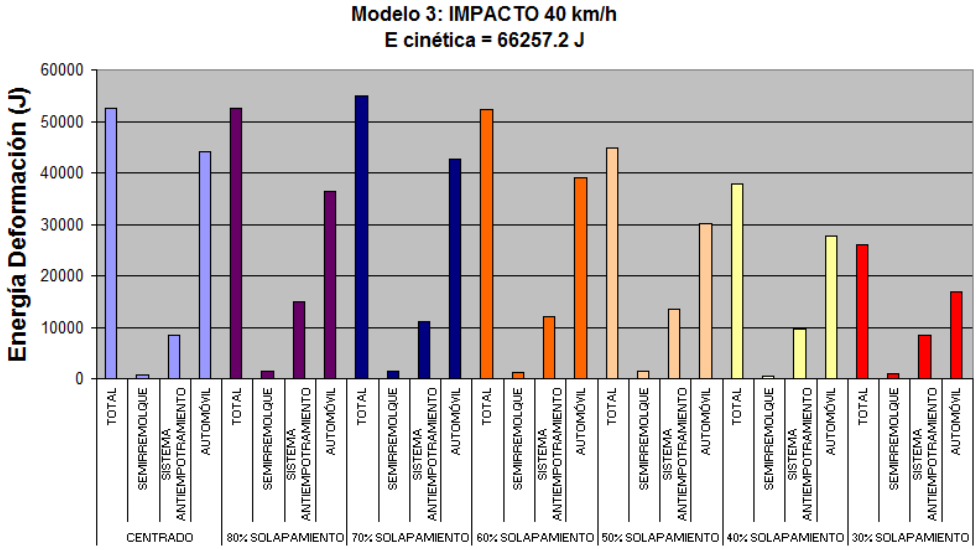
Figura 11: Configuración modelo 3



La principal diferencia es la inclusión de un acero de alta resistencia DOMEX 700 del fabricante SSAB en todos los componentes del sistema de protección contra el empotramiento. Se ha unificado el espesor a 4 mm en todos estos componentes. Se ha incorporado otro refuerzo a modo de cartabón que se ensamblará en la cara hacia el exterior del vehículo sobre cada soporte, disponiendo por tanto de dos refuerzos cada uno de los soportes. El paragolpes de aleación de aluminio extruido se sustituyó por un nuevo perfil hueco de sección rectangular de dimensiones 100x120x4 mm fabricado en acero DOMEX 700. La configuración de materiales y espesores del resto del semirremolque se mantuvo con respecto al modelo 2.

Los resultados de energía de deformación obtenidos para los casos de impacto a 40 km/h considerados se recogen a continuación.

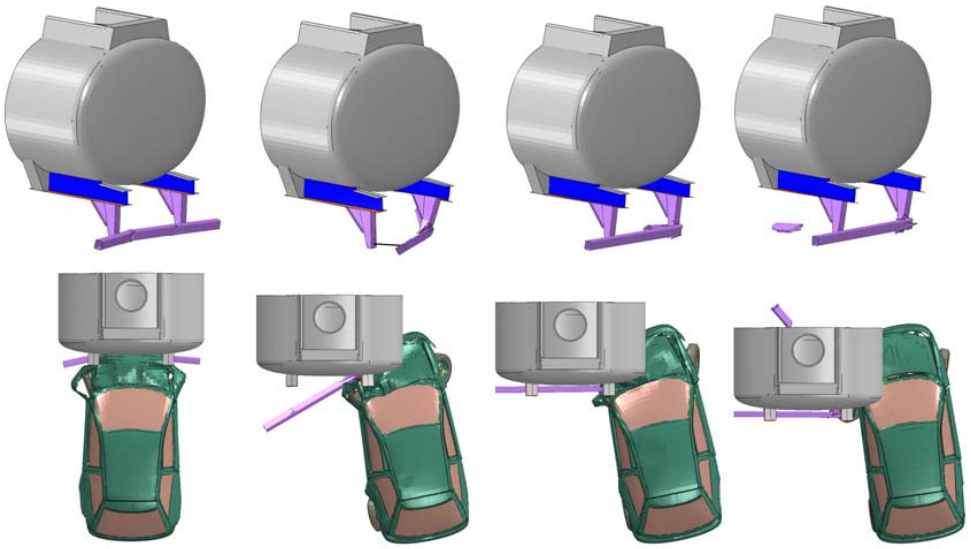
Figura 12: Energías de deformación. Modelo 3



En las simulaciones realizadas con velocidad inicial de 40 km/h se observa una gran desigualdad en el reparto de la energía de deformación entre el sistema de protección y el automóvil, en esta configuración la mayor parte de la energía es absorbida por el automóvil. Sin embargo, se observa una tendencia a reducir esta desigualdad conforme se disminuye

el porcentaje de solapamiento en los casos de solapamiento parcial. En este modelo 3 se consiguió alcanzar un resultado satisfactorio en cuanto a la evitar la penetración del automóvil en todas las simulaciones, con la excepción del caso de impacto con solapamiento del 30%. En este caso se produjo el fallo a flexión del paragolpes y no se logró evitar el avance del automóvil bajo el semirremolque. En el caso de solapamiento al 50%, aunque se produjo el fallo en la unión atornillada izquierda del paragolpes, el sistema retuvo al automóvil.

Figura 13: Deformadas modelo 3 en instante de máxima deformación. Impacto 40 km/h, de izda. a drcha.: solapamiento centrado (t=0.085 s), solapamiento 50 % (t=0.165 s), solapamiento 40 % (t=0.175 s) y solapamiento 30 % (t=0.2 s)



La mayor energía de deformación en el automóvil se tradujo en una mayor deformación en el habitáculo con respecto al modelo 2. La reducción máxima de la distancia longitudinal disponible en el interior del habitáculo se obtuvo en el caso de solapamiento del 40% y alcanzó un valor de 339.2 mm.

5.4 Modelo 3. Impacto a 56.3 km/h

En una etapa siguiente se volvieron a evaluar las configuraciones propuestas para una velocidad del automóvil de 56.3 km/h, correspondiente a una energía cinética inicial de 131200 J (el doble que en los casos anteriores a 40 km/h). Tanto el modelo 1 como el modelo 2 dieron resultados negativos en las diferentes simulaciones realizadas a esta velocidad, produciéndose el fallo tanto de los soportes como del paragolpes y el avance del automóvil bajo el semirremolque. A continuación se indican los resultados obtenidos con el modelo 3 para este nivel de energía de impacto.

Las energías de deformación obtenidas para los casos de impacto a 56.3 km/h considerados fueron las siguientes:

El caso de impacto centrado funcionó correctamente, con un reparto de energía de deformación más equilibrado que en el impacto a 40 km/h. En cuanto a los casos de solapamiento parcial, por un lado se observó que parte de la energía de deformación se transfirió a los largueros del semirremolque en los casos de solapamiento parcial del 80% y del 70%. Por otra parte en los solapamientos del 60% y del 50% se produjo el fallo de la unión atornillada del soporte izquierdo, aunque se llegó a retener el vehículo. Por último en los casos de solapamiento del 40% y del 30% se produjo el plegado a flexión del paragolpes

con un resultado desfavorable. En estos casos la energía de deformación en el automóvil es superior a 60000 J y se obtuvieron niveles superiores de deformación y de reducción de espacio en el habitáculo, con un valor máximo de reducción de 536.3 mm en el caso de solapamiento parcial del 50%.

Figura 14: Energías de deformación impacto 56.3 km/h. Modelo 3

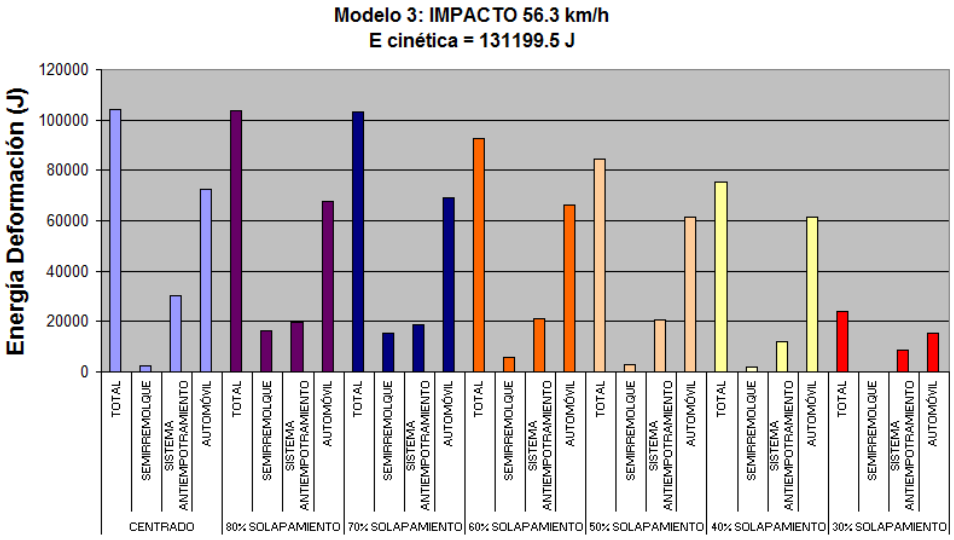
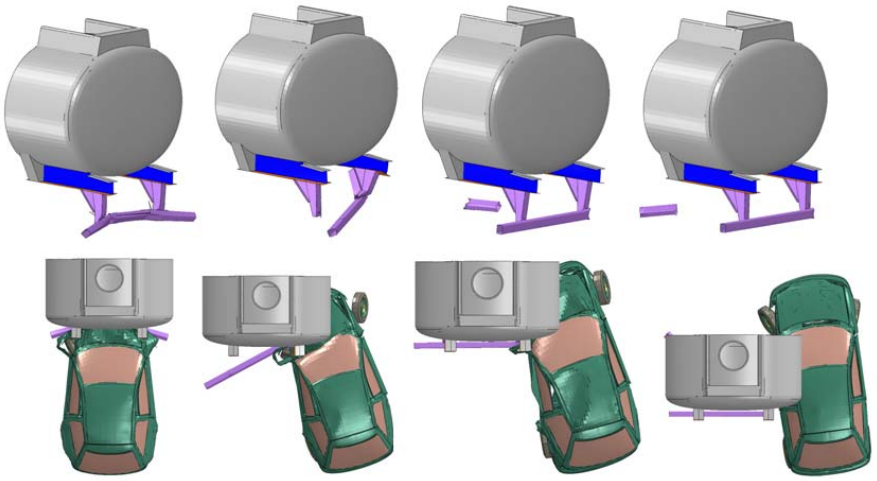


Figura 15: Deformadas modelo 3 en instante de máxima deformación. Impacto 56.3 km/h, de izda. a drcha.: solapamiento centrado (t=0.094 s), solapamiento 50 % (t=0.15 s), solapamiento 40 % (t=0.15 s) y solapamiento 30 % (t=0.2 s)



6. Conclusiones

De los resultados obtenidos se desprenden las siguientes conclusiones:

- Para aumentar la seguridad en automóviles en accidentes de impacto contra la parte trasera de un semirremolque es necesario incorporar mayores exigencias a las vigentes a nivel de reglamentación europea en el diseño de sistemas de protección contra el empotramiento en semirremolques. Los actuales niveles de exigencia se

han mostrado insuficientes en situaciones de impacto con solapamiento parcial del automóvil en las condiciones indicadas.

- La aplicación de la metodología numérica propuesta aportará información de gran relevancia en proyectos futuros de diseño y evaluación de nuevos sistemas de protección y permitirá mejorar la seguridad en este tipo de accidentes.
- La utilización de aceros de alta resistencia resulta de gran interés dado que permiten reforzar el sistema de protección, conseguiéndose un comportamiento adecuado sin un incremento excesivo en el peso del semirremolque (29 kg). En el diseño planteado en el modelo 3 se consiguió retener el automóvil a 56.3 km/h y con solapamientos parciales del automóvil, con la excepción del caso de solapamiento del 30%, para el cual el nuevo diseño se mostró insuficiente.

7. Bibliografía

Abaqus Inc. (2011). Abaqus Analysis User's Manual, Versión 6.11.2.

Atahan, AO. (2003). Design simulation of an energy absorbing underride guard for heavy vehicle rear-end impacts. *Heavy Vehicle Systems - International Journal of Vehicle Design, 10-4,* 321-343.

Carrera, M., Castejon, L., Cuartero, J. & Martin, C. (2007). Design of a Light Semi-Trailer Rear Bumper for Impact Protection According to 79/490/CEE Directive. *Proceedings ASME. 48043, Volume 3: 19th International Conference on Design Theory and Methodology; 1st International Conference on Micro- and Nanosystems; and 9th International Conference on Advanced Vehicle Tire Technologies, Parts A and B.* 1151-1159.

Carrera, M., Castejon, L., Miralbes, R. & Valladares, D. (2010). Behaviour of rear underrun protection system on car-to-tank vehicle impact used for fuel transportation. *International Journal of Heavy Vehicle Systems. 17-3/4.* 199-215

National Crash Analysis Center. www.ncac.gwu.edu/vml/models.html

New crash tests: Underide guards on most big rigs leave passenger vehicle occupants at risk in certain crashes. IIHS News. 14 de Marzo de 2013. Arlington, Va. EEUU. Desde http://www.iihs.org/iihs/news/desktopnews/new-crash-tests-underride-guards-on-most-big-rigs-leave-passenger-vehicle-occupants-at-risk-in-certain-crashes

UNECE (United nations Economic Commission for Europe). WP.29 (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations). Informal document No. GRSG-100-25 (100th GRSG, 11-15 April 2011 Agenda item 8) submitted by the expert from Germany: Proposal for draft amendments to Regulation No. 58 (Rear Underrun Protection Devices) - Justification for amendments proposed in document GRSG/2011/19.

Unión Europea. Directiva 79/490/CEE de la Comisión de 18 de abril de 1979 de adaptación al progreso técnico de la Directiva70/221/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre depósitos de carburante líquido y los dispositivos de protección trasera de los vehículos a motor y sus remolques. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas,* 26 de mayo de 1979, núm. L 128/22, pp. 94-100

Unión Europea. Directiva 2006/20/CEE de la Comisión de 17 de febrero de 2006 por la que se modifica, para adaptarla al progreso técnico, la Directiva 70/221/CEE del Consejo, sobre los depósitos de carburante y los dispositivos de protección trasera de los vehículos de motor y de sus remolques. *Diario Oficial de la Unión Europea,* 18 de febrero de 2006, L 48/16-18.

www.euroncap.com

www.ssab.com/es/

03-020

DEVELOPMENT OF A TEST BENCH FOR EXPERIMENTAL ANALYSIS OF WHOLE SEMI-TRAILER STRUCTURES

Carrera Alegre, Marco [1]; Malón Litago, Hugo [1]; Valladares Herrando, David [1]; Castejón Herrer , Luis [1]; Martin Lafuente, Carlos [2]

[1] Universidad de Zaragoza, [2] Lecitrailer S.A.

This paper shows the process of design, development and implementation of the first test bench developed for the heavy vehicles industry, able to analyze the structural behavior of a full semi-trailer under fatigue loading. The bench supposes a worldwide innovation, since there are not similar mechanical systems known able to reproduce in laboratory controlled conditions the critical maneuvers in a vehicle of these dimensions and weight, allowing to predict the vehicle behavior prior to its launch to the market. This involves several advantages over traditional field testing, providing to the manufacturers a tool that improves and significantly shortens the process of designing and testing for these vehicles. The paper includes all phases of the project, from the first proposals to the execution and implementation of those solutions finally adopted

Keywords: *Testing bench; design of semi-trailers; structural behavior; fatigue analysis*

DESARROLLO DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA EL ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE ESTRUCTURAS COMPLETAS DE SEMIRREMOLQUES

En este trabajo se muestra el proceso de diseño, desarrollo y puesta en marcha del primer banco de ensayos desarrollado para el sector de los vehículos industriales de grandes dimensiones, capaz de analizar el comportamiento estructural de un semirremolque completo sometido a cargas de fatiga. El conjunto supone una novedad a nivel mundial, puesto que no se conocen máquinas similares, capaces de reproducir en un vehículo de estas dimensiones y masas, y bajo condiciones controladas en laboratorio, maniobras reales críticas que permitan predecir el comportamiento del vehículo antes de su lanzamiento al mercado. Ello supone una serie de claras ventajas respecto a las tradicionales pruebas en campo, permitiendo a los fabricantes disponer de una herramienta que mejora y acorta considerablemente el proceso de diseño y pruebas de este tipo de vehículos. El trabajo recoge todas las fases del proyecto, desde el planteamiento de las primeras ideas hasta la ejecución y puesta en marcha de aquellas soluciones finalmente adoptadas.

Palabras clave: *Máquina de ensayos; semirremolques; comportamiento estructural; análisis de fatiga*

Correspondencia: Hugo Malón Litago hml@unizar.es

Agradecimientos: Trabajo realizado en el marco del proyecto DESARROLLO DE UNA BANCADA DE FATIGA PARA SEMIRREMOLQUES, financiado a través del Plan Nacional I +D+i, Ministerio de Educación y Ciencia (TRA2006-05489/AUT), y fondos FEDER.

1. Introducción

Debido a las nuevas y cada vez más exigentes necesidades de los clientes y a la aparición de nuevas metodologías y herramientas de diseño, actualmente es posible el desarrollo de nuevos y optimizados vehículos destinados, en este caso, al transporte de mercancías por carretera (Beermann 2007). Estos métodos permiten, por ejemplo, la obtención de estructuras más ligeras sin descuidar en ningún momento sus características resistentes y funcionales.

Una de las herramientas incorporadas a los nuevos procesos de diseño consiste en la simulación del comportamiento estructural de los vehículos mediante técnicas numéricas basadas en el Método de los Elementos Finitos (Hibbitt, Karlsson & Sorensen 1998; Larrode, Castejon & Miravete 1996). Esta herramienta permite simular el comportamiento de las estructuras objeto de desarrollo tanto en términos de rigidez (deformadas, desplazamientos, etc.) como de resistencia (tensiones, deformaciones plásticas, coeficientes de seguridad, etc.). Sin embargo, hay que tener en cuenta que los modelos numéricos desarrollados no son exactos, sino que suponen una aproximación a la solución real del problema (Oñate 1992). Es por ello que dichos modelos requieren de alguna técnica de validación capa de estimar el grado de aproximación a la solución real.

La aplicación de técnicas experimentales sobre prototipos reales es una solución a este problema, permitiendo por una parte, la obtención de resultados reales en aquellos puntos de medida seleccionados y por otra la validación de los modelos numéricos desarrollados. Además, los actuales métodos de ensayo (en campo) aplicados a este tipo de vehículos presentan una serie de limitaciones, sobre todo en cuanto a reproducibilidad y tiempos de ejecución se refiere. Es por ello que en este trabajo se plantea una nueva herramienta de análisis experimental, consistente en una bancada de ensayos de grandes dimensiones capaz de analizar estructuras completas de semirremolques sometidos a diferentes estados de carga representativos de maniobras críticas reales.

1.1 Limitaciones de las técnicas de ensayo actuales

En la actualidad existen diversos métodos de ensayo aplicados no solamente al caso particular de vehículos pesados, sino también a otros sectores tan diversos e importantes como el sector del automóvil, sector aeroespacial, aeronáutico, y demás sectores industriales. Se trata de un campo con una gran amplitud en el cual se desarrollan sistemas para probar y ensayar gran diversidad de estructuras frente a diferentes solicitaciones (Carrera 2003). Aunque existen diferentes tipos de ensayo los que aquí nos ocupan son los ensayos realizados sobre estructuras de vehículos pesados como son los semirremolques.

Dejando a un lado los sistemas de ensayo utilizados para el análisis de estructuras vehiculares que tratan aspectos diferentes a los resistentes, las técnicas de ensayo de tipo extensométrico en campo son las más utilizadas para el análisis del comportamiento de estructuras completas de de este tipo de vehículos (Sing Tse & Morse 1989). Sin embargo, estas técnicas presentan una serie de limitaciones que precisamente son las que se pretenden resolver mediante el desarrollo de la nueva bancada:

- Necesidad de conductor.
- Baja repetitividad.
- Necesidad de circuito de pruebas.
- Tiempos de ensayo elevados.
- Seguimiento dificultoso,…

2. Objetivos

El objetivo de este proyecto consiste en desarrollar una nueva técnica de ensayos de fatiga de semirremolques de grandes dimensiones y otros vehículos pesados enmarcados dentro de la misma categoría. Esta nueva herramienta permitirá abordar la fase de pruebas y ensayos con garantías, resolviendo las limitaciones que presentan los métodos tradicionales.

El desarrollo abordado en este proyecto pretende mejorar de forma considerable el proceso actual de diseño, en este caso, de semirremolques, combinando para ello tareas de simulación numérica con la realización de ensayos sobre bancada. Esto permitirá conocer con un alto grado de precisión el comportamiento de cualquier prototipo desarrollado sin necesidad de ponerlo en funcionamiento por carretera. Se pretende, además, que el sistema sea lo suficientemente flexible como para facilitar el ensayo de otras tipologías de vehículo.

3. Caso de estudio y metodología

3.1 Características y capacidades generales del sistema

La nueva instalación deberá posibilitar el ensayo de estructuras completas de semirremolques. Se trata de estructuras formadas por un conjunto de travesaños y perfiles de acero así como de una estructura de ejes. En este caso se trata de vehículos de tres ejes, de aproximadamente 14 m de largo por 2.5 m de ancho. Estos vehículos cuentan con una estructura de king pin que es la que sirve de elemento de enganche con la cabeza tractora a través de la denominada como “5ª rueda”.

Figura 1: Detalles de estructura de un chasis de semirremolque

La bancada deberá ser capaz de “alojar” un vehículo de estas características, excluyendo la estructura de carrozado. Además, el sistema debe ser capaz de reproducir algunas de las maniobras realizadas por este tipo de vehículos consideradas como críticas desde el punto de vista de diseño estructural, en concreto, las siguientes:

- “Giro de radio mínimo + Escalón”. Esta combinación de maniobras se da, por ejemplo, cuando el vehículo entra al interior de una nave. Es muy habitual que en la puerta de las naves haya un escalón que tiene que ser superado por los vehículos, mientras están girando 90º para acceder al interior.

- “Marcha rectilínea”. En este caso el vehículo se encuentra realizando maniobras de marcha “normal” en la que se producen una serie de solicitaciones variables debidas, sobre todo, a las irregularidades del terreno por el que circula. Dichas cargas se transmiten a la estructura de semirremolque a través de las ruedas y del sistema de ejes.

3.2 Metodología de trabajo

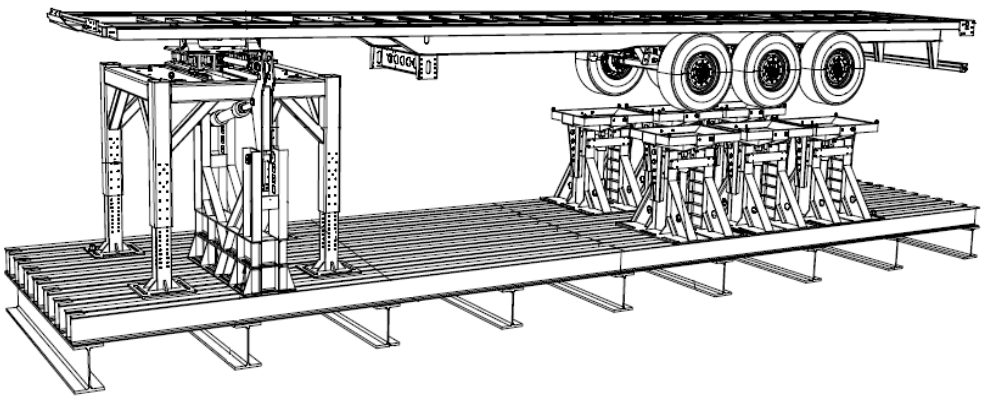
Para alcanzar los objetivos y desarrollos planteados en el proyecto se propone la siguiente metodología de trabajo resumida en los siguientes puntos:

- Análisis del estado del arte. Se trata de analizar los sistemas de ensayo actuales, así como las maniobras consideradas como de interés a la hora de ser simuladas en el banco. Además, deberán ser definidas las variables que quieren ser controladas y medidas durante la realización de cada ensayo.
- Diseño inicial de banco. En base al estado del arte actual se plantearán diferentes soluciones y alternativas, en función de las necesidades planteadas en el punto anterior y que deberán ser cubiertas por el banco. El análisis y valoración de todas las consideradas se concretará en una primera propuesta de bancada.
- Propuesta de solución final. A partir de los resultados obtenidos en la fase anterior se desarrollará la propuesta final que mejor se adapte a los criterios previos definidos.
- Desarrollo de la solución final. Cálculo, diseño y optimización de componentes. Analizadas las diferentes propuestas, y seleccionada aquella que cumpla con los criterios establecidos, en esta fase se procederá al desarrollo técnico de todos los elementos que integran el conjunto.
- Montaje final del banco y puesta en funcionamiento. Por último, se procederá a realizar una fase de ajuste de subsistemas y componentes, así como las primeras pruebas sobre un prototipo de semirremolque completo, con objeto de realizar los últimos ajustes de la bancada y comprobar el correcto funcionamiento del mismo.

4. Resultados obtenidos. Desarrollo de la bancada de ensayos

El diseño general del nuevo sistema se compone de una bancada (obra civil) sobre la cual serán integrados un conjunto de soportes que sustentarán al vehículo, y cuyas partes móviles (actuadores hidráulicos) inducirán el sistema de fuerzas y/o desplazamientos sobre el vehículo, es decir, introducirán sobre el semirremolques las cargas de ensayo (ver Figura 2).

Figura 2: Esquema general de la bancada de ensayos propuesta



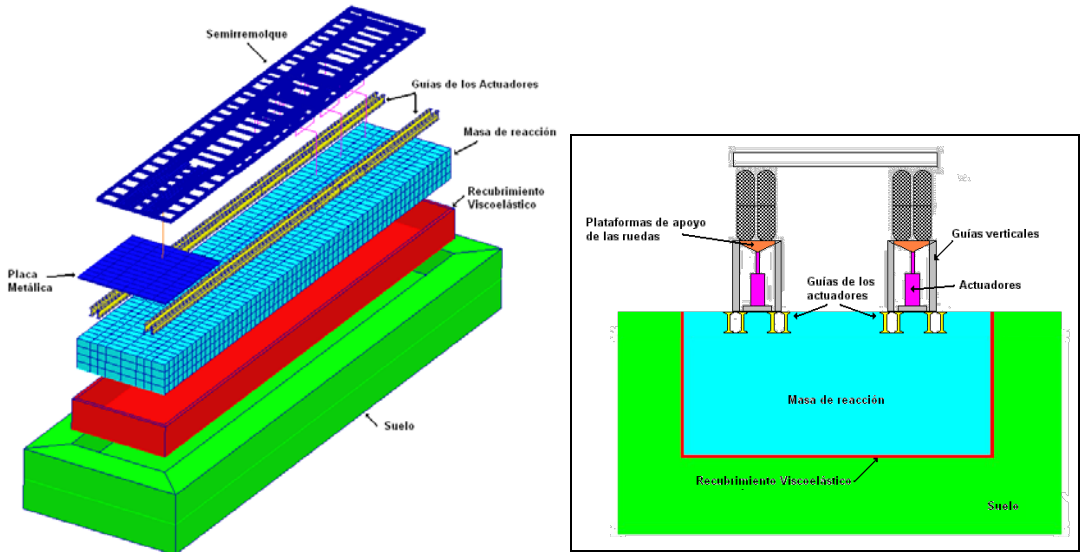
El conjunto consta de un total de seis actuadores verticales encargados de aplicar desplazamientos y/o fuerzas en cada una de las ruedas del semirremolque. Además, un actuador horizontal aplicará las fuerzas y/ desplazamientos en el king-pin equivalentes a las ejercidas por la cabeza tractora del camión durante, por ejemplo, la maniobra de “giro de radio mínimo”. Los elementos básicos que componen este diseño, y que son los que han sido resueltos a lo largo de este proyecto, se resumen en los siguientes:

- Grupo hidráulico
- Armario de potencia
- Armario de adquisición y servocontrol
- Estación de movimiento vertical
- Estación de movimiento horizontal
- Hardware y software de control de la instalación
- Otros elementos

4.1 Desarrollo de la obra civil

La bancada se compone de una masa de reacción empotrada en el suelo, a través de un elemento de aislamiento viscoelástico capaz de aislar en la medida de lo posible el sistema del exterior, impidiendo de esta forma que se transmitan vibraciones tanto de la bancada al exterior como otras posibles que provengan de la nave en donde se sitúe el conjunto.

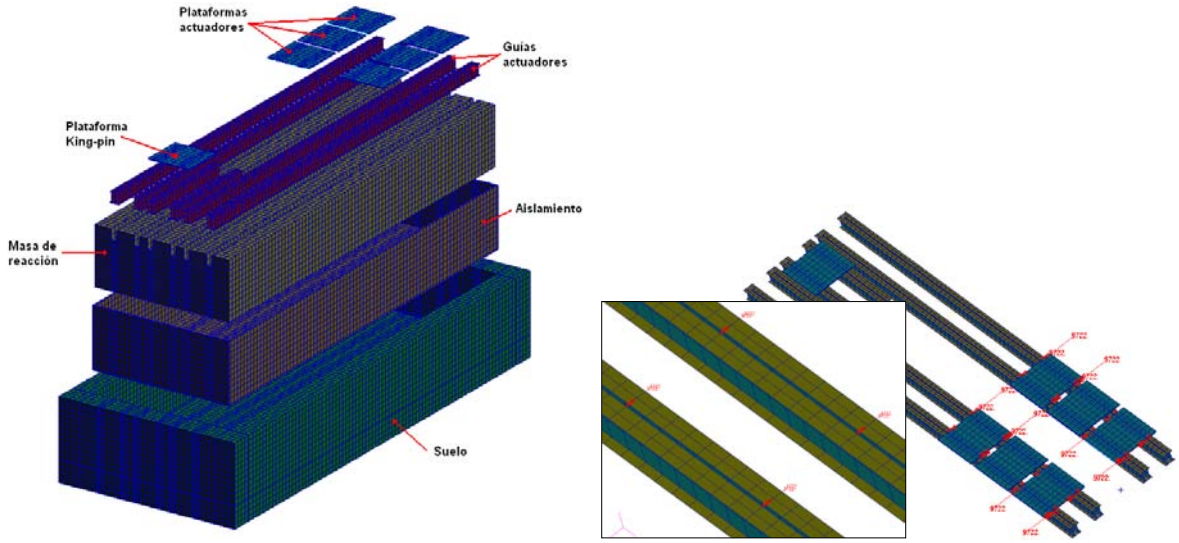
Figura 3: Esquema general de la bancada de ensayos propuesta



En la figura se muestra en color verde un esquema del suelo, sobre el cual se colocaría la masa de reacción intercalando la capa de material viscoelástico (en color rojo) entre ambos. El bloque de reacción estaría formado por una masa de hormigón, sobre la cual se integrarían un conjunto de vigas de acero que servirán como elementos guía de los sistemas de apoyo de los actuadores. La estructura del semirremolque se apoyará sobre una quinta rueda en la zona del King pin y en las seis ruedas, cada una de estas sobre una plataforma de suelo intercambiable, permitiendo el ensayo en diferentes tipos de suelo.

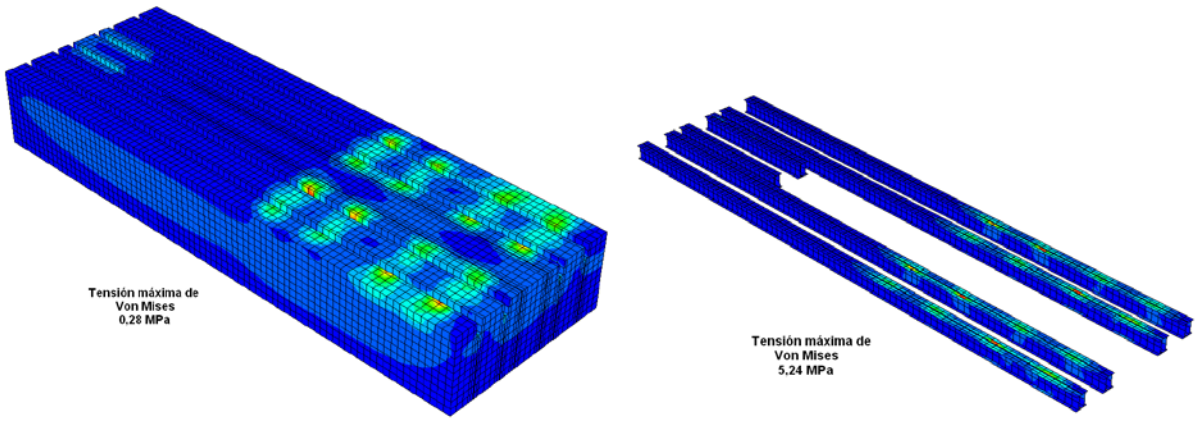
Se han realizado una serie de cálculos con objeto de estimar los niveles tanto de rigidez como de resistencia a los que esta estructura se ve sometida según una serie de casos de carga y condiciones de contorno. El método utilizado para la resolución del problema consiste en la simulación del modelo mediante técnicas basadas en el MEF.

Figura 4: Modelo de Elementos Finitos de la propuesta de bancada



Tras definir completamente todas las variables del problema éste ha sido analizado y han sido obtenidos una serie de resultados tanto en términos de rigidez como de resistencia (Ortiz 1980; Shigley & Mischke 1996; Timoshenko 1961). A continuación se muestra algunos ejemplos de resultados obtenidos en esta simulación:

Figura 5: Mapas de tensiones máximas obtenidas sobre elementos del banco



Tras estudiar en detalle todos los requerimientos que esta estructura debe cumplir para alcanzar unas condiciones óptimas de operación se ha llegado a un diseño final, traducido a unos planos constructivos y a la posterior ejecución y seguimiento de la obra. A continuación se muestran algunos detalles de las diferentes fases de ejecución llevadas a cabo durante el desarrollo de la obra.

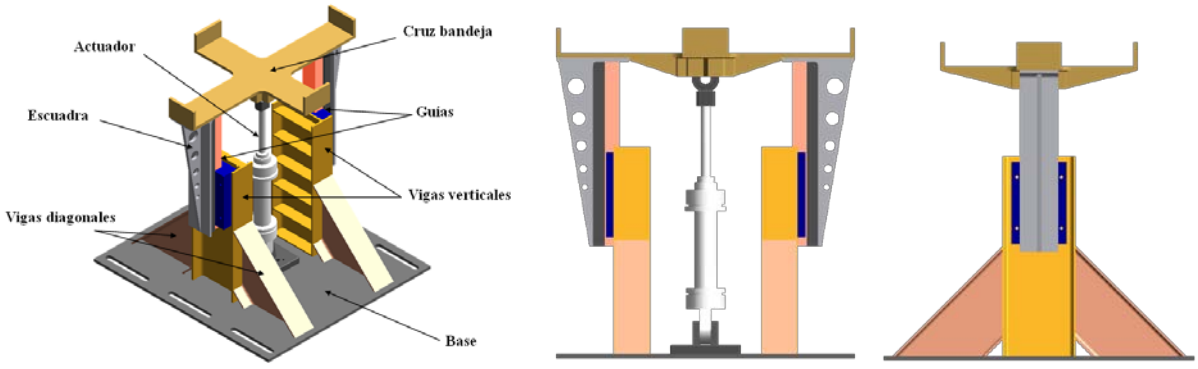
Figura 6: Detalles de ejecución de la obra correspondiente a la bancada

4.2 Diseño y desarrollo de soportes de aplicación de carga

Otro conjunto de elementos que forman parte del sistema es el de los diferentes soportes distribuidos sobre la propia bancada y que tienen las funciones principales de sustentar el semirremolque objeto de ensayo y la de transmitir al mismo todo el conjunto de fuerzas y/o desplazamientos en los puntos de "entrada de cargas", es decir, tanto en cada una de las ruedas como en la quinta rueda. Estos elementos, accionados por un conjunto de cilindros hidráulicos, serán los encargados de someter al semirremolque a las solicitaciones creadas en las maniobras de giro de radio mínimo con escalón y la de bacheado.

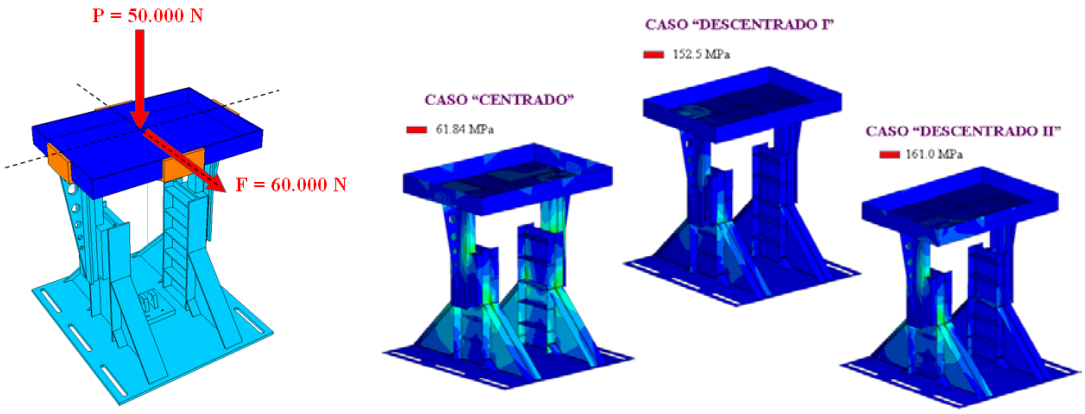
Existen dos puntos de actuación principales: el primero de ellos (soportes verticales) es el encargado de introducir solicitaciones en cada una de las ruedas del semirremolque y el segundo (soporte y mesa de apoyo de la quinta rueda) se encargará de introducir una serie de cargas y desplazamientos sobre la quinta rueda del mismo. La combinación de ambos tipos de sistemas permitirá la simulación de las maniobras especificadas en los objetivos de la bancada. El proceso de diseño del sistema de soportes se ha basado también en el análisis de resultados proporcionados por simulaciones mediante el MEF.

Figura 7: Diseño de partida de los soportes verticales de rueda



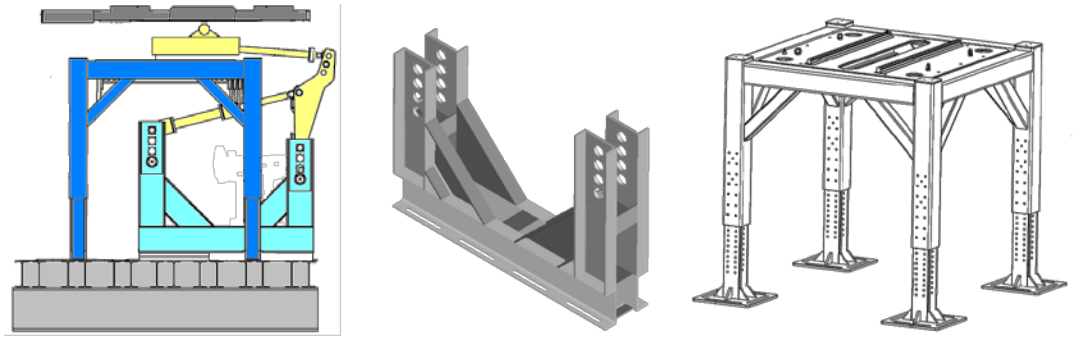
Tras el análisis de de los resultados obtenidos en las simulaciones, se proponen diferentes rediseños y optimizaciones hasta obtener un diseño óptimo de soporte. La siguiente figura muestra algunos detalles de las simulaciones realizadas sobre esta estructura:

Figura 8: Simulaciones numéricas realizadas sobre soporte vertical de rueda



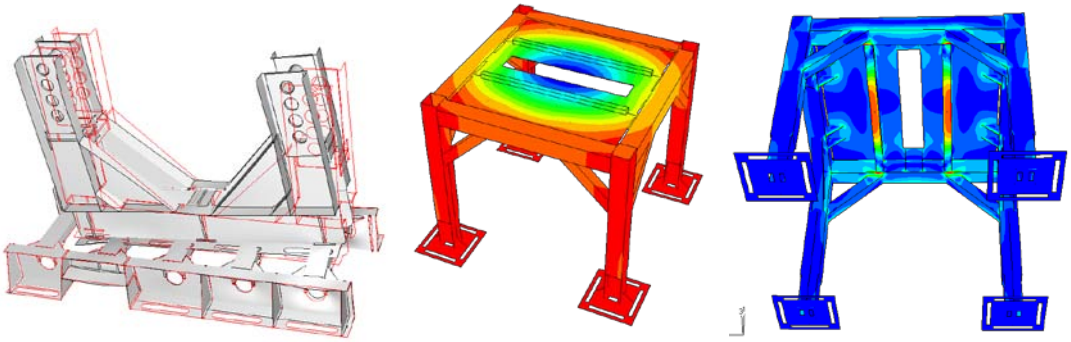
De forma similar se aborda el diseño del resto de soportes de la bancada. En el caso de la estructura de aplicación de cargas sobre el King pin, formada por una mesa de apoyo guiada y por un soporte para la aplicación de cargas horizontales, las configuraciones elegidas son las mostradas en la siguiente figura:

Figura 9: Detalles del modelo de mesa y soporte de aplicación de cargas en King pin



Las geometrías anteriores son simuladas frente a casos de carga críticos, analizando los resultados obtenidos en cada caso. Finalmente, y en base a dichos resultados, se propondrán los diseños finales de estas estructuras.

Figura 10: Simulaciones numéricas realizadas sobre soporte horizontal y sobre mesa



En paralelo al desarrollo de la obra civil, y tras obtener el diseño óptimo, se fueron fabricando el conjunto de soportes según las especificaciones de diseño previamente establecidas. En total fueron fabricados seis soportes verticales (uno para cada una de las ruedas del vehículo a ensayar), la mesa para el apoyo de la zona delantera del semirremolque (en donde se acoplará el carro para el desplazamiento lateral del king pin) y un conjunto de soporte delantero con su base en el cual se colocará el cilindro encargado de producir dichos desplazamientos laterales sobre la quinta rueda acoplada al carro.

Figura 11: Detalles de montaje y terminación de soportes de la bancada

4.3 Diseño y desarrollo del sistema de accionamiento hidráulico

Otro de los sistemas importantes del banco es el hidráulico formado por una serie de elementos integrados que permiten el accionamiento de cada una de las partes móviles de la máquina y, por lo tanto, la aplicación de las diferentes solicitaciones sobre los vehículos ensayados. De forma resumida, el sistema hidráulico de la bancada está compuesto por los siguientes elementos (ver figura 12):

- Actuadores hidráulicos.
- Grupo hidráulico.
- Elementos de conexión y otros.

Figura 12: Vistas generales del grupo hidráulico incorporado en el banco

Mediante la ejecución de la fase de diseño del sistema hidráulico debe conseguirse que las prestaciones del sistema sean adecuadas a las necesidades demandadas en cada momento en función de las características del ensayo a realizar.

4.4 Sistema eléctrico y de control

Los sistemas eléctricos y de control han sido desarrollados de acuerdo a las siguientes directivas y especificaciones:

- 73/23/EEC Directiva Baja Tensión y sus directivas anexas.
- 89/336/EEC Directiva de Compatibilidad Electromagnética y sus directivas anexas,
- EN 60204 Seguridad de máquinas, Partes de los sistemas de mando relativas a seguridad, Parte 1: Principios generales para el diseño.
- EN 292 Seguridad de las máquina. Conceptos básicos, Principios generales para el diseño. Parte 1 (Terminología básica, metodología y Parte 2 (Principios y especificaciones técnicas).

La máquina será gobernada desde un cuadro de mandos denominado armario de control, un panel de mando que se conecta al armario de potencia donde residirá el PLC de control de máquina. El sistema eléctrico consta de dos subsistemas diferenciados: uno de control hidráulico (Armario de Potencia y Armario de Control) y uno de control y medida (SAS).

Para el control de los diferentes sistemas se ha desarrollado también un software específico que será instalado en un PC situado en la caseta de control, en la cual se encuentra también el armario de control. Desde las diferentes pantallas del programa pueden controlarse la mayoría de los sistemas del banco de ensayos y sobre todo pueden controlarse todas las variables obtenidas durante el proceso de control de la máquina como, por ejemplo, los valores de medida obtenidos en los diferentes puntos tratados mediante técnicas extensométricas. La aplicación consta de los siguientes módulos:

- Definición de sesiones.
- Realización de un ensayo.
- Mantenimiento.

4.5 Montaje final de componentes y puesta en marcha de la instalación

Una vez diseñados y desarrollados la totalidad de los componentes que integran la bancada se procede al ensamblaje final de todos ellos, así como a la puesta en marcha de la instalación, con objeto de ajustar y comprobar el correcto funcionamiento de todos los sistemas. Además, se procede a una primera fase de pruebas tanto en vacío como sobre un semirremolque montado sobre los soportes.

Figura 13: Detalles de la integración de componentes y sistemas sobre bancada

Es necesario realizar una primera fase de pruebas y ajustes antes de proceder a la realización del primer ensayo sobre vehículo real. Esta fase es muy importante para asegurar el correcto funcionamiento de todos los sistemas que intervienen en un ensayo. Algunas de estas operaciones consisten en poner a punto los componentes del sistema hidráulico, calibrar los diferentes sensores de la máquina, establecer los límites de control correspondientes, realizar ajustes en el software de control, etc. Una vez ajustados todos los parámetros, se realizarán una serie de pruebas sobre un prototipo de vehículo. No obstante, por motivos de seguridad y simplicidad en primer lugar se realizan una serie de pruebas sobre un vehículo sin carga, con el objetivo fundamentalmente de ajustar distintos parámetros de control así como para probar el correcto funcionamiento de la máquina ya con un vehículo montado en ella. En este ensayo se introducen diferentes perfiles a reproducir por cada uno de los actuadores para ver su comportamiento, sin embargo, estos perfiles iniciales no corresponden a maniobras lógicas sino que están creados sin ningún patrón simplemente a modo de prueba.

Figura 14: Detalles de las diferentes fases de ajustes y pruebas de la bacada

5. Conclusiones

Mediante las diferentes fases del proyecto se ha desarrollado una nueva técnica de ensayos de fatiga aplicados a semirremolques de grandes dimensiones y otros vehículos pesados enmarcados dentro de la misma categoría. Esta nueva herramienta permite la realización de la fase de pruebas y ensayo necesarios para abordar con garantías el desarrollo de este tipo de vehículos, resolviendo las limitaciones que presentan los métodos de ensayo tradicionales. El desarrollo y puesta en marcha de la bancada supone una notable mejora en el proceso de diseño de este tipo de vehículos, ya que las actuales fases de ensayo de prototipos, basadas fundamentalmente en pruebas en circuitos cerrados, implican grandes costes tanto económicos como sobre todo de largos tiempos de ejecución.

A lo largo de las diferentes fases del proyecto se ha realizado el diseño detallado de cada uno de los componentes y/o subsistemas que integran la bancada:

- Grupo hidráulico
- Armario de potencia
- Armario de adquisición y servocontrol
- Estación de movimiento vertical
- Estación de movimiento horizontal
- Hardware y software de control de la instalación
- Otros elementos

Además del diseño y optimización de cada uno de ellos, se ha descrito el proceso de desarrollo e integración de todos los componentes sobre el banco y la fase de puesta en marcha. Los componentes mecánicos han sido diseñados utilizando herramientas de simulación basadas en el Método de los Elementos Finitos, el cual es capaz de mostrar el comportamiento de los mismos cuando se encuentran sometidos a diferentes estados de carga correspondientes con la realidad.

Los resultados obtenidos durante la fase de pruebas realizadas con este banco servirán, por una parte, para observar el comportamiento real de la estructura y por otra para validar los modelos teóricos utilizados en la fase de simulación numérica.

6. Referencias

Beermann, H. J. (2007). *The analysis of Commercial Vehicle Structures*. *Mechanical Engineering Publications Limited*. Universidad de Michigan: Guy Tidbury.

Carrera, M. (2003). Fatigue analysis of a semitrailer axle support by means of FEM and application of elastic-plastic model for welding joints and thermally affected zones. COMPLAS VII, Barcelona.

Hibbitt, Karlsson & Sorensen (1998). Abaqus standard user´s Manual. Versión 5.8, vol. I, vol. II, vol. III, Hibbitt, Karlsson&Sorensen Inc.

Larrodé E., Castejón L. & Miravete A. (1996). Analysis of Large Structures for Ground Transportation Applications. 29th ISATA International Symposium on Automotive Technology and Automation. Florencia (Italia). 3-6 Junio 1996.Road and Vehicle Safety, pp. 345-351.

Oñate, E. (1992). Cálculo de estructuras por el método de elementos finitos. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona, España.

Ortiz Berrocal, L. (1980). Resistencia de materiales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Madrid.

Shigley J. E., & Mischke. C. R. (1996). Diseño en Ingeniería Mecánica. 1996. México. Edit. McGraw-Hill/Interamericana de México S. A. de C. V. 4ta edición en español.

Sing Tse, F. & Morse E. I. (1989). Measurement and instrumentation in engineering: principles and Basic Laboratory Experiments. New York [etc.] : Marcel Dekker, cop.

Timoshenko, S.P. (1961). Theory of elastic stability. 2ª Ed., Mc Graw- Hill, N.Y.

03-021

DESIGN, ANALYSIS AND EXPERIMENTAL TEST OF A 5 METERS FLOOR FOR CARGO AREA OF TRUCKS

Cuartero Salafranca, Jesús [1]; Castejón Herrer, Luis [1]; Malón Litago, Hugo [1]; Perez, Victor [2] [1] Universidad de Zaragoza, [2] BRAUSA

In recent years, fuel consumption and competition in transport have generated that the vehicles optimization is a critical phase in the design of all types of vehicles. The developed study include the design, numerical analysis by means of the Finite Element Method and experimental test of an optimized floor for cargo area of a 5 meters traditional vehicle intended for the carriage of goods. Traditionally these floors are composed by steel I-beams and plywood with low performance. In the developed study, a complete redesign has been carried out. I-beams and plywood have been replaced by folded profiles of high strength steel and plywood with low thickness and high performance. The obtained results show a 35% reduction in weight of the optimized floor of the cargo area compared to traditional floor. This weight reduction entails a reduction of manufacturing cost, which compensates the higher cost of materials. As result of study, a lightened floor with a performance slightly higher with respect to a traditional floor for trucks has been obtained

Keywords: *Design; experimental test; FEM, floor for cargo area; truck*

DISEÑO, CÁLCULO Y ENSAYO DE UN SUELO OPTIMIZADO DE 5 METROS PARA LA ZONA DE CARGA DE UN CAMIÓN

En los últimos años, el consumo de combustible y la competencia en el transporte hace que la optimización de vehículos resulte ya no interesante, sino crítica a la hora de comercializar todo tipo de vehículos. En este estudio se muestra el diseño, análisis numérico mediante el Método de los Elementos Finitos y ensayo del suelo de la zona de carga para un vehículo tradicional de 5 metros, destinado al transporte de mercancías. Tradicionalmente los suelos se componen de vigas en I de acero convencional y madera laminada de bajas prestaciones. En el estudio desarrollado se realiza un completo rediseño con perfiles plegados en acero de alta resistencia y madera laminada de bajo espesor y altas prestaciones, obteniendo como resultado una reducción del 35% del peso del suelo de la zona de carga respecto a los suelos tradicionales. Esta reducción de peso lleva asociada una reducción de coste de fabricación, lo que en conjunto compensa el coste superior de la materiales. Como conclusión del estudio se consigue un vehículo con prestaciones ligeramente superiores al convencional, el cual ha sido aligerado.

Palabras clave: *Diseño; ensayo; MEF; suelo de zona carga, camión*

Correspondencia: Hugo Malón Litago hml@unizar.es

Agradecimientos: A BRAUSA por la financiación aportada para el desarrollo de este proyecto.

1. Introducción

En la actualidad el sector del transporte de mercancías demanda vehículos más ligeros, principalmente camiones, que permitan el transporte de mayor cantidad de mercancías. En vehículos destinados al reparto o la mensajería, la reducción de tara del vehículo implica adicionalmente una reducción considerable en el consumo de combustible, debido a que estos vehículos normalmente realizan descargados el viaje de vuelta.

Por esta razón, el diseño de nuevos modelos de carrocerías para camiones de pequeñas dimensiones no es sólo una herramienta comercial, sino una necesidad existente en el mercado actual debido a la competencia del sector.

La dificultad que presenta el desarrollo de nuevos modelos de carrocerías es conseguir un diseño que manteniendo o mejorando el comportamiento de los vehículos actuales según criterios de rigidez y resistencia presente una reducción de la tara. Para ello es necesario combinar la incorporación de aceros con mejores propiedades mecánicas que los usados convencionalmente, con diseños geométricos que optimicen el uso de estos aceros.

El desarrollo de estos nuevos modelos de carrocerías requiere un proceso de diseño y optimización de las mismas, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento de sus componentes ante las solicitaciones del trabajo diario.

2. Objetivo

El principal objetivo del estudio es desarrollar un nuevo modelo de suelo para la zona de carga de camiones de pequeñas dimensiones, destinados al reparto de productos o mensajería.

Para alcanzar el objetivo principal es necesario realizar dos fases en el estudio. La primera consiste en el diseño y optimización del modelo geométrico del nuevo suelo para la zona de carga, la cual se realiza mediante técnicas numéricas basadas en el Método de los Elementos Finitos.

En la segunda fase se realiza un ensayo experimental que permita validar el correcto comportamiento del diseño realizado, antes de ser lanzado al mercado. La figura 1 muestra el camión empleado en los ensayos experimentales, el cual va equipado con el suelo desarrollado en el estudio.

Figura 1: Camión equipado con el prototipo del suelo desarrollado

3. Análisis numérico del suelo para la zona de carga de camiones

El análisis numérico mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF) es una técnica aplicada frecuentemente en el análisis estructural de chasis de semirremolques, camiones, maquinaria y aperos agrícolas (Beermann, (1984); Kodiyalam & Sobieszczanski-Sobieski, (2001); Karaoglu & Kuralay, (2002); Capello et all (2005); Li et al, (2007); Valladares et al (2009); Carrera et al, (2010); Miralbes, & Castejon, (2010); Deng et al, (2011); Hoefinghoff et al, (2011); Miralbes, Malon & Castejon (2011); Vidal et al, (2011)), y que ha sido empleada con antelación en el diseño y optimización de suelos para la zona de carga de camiones (Malón et al, (2013)).

En el presente estudio se ha empleado la citada técnica numérica en el diseño y optimización de un suelo para la zona de carga de camiones de pequeñas dimensiones, destinados al reparto de mercancías o la mensajería.

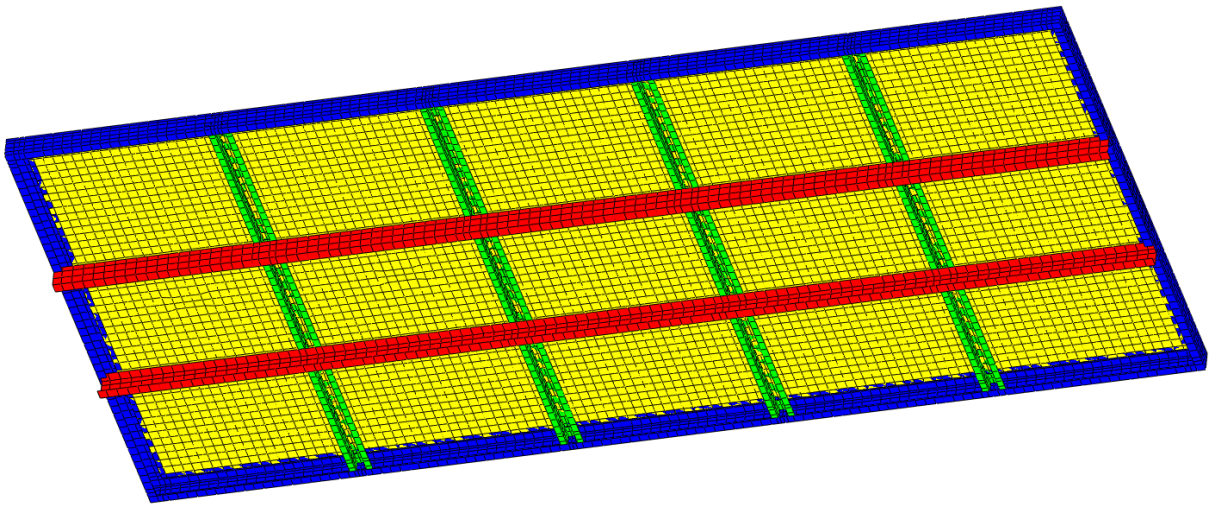
Los casos de carga analizados corresponden a maniobras habituales a las cuales están sometidos los suelos de las carrocerías de este tipo de camiones, y que corresponden con las maniobras críticas para estos componentes según criterios de resistencia y rigidez.

3.1 Modelo de elementos finitos

En el proceso de diseño y optimización de un suelo para la zona de carga de un camión, ha sido desarrollado un modelo inicial de elementos finitos del mismo, figura 2, el cual consta de 100.000 nodos y 80.000 elementos

El diseño inicial de suelo, está formado por dos sobrebastidores (en rojo la figura 2), sobre los cuales se instalan cuatro travesaños (en verde en la figura 2). El perímetro del suelo está compuesto por unas bandas de cierre (en azul en la figura 2). Para finalizar, la zona sobre la cual se apoya la carga son chapas de madera (en amarillo en la figura 2), las cuales van ancladas a los travesaños y las bandas laterales.

Figura 2: Modelo numérico inicial del suelo para zona de carga

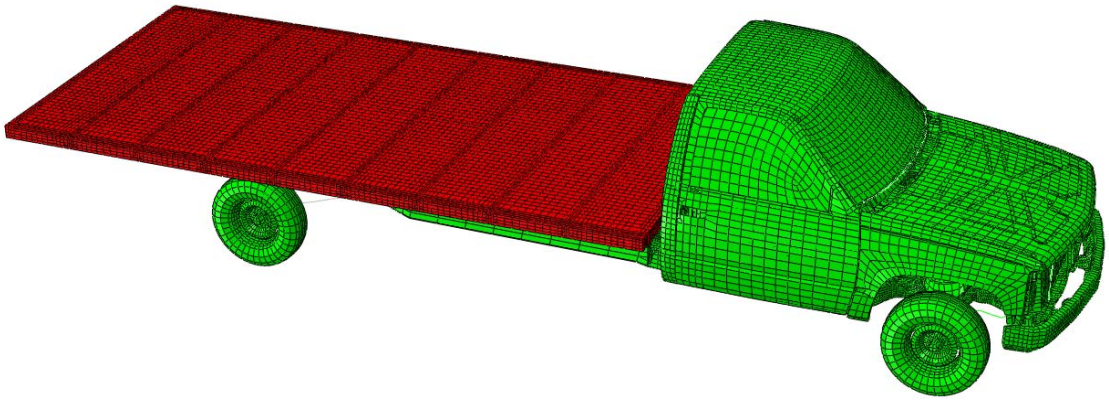


La discretización del modelo se ha realizado a partir de las dimensiones generales de un modelo comercial, las cuales han sido proporcionadas por la empresa BRAUSA.

Con el fin de realizar una correcta simulación de los caso de carga ha sido necesario incorporar al modelo numérico la discretización de la geometría de un camión, sobre el cual se instala el modelo numérico del suelo inicial realizado. El modelo completo empleado en

los cálculos numéricos se muestra en la figura 3, en la cual se muestra en rojo el suelo y en verde el camión.

Figura 3: Modelo completo de elementos finitos



Los elementos empleados en el mallado del suelo son en su totalidad elementos tipo lamina (*Shell*), así como en la discretización del camión, con la excepción de algunos componentes del mismo que se han sido realizados con elementos volumétricos. La unión del suelo al chasis del camión se ha realizado en los puntos de anclaje destinados a esta función en el chasis mediante Multi Point Constraints (MPC´s).

Los materiales empleados en el diseño del nuevo suelo son acero S355JR, cuyas propiedades mecánicas han sido obtenidas de la norma EN 10025-2006, para la totalidad de los componentes en acero, y material contrachapado para la madera suelo.

3.2 Condiciones de contorno

A fin de reproducir correctamente el comportamiento del suelo de la zona de carga del camión en las maniobras a simular, se han impuesto una serie de condiciones de contorno que reproducen las existentes en la realidad. En concreto se han restringido la totalidad de los desplazamientos de los nodos inferiores de las ruedas del camión, lo que simula el contacto real existente entre las ruedas y el suelo cuando el vehículo está parado.

3.3 Casos de carga

Los casos de carga analizados en el proceso de diseño y optimización del suelo para la zona de carga de camiones de pequeñas dimensiones corresponden al caso de carga de reposo y los dos casos de carga más críticos desde el punto de vista estructural para los componentes del suelo. En los siguientes puntos se describen los casos de carga analizados.

El primer caso de carga, denominado *“reposo”*, corresponde a la situación en la cual el camión está cargado con 2000 kg, distribuidos uniformemente en la zona de carga, sin haber movimiento del vehículo. Este caso de carga sirve como punto de partida para el segundo caso de carga analizado.

El segundo caso de carga, denominado *“escalón”*, corresponde a la situación en la cual el camión está parado para realizar el proceso de descarga, pero una de sus ruedas traseras esta subida a una acera. Esta maniobra, muy frecuente en camiones destinados al reparto en ciudades, genera una torsión en la estructura del suelo, lo que provoca concentraciones de tensiones en zonas muy concretas de la estructura. La figura 4 muestra un camión ante este caso de carga, imagen que se ha obtenidos de los ensayos experimentales realizados.

Para realizar la correcta simulación del caso de carga, se parte de los resultados obtenidos del caso de carga de "reposo" y se introduce un desplazamiento ascendente de 150mm en una de las ruedas traseras del camión.

Figura 4: Caso de carga “escalón”

El tercer y último caso de carga analizado, "huella de carretilla", es el caso en el cual se introduce una carretilla en el camión para descargar las mercancías. El problema que presenta esta maniobra es que concentra una carga vertical de magnitud considerable en una superficie muy reducida, en concreto la zona de contacto de las ruedas de la carretilla con la madera del suelo del camión. En la simulación del caso de carga se introduce una fuerza vertical descendente de 850kg en una superficie de 180x80mm, localizada en el centro del penúltimo vano de la estructura del suelo, el cual está entre los dos últimos travesaños de suelo.

4. Resultados del análisis numérico

Una vez que el modelo de elementos finitos inicial del suelo para la zona de carga de un camión de pequeñas dimensiones ha sido realizado se procede a realizar los cálculos numéricos de los casos de carga a analizar.

En este apartado se muestran los resultados obtenidos mediante el Método de los Elementos Finitos del diseño inicial de suelo, así como los resultados finales del proceso de optimización realizado hasta obtener un diseño óptimo del mismo.

En el proceso de optimización desarrollado se ha realizado mediante criterios de rigidez y resistencia

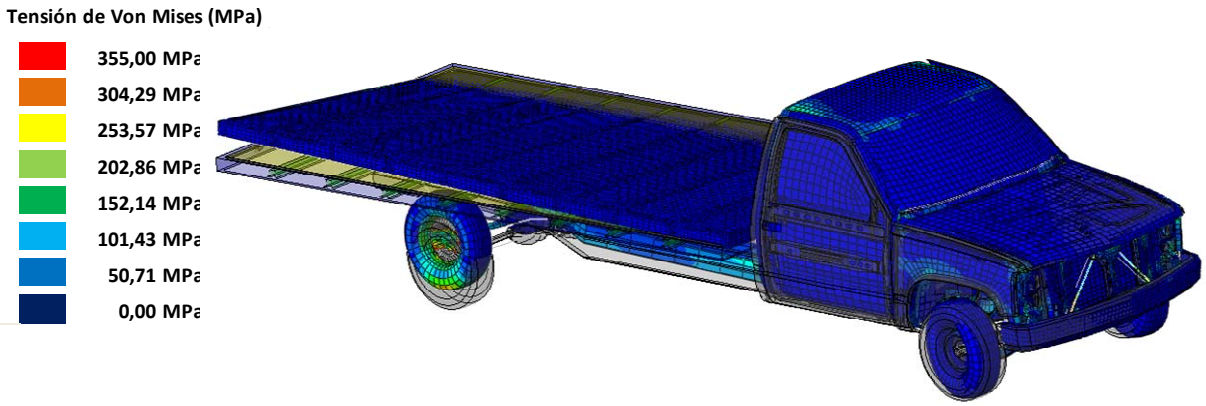
4.1 Diseño inicial

Una vez que los cálculos numéricos del modelo inicial han sido realizados, se procede a analizar los resultados obtenidos del chasis inicial con el fin de optimizar la geometría de los componentes del mismo.

Los cálculos numéricos realizados proporcionan, entre otros resultados las tensiones equivalentes de Von Mises, así como los deslazamientos del modelo global analizado y de cada uno de sus componentes por separado.

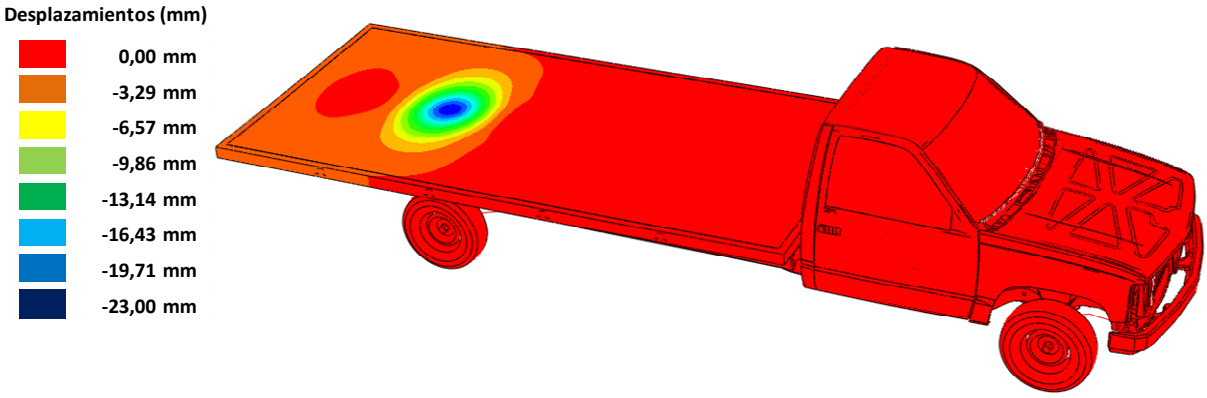
La figura 5 muestras las tensiones equivalentes obtenidos del caso de carga “escalón”, que es el más crítico a nivel global desde un punto de vista resistencia y rigidez. Además se muestra la deformada del vehículo frente a la posición inicial del mismo, apreciándose la torsión a la que está sometida

Figura 5: Tensiones de Von Mises del caso de carga “escalón”



La figura 6 muestra los desplazamientos verticales del caso de carga “huella de carretilla”, el cual es el más crítico para la madera del suelo según los criterios de rigidez y resistencia.

Figura 6: Desplazamientos verticales del caso “huella de carretilla”



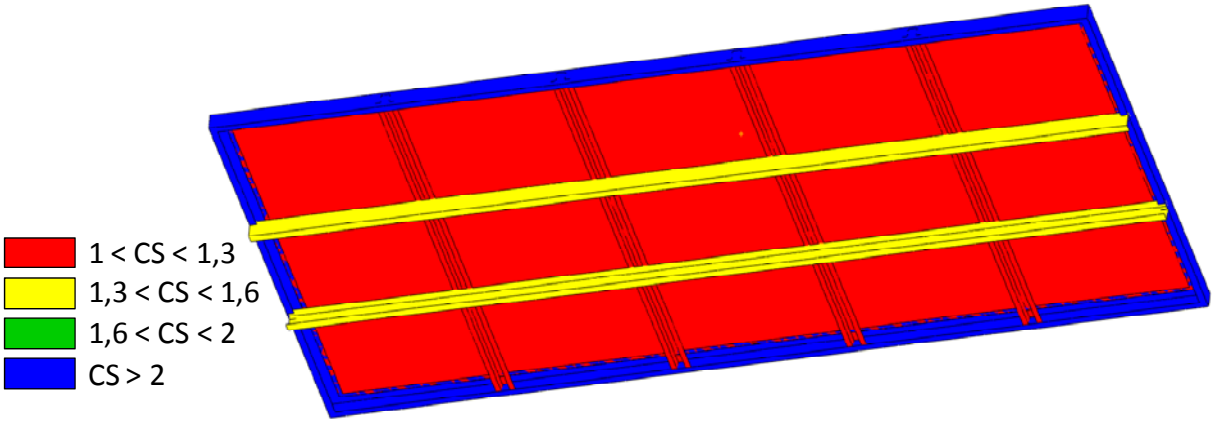
Analizando los valores máximos de tensiones de Von Mises obtenidos en la estructura metálica del suelo, destacan las tensiones en los travesaños del caso de carga “escalón”. En este caso las tensiones máximas registradas se localizan en las uniones de los travesaños con los largueros del sobrebastidor en la zona de eje trasero.

Por otro lado los resultados obtenidos del caso “huella de carretilla” presentan valores de tensiones y desplazamientos muy elevados en la madera del suelo, llegando a la rotura del material.

En resumen, el caso de carga “escalón” es crítico según el criterio de resistencia para la estructura metálica del suelo, mientras que el caso de “huella de carretilla” es crítico para la madera del suelo según criterios de rigidez y resistencia.

Con el fin de agilizar el proceso de optimización, en la figura 7 se muestra una imagen en la que se representa por colores el coeficiente de seguridad mínimo de los componentes de la estructura del suelo inicial para la totalidad de los casos de carga.

Figura 7: Coeficientes de seguridad mínimos de los componentes del suelo inicial



4.2 Diseño optimizado

Una vez han sido analizados los resultados obtenidos de los cálculos numéricos del chasis inicial se procede con el proceso de optimización del mismo.

Conocido el fallo por rotura del piso de madera se decide reducir la longitud de los vanos entre travesaños del diseño inicial del suelo. En concreto se pasa de 4 travesaños del modelo inicial a 8 travesaños del modelo optimizado, lo que reduce la distancia de los vanos a la mitad. Para conseguir este diseño, los 8 travesaños del modelo optimizado se distribuyen unifórmenle a lo largo de la longitud del suelo optimizado.

En referencia la geometría o los materiales de la madera o de los perfiles que componen la estructura metálica del suelo, se decide no realizar modificaciones. En el caso de la estructura metálica el único componente que podría presentar problemas son los travesaños, pero al duplicar el número de los mismos se reduce el estado tensional de los mismos. Por otro lado al reducir el vano entre travesaños, los esfuerzos se transmiten a los travesaños impidiendo deformaciones excesivas en la madera del suelo.

Las figuras 8 y 9 muestran una comparativa de los resultados obtenidos de tensiones de Von Mises del caso de carga más desfavorable para la estructura metálica del suelo, “escalón”, de los modelos “inicial” y “optimizado”. Como se aprecia en las imágenes al aumentar el número de travesaños se consigue un comportamiento más uniforme de la zona central de la estructura metálica, lo que implica una reducción de las tensiones máximas en estos componentes.

Los desplazamientos verticales máximos obtenidos de los modelos “inicial” y “optimizado” del caso de carga “huella de carretilla” se muestran las figuras 10 y11. En ellas se muestra un comportamiento claramente diferenciado. En el caso del modelo inicial la huella de la carretilla genera un desplazamiento vertical muy localizado de gran magnitud, mientras que el modelo optimizado consigue reducir la magnitud del desplazamiento al comportarse como una estructura más uniforme.

Figura 8: Tensiones del Von mises en los componentes de acero del suelo inicial en el caso de carga “escalón”

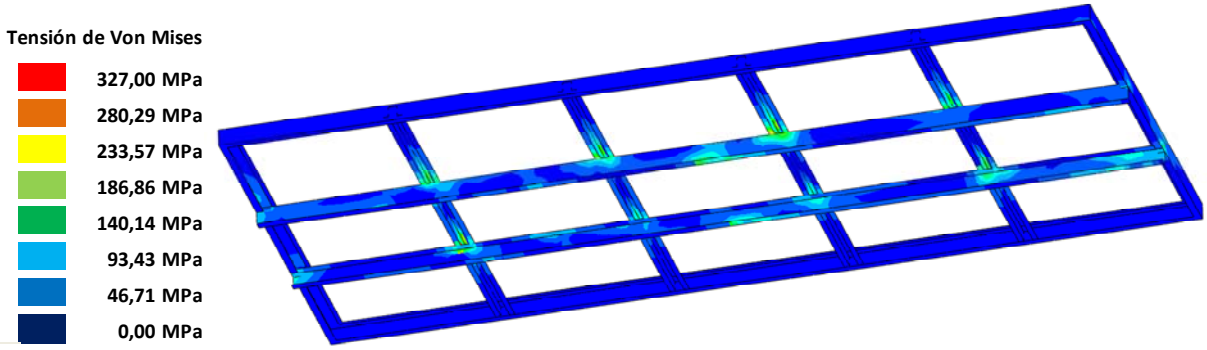


Figura 9: Tensiones del Von mises en los componentes de acero del suelo optimizado en el caso de carga “escalón”

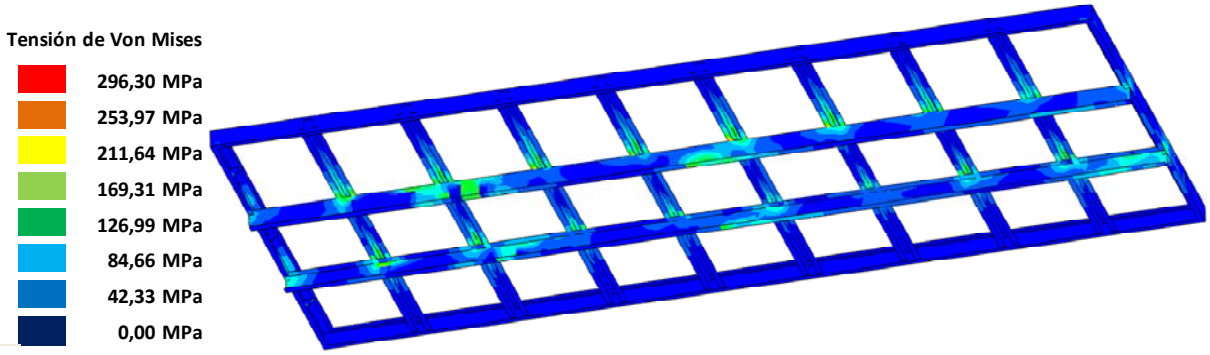


Figura 10: Desplazamientos verticales en el caso de “huella de carretilla” del suelo inicial

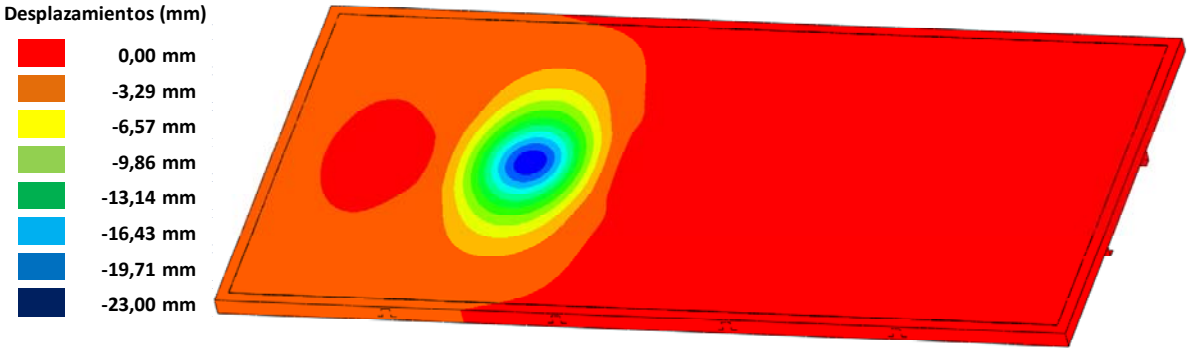
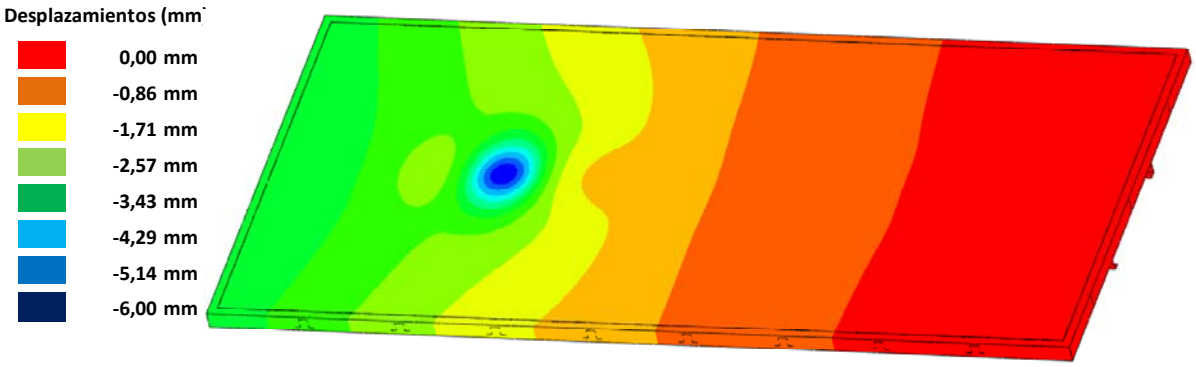


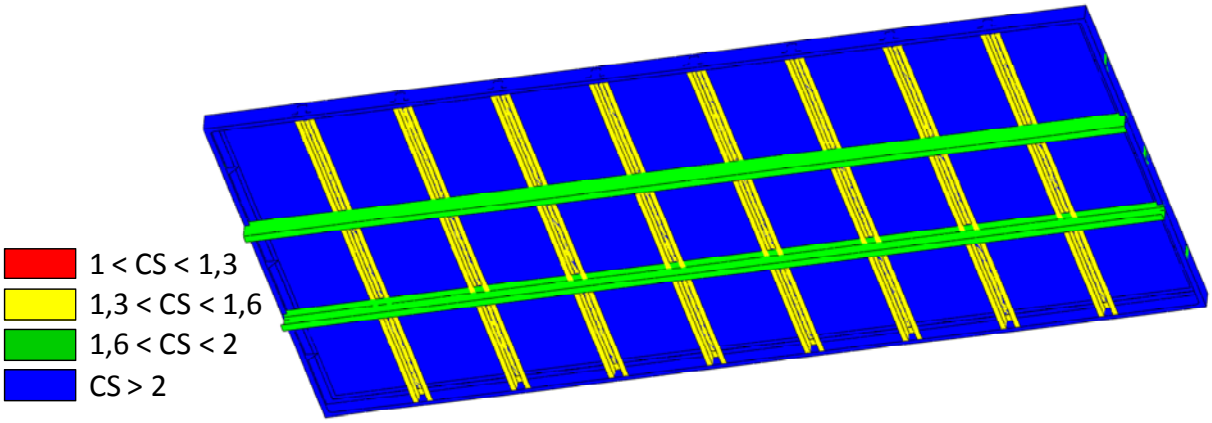
Figura 11: Desplazamientos verticales en el caso de "huella de carretilla" del suelo optimizado



Análogamente al modelo inicial, la figura 12 muestra los coeficientes de seguridad mínimos de cada uno de los componentes del chasis optimizado.

En ella se muestra como se ha optimizado el comportamiento de todos los componentes de la estructura del suelo, consiguiendo un coeficiente de seguridad mínimo de 1,3 para el modelo optimizado.

Figura 12: Coeficientes de seguridad mínimos de los componentes del chasis optimizado



5. Ensayo experimental

Una vez se ha obtenido un diseño óptimo de suelo para la zona de carga para camiones de pequeñas dimensiones, se procede a la fabricación y ensayo de un prototipo el cual permita validar el proceso de diseño y optimización realizado.

El prototipo del suelo se instala en un camión (figura 1) y es instrumentalizado con 8 galgas extensométricas unidireccionales. Cuatro de las galgas se colocan en uno de los largueros y otra tres en los travesaños segundo y tercero de la parte trasera de la estructura del suelo. La octava galga se emplea como galga de referencia, para poder corregir efectos debidos a la temperatura.

En el ensayo experimental se reproducen los casos analizados en el análisis numérico: "reposo", "escalón" (figura 4) y "huella de carretilla". La carga en los casos de "reposo" y "escalón" corresponde a dos palets de 1000kg cada uno.

La figura 13 muestra los resultados registrados en la realización del ensayo de las maniobras "reposo" y " escalón".

Figura 13: Datos registrados del ensayo experimental de las maniobras "reposo" y "escalón"

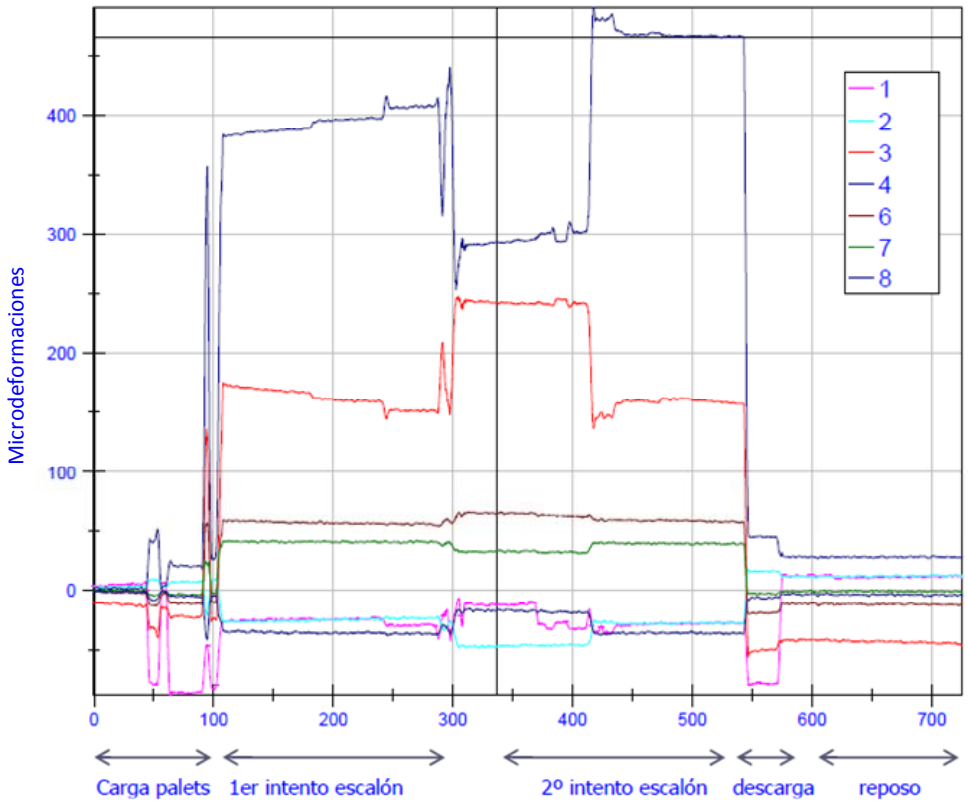


Tabla 1. Tensiones de Von Mises máximas obtenidas de los ensayos experimentales

Canal de medida	Tensiones de Von Mises máximas (MPa)		
	Reposo	Escalón	Huella Carretilla
1	19	19	25
2	2	13	23
3	4	34	29
4	11	97	82
6	3	17	54
7	1	8	34
8	2	7	15

Los valores registrados en los ensayos no presentan problemas de resistencia, como se muestra en la tabla 1. Del ensayo también se concluye que el suelo tiene un comportamiento satisfactorio según el criterio de rigidez. Por estas razonas se puede validar el diseño optimizado de suelo para la zona de carga de camiones de pequeñas dimensiones.

6. Conclusiones

En el estudio realizado se ha diseñado, optimizado y ensayado experimentalmente un suelo para la zona de carga de un camión de pequeñas dimensiones destinado al reparto o a la mensajería.

El modelo inicial ha sido diseñado en función de las dimensiones generales de un suelo actual, las cuales han sido proporcionadas por la empresa BRAUSA.

En el proceso de análisis y optimización se han empleado técnicas numéricas basadas en el Método de los Elementos Finitos. Estas técnicas han permitido obtener resultados de tensiones equivalentes de Von Mises y desplazamientos, los cuales han permitido optimizar el la estructura del suelo según criterios de rigidez y resistencia.

En este proceso se han analizado tres casos de carga, los cuales corresponden a un caso de “reposo” y a las dos maniobras más críticas para este tipo de suelos, como son “escalón” y “huella de carretilla”.

Se ha comprobado que el caso de carga “escalón” es el más restrictivo para la estructura metálica del suelo según el criterio de resistencia. Por el contrario, el caso de carga “huella de carretilla“ es el más crítico según criterios de rigidez y resistencia para la madera del suelo.

Los ensayos experimentales han permitido validar el prototipo fabricado a partir del análisis numérico desarrollado, pero no así el análisis numérico desarrollado, debido a que las cargas aplicadas en los ensayos experimentales no se correspondían con las aplicadas en los cálculos numéricos.

El diseño optimizado de suelo para la zona de carga de un camión de pequeñas dimensiones no presenta problemas según criterios de rigidez y resistencia.

Referencias

Beermann, H.J. (1984) Static Analysis of Commercial Vehicle Frames –A Hybrid Finite-Elements and Analytical Method. *International Journal of Vehicle Design* 5(1–2) pp 26–52.

Cappello, F. Ingrassia, T. Mancuso, A. et al. (2005) Methodical Redesign of a Semitrailer. *9th International Conference on Computer Aided Optimum Design in Engineering. Computer Aided Optimum Design in Engineering IX Book Series: Wit Transactions on the Built Environment*, Volume 80, pp. 359–369.

Carrera, M. Castejon, L. Miralbes, R. et al. (2010) Behaviour IA Rear Underrun Protection System on Car-to-Tank Vehicle Impact Used for Fuel Transportation, *‘‘International Journal of Heavy Vehicles Systems”* 17(3–4). pp. 199–215.

Deng, Y.D. Wang, J. Wen, Y. et al. (2011). The Static and Dynamic Characteristics Study of Aluminum Tank Semitrailer. *2nd International Conference on Manufacturing Science and Engineering. Manufacturing Process Technology*, PTS 1–5 Book Series: Advanced Materials Research, Volume 189–193, pp. 2233–2237.

Hoefinghoff, J. Jungk, A. Knop, W. et al. (2011). Using 3D Field Simulation for Evaluating UHF RFID Systems on Forklift Trucks. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 59(2), pp.689–691.

Karaoglu, C. & Kuralay, N.S. (2002). Stress Analysis of a Truck Chassis with Riveted Joints. *Finite Elements in Analysis and Design* 38(12), pp1115–1130.

Kodiyalam, S. & Sobieszczanski-Sobieski, J. (2001). Multidisciplinary Design Optimization - Some Formal Methods, Framework Requirements, and Application to Vehicle Design. *International Journal of Vehicles Design* 25(1–2), pp. 3–22.

Li, M.H. Lam, F. & Lee, G. (2007). Structural Assessment of Van Trailer Floor Systems with Aluminium Frame and Wood Decking. *International Journal of Heavy Vehicles Systems* 14(2). pp 216–226.

Malon, H. Castejon, L. Cuartero, J. &Martin-Buro, P. (2013) Numerical-experimental analysis of two floor platform designs for Auxiliary construction truck*. Experimental techniques*. IN PRESS

Miralbes, R. & Castejon, L. (2010). Fatigue Design of Tanker Semi-Trailers, *Dyna 85(6).* pp. 480–488.

Miralbes, R. Malon, H & Castejon L. (2011) Diseño de accesorios para el acoplamiento en carretillas manipuladoras: plumines y portapalets. En: *Libro de resúmenes del XV International Congress on Project Engineering.* ISBN 978-84-615-4542-1

Valladares, D., Castejon, L., Carrera, M., et al. (2009). Comparative analysis of two numerical methods of rollover simulation of a semitrailer for hydrogen transport. En *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conferences/Computers and Information in Engineering Conference,* pp. 1011–1019. San Diego, CA.

Vidal, M. Bone, A. Garcia-Ramos, F.J. Malon, H & Villacampa, R.(2011) Desarrollo de máquina para la aplicación localizada de cebo rodenticidas en parcelas agrícolas. En: *Libro de resúmenes del XV International Congress on Project Engineering.* ISBN 978-84-615-4542-1

03-024

INDUSTRIAL AND URBAN METABOLISM APPLIED TO PROJECT OF SUSTAINABLE PRODUCTS DESIGN

Martin Gomez, Alejandro Manuel [1]; Aguayo Gonzalez, Francisco [1]; Marcos Barcena, Mariano [2]; Córdoba Roldán, Antonio [1]; Lama Ruiz, Juan Ramon [1]

[1] Universidad de Sevilla, [2] Universidad de Cádiz

Product Design to provide high efficiency and produce less impact on natural systems during their life cycle is not sufficient to meet the current demands of sustainability. Thus, project management of sustainable products design requires an approach that does not limit the use of the benefits of natural ecosystem. Industrial and urban metabolism is presented as a framework for the implementation of optimization strategies and efficiency in resource consumption, enabling the implementation of development strategies of industrial systems from a performance reactive to proactive and eco-compatible performance. An analysis of ecosystems and agents involved identifies the cycles of materials and substances and associated toxicity, in order to place its performance and optimization within the industrial metabolism. Modeled the current situation, the development of a model of industrial and urban metabolism under three fundamental principles of Cradle to Cradle paradigm is proposed. The main objective of the proposed model is closing the materials cycle within the industrial metabolism to improve cyclicity, efficiency and toxicity in urban and industrial ecosystem.

Keywords: *Industrial Metabolism; Sustainable Design Project; Sustainability; Eco-design*

METABOLISMO INDUSTRIAL Y URBANO APLICADO AL PROYECTO DE DISEÑO DE PRODUCTOS SOSTENIBLES

El diseño de productos orientados a proporcionar una alta eficiencia y producir un menor impacto en los sistemas naturales durante su ciclo de vida no es suficiente para atender las actuales exigencias de sostenibilidad. Así, la gestión de proyectos de diseño de productos sostenible requiere un enfoque que no limite el aprovechamiento de los beneficios del ecosistema natural. El metabolismo industrial y urbano se presenta como un marco adecuado para la implementación de estrategias de optimización y eficiencia en el consumo de recursos, posibilitando la implantación de estrategias de evolución de los sistemas industriales desde una actuación reactiva, a una actuación proactiva y ecocompatible. Un análisis de los ecosistemas y agentes intervinientes, permite identificar los ciclos de materiales y sustancias y toxicidad asociados, con el propósito de situar su actuación y optimización en el marco del metabolismo industrial. Modelada la situación actual, se propone el desarrollo de un modelo de metabolismo industrial y urbano, bajo los tres principios fundamentales del paradigma Cradle to Cradle. El principal objetivo del modelo propuesto es el cierre de ciclos de materiales en el metabolismo industrial para la mejora de la ciclicidad, eficiencia y toxicidad en el ecosistema urbano e industrial.

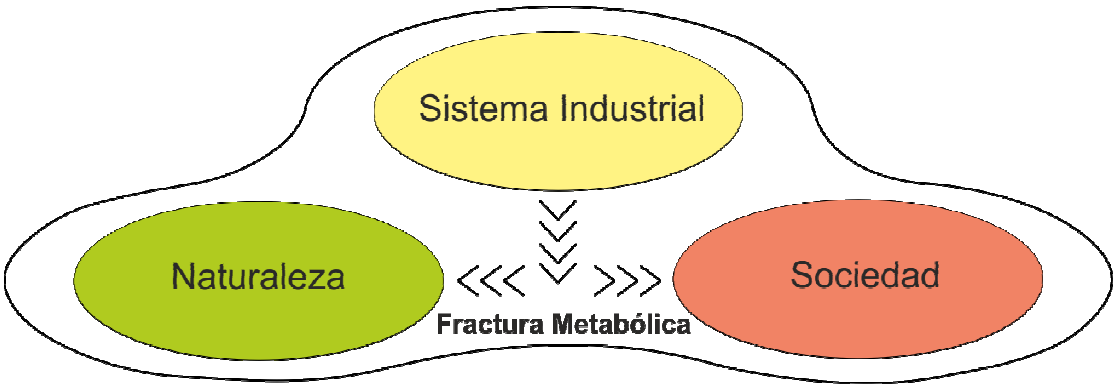
Palabras clave: *Metabolismo Industrial; Proyecto de Diseño Sostenible; Sostenibilidad; Ecodiseño*

Correspondencia: Alejandro Manuel Martín Gómez alejandrommartin@gmail.com

1. Introducción

Desde sus orígenes la sociedad humana ha estado integrada en los ecosistemas naturales, formando parte activa de los mismos e inmersa en sus propios ciclos biológicos. La llegada de la industrialización ha provocado una serie de circunstancias que han alterado de forma significativa la relación entre sociedad y naturaleza reflejada en la denominada fase eotécnica. Fase definida por Mumford (1982), en base a los cambios que el desarrollo tecnológico ha supuesto en la civilización occidental, como la primera de las tres fases sucesivas de sociedades (eotécnica, paleotécnica y neotécnica) en la relación socio-técnico-ambiental. Así la intensificación de los cultivos, la fabricación de materiales sintéticos, el uso indiscriminado de combustibles fósiles o la concentración de personas en determinadas áreas urbanas como consecuencia de la industrialización, han propiciado un desequilibrio en la armonía existente en el metabolismo socio-ambiental. Marx y Engels (1981) fueron los primeros que trataron el metabolismo desde una concepción social en 1883, considerando que el trabajo era la actividad a través de la que se regulaba el metabolismo entre la sociedad y la naturaleza. El concepto de metabolismo fue usado para describir los intercambios de materia y energía entre la naturaleza y la sociedad, sirviéndoles de apoyo para su crítica a la industrialización centrada en la explotación del trabajo asalariado (Foster, 2000). A través de este estudio de la interacción entre la naturaleza y la sociedad, Marx (Foster, 1999) desarrolla el conocido término de fractura metabólica en el ciclo de los nutrientes, poniendo de manifiesto que la industrialización ha interrumpido el metabolismo existente durante siglos entre sociedad y naturaleza. Esta fractura supone una brecha en la continuidad del metabolismo, tal y como establecen las leyes naturales de la vida.

Figura 1: Fractura Metabólica



La ecología industrial es una práctica de gestión ambiental encaminada a transformar el sistema industrial desde la analogía con un sistema natural (Graedel & Allenby, 2010). Este nuevo marco de trabajo persigue convertir el sistema industrial en un sistema sostenible, considerando que en los sistemas naturales no existen residuos puesto que los procesos de cada organismo realizan aportes necesarios al bienestar de todo el sistema. El citado marco plantea la gestión de entradas y salidas de un sistema con el objetivo de conseguir eliminar el concepto de residuo, haciendo que los desechos de unos procesos sean recursos de otros. La estructura lineal del sistema industrial tradicional es transformada en un ciclo cerrado de materia, impulsando las interacciones entre economía, ecología y sociedad e incrementando la eficiencia en las tres dimensiones de los procesos industriales.

La ecología industrial aparece entonces como un marco idóneo en el que desarrollar estrategias de optimización y eficiencia en el consumo de recursos. Se posibilita así la

evolución de los sistemas industriales desde una concepción reactiva, determinada por la incorporación de materiales recuperados a los procesos productivos, a una concepción proactiva, que desde la fase de diseño de los productos considere las rutas metabólicas asociadas a los materiales y sustancias, permitiendo la perfecta armonía entre el metabolismo natural e industrial.

2. Objetivos

La metodología de la investigación se basa en una primera revisión de las principales aproximaciones al diseño de productos sostenibles y de las dificultades existentes para la gestión de este tipo de proyectos.

En base a la revisión realizada se procede a desarrollar un modelo informacional basado en el metabolismo industrial, bajo los tres principios fundamentales del paradigma Cradle to Cradle (C2C): residuos igual a alimentos, utilizar la radiación solar incidente y celebrar la diversidad. Finalmente el modelo informacional es implementado mediante un Sistema Multiagente (SMA).

3. Diseño de Productos Sostenibles

El diseño de productos orientados a proporcionar una alta eficiencia y a producir un menor impacto en los sistemas naturales durante su ciclo de vida no es suficiente para atender las actuales exigencias. Así, en gran parte de las ocasiones el diseño de productos sostenibles se basa en cumplir los límites que determinan las instituciones gubernamentales. Esta perspectiva puede implicar un enfoque más ligado a una eficiencia técnica del diseño, limitando un aprovechamiento de los beneficios del sistema natural. Es por ello, que existen otras aproximaciones para el diseño del producto que abarcan en mayor o menor grado el concepto de metabolismo industrial con enfoque proactivo. Las más destacadas se encuentran recogidas en la Tabla 1.

Otro aspecto importante a considerar en el proyecto de diseño de productos sostenibles, es el concepto estratégico de la gestión del ciclo de vida del producto (PLM en sus siglas en inglés), que abarca el producto centrándose en la gestión de los procesos, las personas, y los datos con el apoyo de tecnología de la información (Gmelin & Seuring, 2014) a través de todo el ciclo de vida de un producto.

La colaboración dentro de las organizaciones permite sinergias entre los distintos participantes en el proyecto para el desarrollo del producto, influyendo por tanto en el comportamiento sostenible de éste. La investigación actual está orientada a una intensa comunicación a través de las empresas para lograr un adecuado nivel de desarrollo sostenible centrado en el nuevo producto. Sin embargo, las empresas no están colaborando con éxito, lo que suele estar basado en la falta de comunicación eficiente (Matsuda & Kimura, 2013) que garantice el diseño sostenible del nuevo producto.

Las recientes investigaciones en el ámbito de la ecología industrial en sus diferentes aproximaciones mediante el uso de SMA (Bichraoui, Guillaume & Halog, 2013) están posibilitando un mejor entendimiento y propiciando modelos de comportamiento individual y colectivo de las empresas desde un punto de vista más específico y de las interacciones entre los diferentes niveles organizacionales, en lo que se refiere a la perspectiva informacional de sostenibilidad. En la identificación de los elementos que forman los sistemas de fabricación, producción y servicio que configuran los ecosistemas urbanos e industriales, es posible adoptar distintas perspectivas en base a la organización, función, información y recursos. En este trabajo el modelo desarrollado se concibe, desde la perspectiva informacional, para la vertiente de sostenibilidad asociada a su metabolismo.

Tabla 1. Aproximaciones al Diseño de Productos Sostenibles

Término	Referencia	Objetivo
Eco Diseño	Lewis (2001); Deutz, McGuire y Neighbour (2013)	Diseñar productos con el medio ambiente en mente y asumir parte de la responsabilidad por las consecuencias medioambientales del producto en lo que respecta a las decisiones y acciones específicas ejecutadas durante el proceso de diseño.
Diseño Verde	Dangelico y Pontrandolfo (2010)	Implica una dirección de mejora en el diseño, es decir, la mejora continua orientada hacia los ideales generalizados de no hacer daño al medio ambiente.
Diseño Restaurativo	Kellert (2005)	Orientar las actividades del diseño a restaurar la capacidad de los sistemas naturales locales hacia un estado saludable de auto-organización.
Diseño de Reconciliación	Lyle (1999)	Considera a los humanos parte integral de la naturaleza, siendo ambos sistemas una misma cosa.
Diseño Regenerativo	Lyle (1999); Reed (2007)	Enfoque de diseño orientado a la teoría de sistemas, basado en la concepción de productos que llevan a cabo procesos con los cuales puedan “regenerarse”, es decir, restaurar, renovar y revitalizar los materiales de los que están compuestos y sus propias fuentes de energía.
Cradle to Cradle	Braungart, McDonough y Bollinger (2007)	Enfoque biomimético para el diseño de productos y sistemas. Modela la industria en base a los procesos de la naturaleza, viendo a los materiales como nutrientes que circulan en metabolismos sanos y seguros.

Se propone un SMA orientado a la gestión de la ciclicidad, eficiencia y ecotoxicidad de los ecosistemas industriales y urbanos. Es habitual que en este tipo de sistemas los agentes trabajen de forma conjunta para conseguir unos objetivos globales (Bichraoui, Guillaume & Halog, 2013) (Bajo & Borrajo, 2012), siendo necesaria la comunicación entre agentes, el intercambio de información y resultados, el establecimiento de directrices generales y particulares, la distribución de tareas, la cooperación, etc. En base a esto es preciso desarrollar mecanismos que permitan el establecimiento de la comunicación y estrategias cooperativas para la consecución de los objetivos de sostenibilidad, entre agentes en un mismo lenguaje o con la capacidad de traducir y comprender el lenguaje de otros agentes, bajo un marco de acción conjunta.

4. Modelo de Metabolismo Industrial

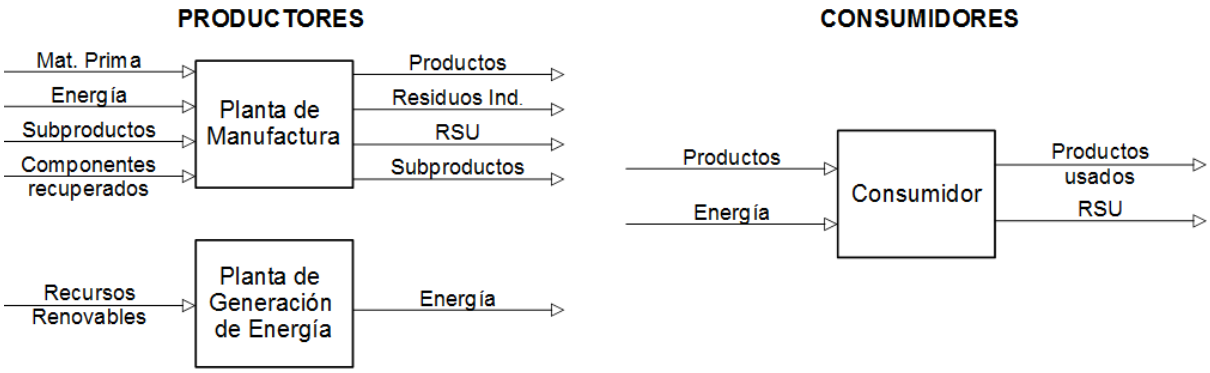
4.1 Conceptualización del Metabolismo

En el campo de la biología el metabolismo es entendido como el conjunto de reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en un ser vivo a nivel de célula u organismo. Sin embargo, este procesamiento de sustancias no tiene porqué tener lugar a nivel de célula exclusivamente. La definición de metabolismo puede ser ampliada más allá de los procesos

de anabolismo y catabolismo celular, incluyendo los flujos de materiales y energía que tienen lugar en los diferentes niveles funcionales de los sistemas vivos (Bermejo, 2005). Si bien la biología desarrolla el conocimiento del metabolismo a nivel de individuo, la ecología industrial ha propiciado expandir esta analogía hasta el nivel de ecosistema industrial. De modo que es posible estudiar el metabolismo del ecosistema industrial. Así, el metabolismo industrial es definido como el análisis del uso de materiales y energía por parte de la industria y de la forma en que estos materiales fluyen a través de los sistemas industriales para su transformación y posterior disposición como residuo (Ayres, 1994). Está dirigido a la comprensión de la circulación de los flujos de materiales, agua y energía (y stocks) vinculados a la actividad humana, desde su extracción inicial a su inevitable reintegración en los ciclos biogeoquímicos globales, o a los ciclos técnicos de la tecnosfera. Donde el intercambio de recursos entre diferentes industrias permite incrementar la estabilidad de las operaciones, especialmente en áreas con restricciones de suministro, asegurando el acceso a entradas críticas del proceso como agua, energía, etc. Es necesario desarrollar el conocimiento necesario para definir la estructura, funciones y mecanismo reguladores (Bermejo, 2005) del metabolismo a nivel industrial, identificando además como este metabolismo interacciona con el ecosistema natural.

Una diferencia importante entre el ecosistema industrial y el natural es el hecho de que la eficiencia es un proceso espontáneo en la naturaleza fruto de la evolución. Dicho de otro modo, para lograr la ecología industrial es necesario gestionar las relaciones entre las organizaciones participantes. Evidentemente esta gestión es diferente para los distintos tipos de aproximación a la ecología industrial.

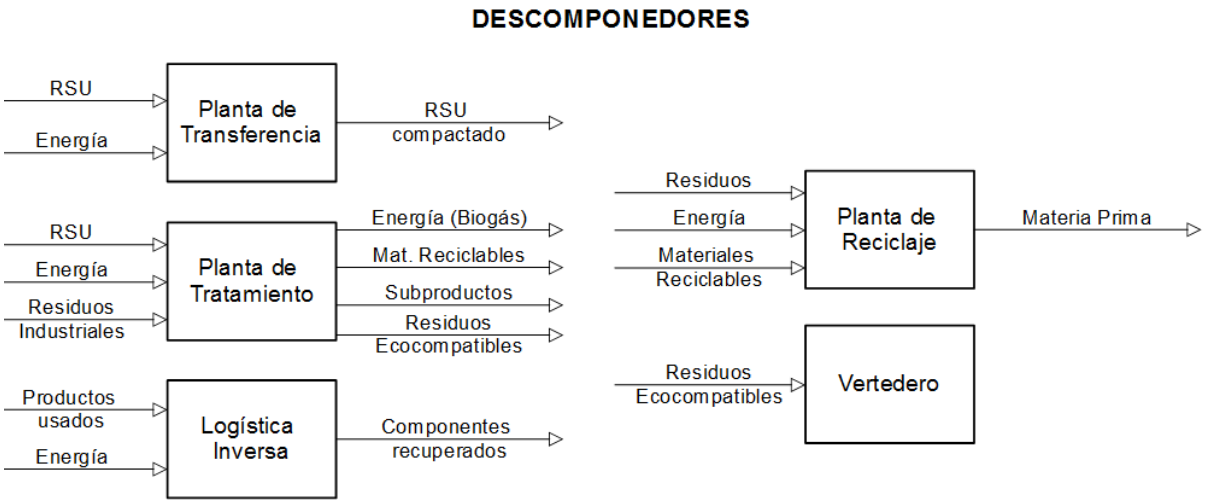
Figura 2: Agentes Productores y Consumidores



El modelo de metabolismo industrial distribuido presentado es desarrollado y concretado, identificando y categorizando para ello los diferentes agentes que intervienen, los flujos de materiales y energía, así como las relaciones que se establecen. La perspectiva de ecosistema biológico permite modelar el ecosistema industrial, en este caso, comprendido por productores, consumidores y descomponedores. Partiendo de la analogía establecida en este sentido por Liwarska-Bizukojc (2009), se incorpora y desarrolla en mayor grado cada uno de los agentes que intervienen en el metabolismo. En los ecosistemas naturales los productores son organismos que toman la energía generalmente a través la fotosíntesis, mientras que los consumidores son organismos que ingieren (consumen) otros organismos vivos. Los consumidores se dividen en base a su relación respecto a los productores. Los consumidores primarios son aquellos que se alimentan directamente de los productores; mientras que los consumidores secundarios y terciarios son carnívoros. Las bacterias y los hongos, denominados descomponedores, descomponen sustancias químicas en productos más simples, en última instancia, componentes inorgánicos. En la analogía, dentro de los productores se diferencia entre las plantas de manufactura, donde se incluyen las plantas de

procesado de materias primas, productos intermedios y productos finales, y las plantas de generación de energía a partir de recursos renovables. Los consumidores se nutren de los productos y generan Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y productos usados que podrán ser recuperados mediante logística inversa, como se muestra en la figura 2.

Figura 3: Agentes Descomponedores



Finalmente los descomponedores se clasifican en base a la función que realizan en el metabolismo global, así aparecen las plantas de transferencia para la distribución de residuos, las plantas de tratamiento de residuos específicas, las plantas de logística inversa para la recuperación de componentes de productos usados, las plantas de reciclaje y los vertederos para la asimilación de residuos ecocompatibles de baja entropía, como se muestra en la figura 3.

4.2 Desarrollo del Modelo de Metabolismo Industrial basado en SMA

El modelo propuesto es desarrollado para desempeñar un trabajo cooperativo entre los diferentes agentes que componen el sistema, anteriormente definidos. Posibilitando la comunicación, el entendimiento y cooperación entre agentes, así como el intercambio de información, la búsqueda de soluciones locales y globales y la toma de decisiones. Para dar soporte a este sistema se define un modelo informacional que propicie el entendimiento entre los distintos agentes a la vez que propicie el desarrollo de cada una de las capacidades individuales que poseen.

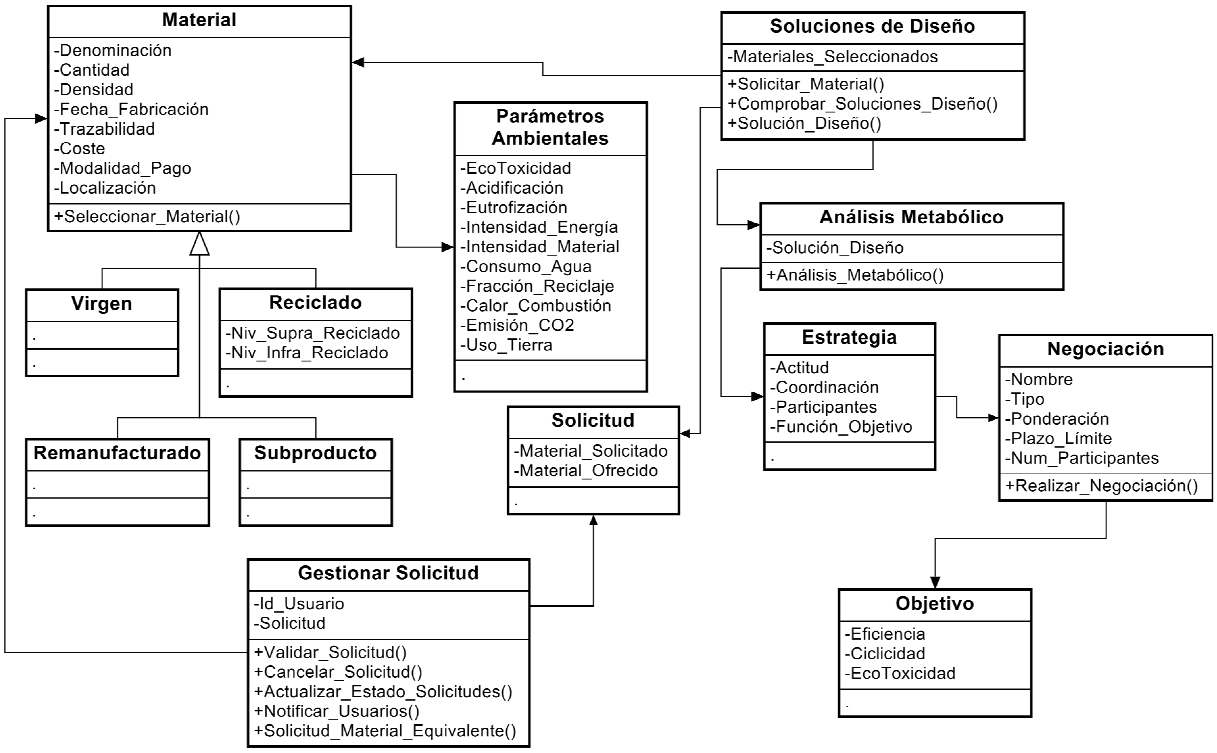
Si bien un modelo de conocimiento puede ser representado en UML, RDF, DAML+OIL, OWL o cualquier otra representación que pueda definir objetos, propiedades y relaciones. En este caso el conocimiento ha sido modelado mediante diagramas de clase UML por ser ampliamente utilizado.

Cada agente posee conocimiento compartido de los atributos que poseen los materiales (entendiéndose como material la materia prima, productos, material reciclado, productos remanufacturados y subproductos) que son objeto de intercambio entre empresas o procesos productivos, y de los parámetros ambientales asociados que permiten la toma de decisiones.

El conocimiento relativo a la gestión de solicitudes de materiales, incluyendo tanto las solicitudes de ofrecimiento como de adquisición, está especificado en la clase *Gestionar Solicitud*, donde se establecen además los procedimientos necesarios para la búsqueda de materiales equivalentes a los solicitados.

El conocimiento específico para gestionar las soluciones de diseño en base a los materiales seleccionados está especificado en la clase *Soluciones de Diseño*, donde se incorporan además los procedimientos precisos para realizar análisis metabólicos conforme a los atributos de los materiales. El análisis metabólico a su vez está asociado al conocimiento estratégico para las negociaciones entre agentes. El concepto de estrategia incluye la actitud del participante, la existencia o no de coordinación con otros agentes en una estrategia común, el número de participantes y la función objetivo que persigue cumplir la estrategia establecida. La estrategia tiene asociada una negociación que establece entre otros un objetivo a alcanzar. El concepto objetivo persigue la mejora de la ciclicidad, toxicidad y eficiencia de los materiales utilizados. Los diagramas de clase UML son los mostrados en la figura 4.

Figura 4: Diagrama de Clases UML del Modelo para la Gestión del Metabolismo Industrial

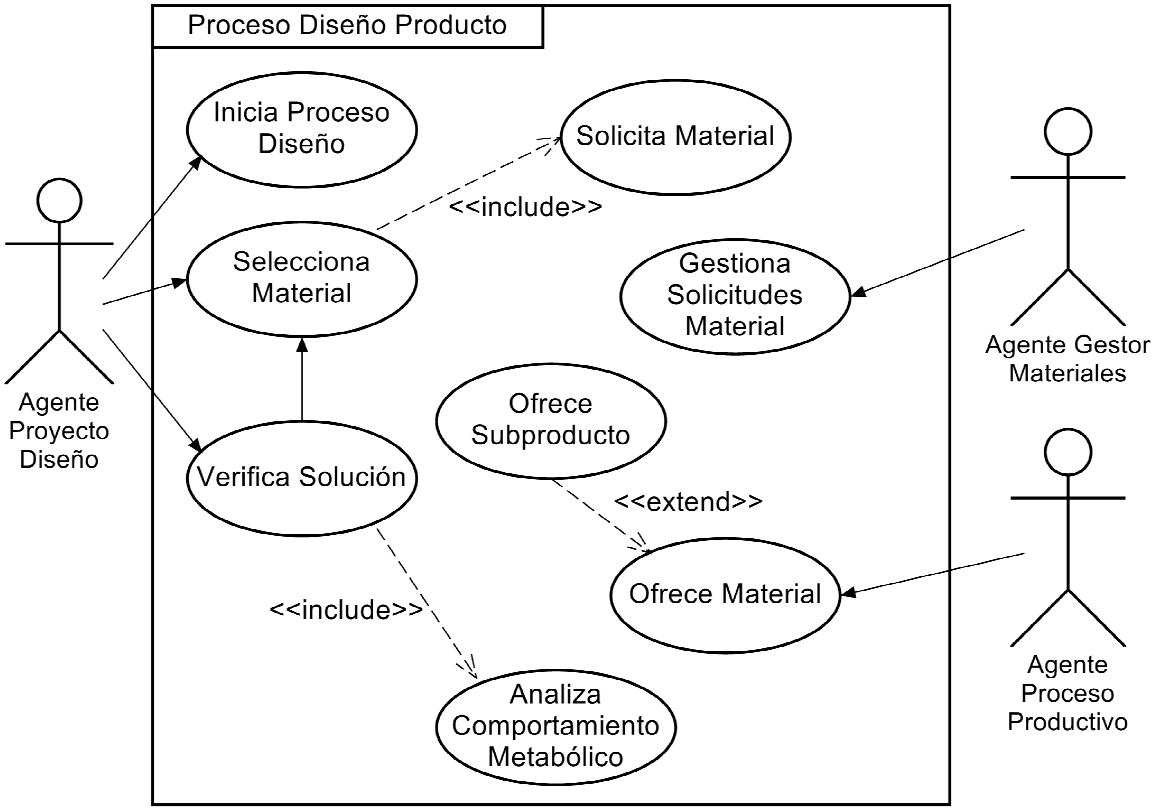


La figura 5 presenta un caso de uso genérico para la gestión proyectual del proceso de diseño de productos. La descripción de los agentes intervinientes en el caso de uso presentado es la siguiente:

- El Agente de Proyecto Diseño inicia el proceso de diseño y selecciona los materiales que incorporará al producto objeto del diseño, enviando la solicitud de material al Agente Gestor Materiales.
- El Agente Proceso Productivo identifica el material saliente de su proceso, en forma de subproducto que puede ser utilizado, ofreciéndolo al resto de agentes para que lo incorporen a su proceso productivo.
- El Agente Gestor Materiales analiza su base de datos en busca materiales equivalentes a los solicitados al objeto de evitar la utilización exclusiva de materias primas vírgenes, intentando reemplazarlo por un producto reciclado, remanufacturado o subproducto equivalente. Confirmada la existencia de dichos materiales equivalentes (o no) el Agente Gestor Materiales informa de las características de cada material (atributos de la clase material con sus correspondientes parámetros) al Agente Proyecto Diseño, permitiendo

que este último realice el análisis metabólico y la toma de decisiones oportuna. Validándose finalmente la solución de diseño.

Figura 5: Caso de Uso UML del proceso de diseño de producto



5. Conclusiones

El presente trabajo propone el desarrollo de un modelo informacional de la sostenibilidad para la gestión de proyectos de diseño de productos sostenible a través del metabolismo industrial inteligente. El análisis y modelado de los agentes intervinientes en el ecosistema industrial facilita la identificación, análisis y cierre de ciclo de materiales y sustancias, proporcionando así una mejora en la ciclicidad, eficiencia y toxicidad en el ecosistema urbano e industrial. La concepción de un modelo de gestión que dé soporte a proyectos de diseño de productos sostenible proporciona ventajas significativas frente a los actuales sistemas de gestión que carecen de una visión global. El uso integrado de un SMA permite disminuir los tiempos en la gestión de los flujos de información y asegurar el anonimato de las organizaciones envueltas en los procesos de intercambio de materiales, garantizando además la confidencialidad de las principales características inherentes a sus procesos productivos.

Referencias

Ayres, R. (1994). Industrial Metabolism: Theory and Practice. The Greening of Industrial Ecosystems, Washington DC, USA: National Academy of Engineering.

Bajo J., & Borrajo, M. (2012). A multi-agent system for web-based risk management in small and medium business. *Expert Systems with Applications, 39,* 6921-6931.

Bermejo, R. (2005). La gran transición hacia la sostenibilidad: principios y estrategias de economía sostenible. Los Libros de la Catarata, Madrid.

Bichraoui, N., Guillaume, B. & Halog, A. (2013). *"Agent-Based modelling simulation for the development of an industrial symbiosis -Preliminary results".* Procedia Environmental Sciences. 17, 195-204.

Braungart, M., McDonough,W. & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions e a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*. 15 (13-14), 1337-1348.

Dangelico, R. & Pontrandolfo, P. (2010). From green product definitions and classifications to the Green Option Matrix. *Journal of Cleaner Production*. 18 (16-17), 1608-1628.

Deutz, P., McGuire, M. & Neighbour, G. (2013). Eco-design practice in the context of a structured design process: an interdisciplinary empirical study of UK manufacturers. *Journal of Cleaner Production*. 39, 117-128.

Foster, J. (2000) Marx's Ecology. Materialism and Nature. New York: Monthly Review Press.

Foster, J. (1999) "Marx's theory of metabolic rift: Classical foundations for environmental sociology". *American Journal of Sociology*. 105(2), 366-405.

Gmelin, H. & Seuring, S. (2014). Determinants of a sustainable new product development. *Journal of Cleaner Production*. 69, 1-9.

Graedel, T. & Allenby B. (2010) Industrial Ecology and Sustainable Engineering. USA: Pearson.

Kellert, S. (2005). Building for Life. Designing and Understanding the Human-Nature Connection. Island Press, Covelo, CA, USA.

Lewis, H., Gertsakis, J., Grant, T., Morelli & N., Sweatman, A. (2001). Design for Environment: a Global Guide to Designing Greener Goods. Greenleaf, Sheffiled.

Liwarska-Bizukojc, E. (2009). The conceptual model of an eco-industrial park based upon ecological relationships. *Journal of Cleaner Production.* 17(8), 732–741.

Lyle, J. (1999). Regenerative Design for Sustainable Development. Wiley, New York.

Marx K. (1981). Capital. Vol. III. Penguin Books, London.

Matsuda M., & Kimura F. (2013). Digital Eco-factory as an IT Support Tool for Sustainable Manufacturing*. Advances in Information and Communication Technology*.

Mert, B., Aradag, U., Uludag, S., & Ozgur, H. (2013). *An Architecture for a Microgrid-based Eco Industrial Park using a Multi-Agent System*. 4th International Congerence on Power Engeineering, Energy and Electrical Drives, 1658-1664.

Mumford L. (1982). Técnica y civilización. Madrid, Alianza Editorial.

Reed, B. (2007). "Shifting from 'sustainability' to regeneration". Building Research & Information. 5(6), 674-680.

03-025

CONSIDERATION OF EFFECTIVE WATER IN THE WATER/CEMENT RATIO FOR THE MANUFACTURE OF RECYCLED CONCRETE

Laserna Arcas, Santiago [1]; Montero Martinez, Jesus [2]; Cervera Gascó, Jorge [1] [1] ETSIAM - UCLM, [2] ETSIAM- Universidad de Castilla-La Mancha

The manufacture of recycled concrete (RC) is not very widespread for structural purposes mainly due to the uncertainty that involve the use of recycled aggregates (RA). Their manufacture is often constrict in own techniques of conventional concrete (HC), without considering that it´s necessary to modify certain concepts in the dosage designs. Thereby, the specific water absorption and initial humidity of the RA suggests that water movements on the mix of concrete paste are different in relation HC.This experiment proposes to modify the use of the traditional concept of water to the concept of free or “effective water” and verify the effect on the water/cement (W/C) ratio. Thus, a method for calculating and estimating the water balance in the dosage are proposed, thereby concrete manufacture comparing total or effective W/C has been analysed. Also, governed by the water absorption speed, a mixing method based on the two-stage mixing method, with a dry pre-mix step and without saturation treatment of RA has been designed to let the industrial production. Results show the critical time to consider on the mix and demonstrate that an increase of total water does not result in a strength reduction provided that W/C effective kept constant.

Keywords: *Recycled concrete; Dosage; effective water; W/C effective*

CONSIDERACIÓN DEL AGUA EFECTIVA EN LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN RECICLADO

La fabricación del hormigón reciclado (HR) para aplicaciones estructurales no se encuentra muy extendida debido principalmente a la incertidumbre que presenta el manejo de los áridos reciclados (AR). Su fabricación se suele encorsetar en técnicas propias del hormigón convencional (HC), sin reparar en la necesidad de modificar determinados conceptos en el diseño de las amasadas. Así, la especial absorción y humedad inicial del AR plantea que los movimientos de agua en el amasado sean diferentes en relación al HC. Esta experimentación propone modificar el concepto de agua utilizado tradicionalmente hacia el concepto de Agua libre o eficaz, verificando su repercusión sobre la relación agua/cemento (A/C). Se detalla un método para el cómputo y estimación del balance de agua en la dosificación y la fabricación mediante la comparativa de la relación A/C efectiva. Además, regido por las velocidades de absorción se diseña un método de mezcla basado en la mezcla de doble etapa, con premezclado en seco y AR sin presaturar que posibilite su acoplamiento a la fabricación industrial. Los resultados especifican los tiempos mínimos a considerar en el mezclado y demuestran que el incremento de Atotal de la mezcla reciclada no penaliza la resistencia manteniendo constante la relación A/C efectiva.

Palabras clave: *Hormigón Reciclado; Dosificación; Agua efectiva, A/C efectiva*

Correspondencia: Santiago Laserna Arcas santiago.laserna@uclm.es

Agradecimientos: A la Consejería de Educación, Cultura y Deportes de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional, por la financiación del proyecto PPII- 2014-004-P.

1. Introducción

Pese a estar permitido por la normativa que regula las estructuras de hormigón en España (EHE-08, 2008) la utilización de hormigón reciclado (HR) con fines estructurales no acaba de cuajar entre los diferentes agentes que intervienen en la construcción. Uno de los principales factores viene determinado por la visión generalizada de que el material reciclado penaliza en torno a un 10-25% las propiedades resistentes del hormigón (ACHE, 2006). Además, respecto a la aplicación a gran escala aparece como un inconveniente extra el desconocimiento en el manejo de los áridos reciclados en relación a los áridos convencionales y su adaptación al proceso de fabricación del hormigón. Las diferencias frente al material convencional radican principalmente en la mayor porosidad de los áridos reciclados debido al contenido de mortero adherido al árido, que procede del hormigón original (Etxeberría, Vazquez y Marí, 2006), y que influyen directamente sobre la absorción de agua, densidad, y dureza.

Debido a esto, autores como Ravindrarajah y Tam (1985) o Hansen *et al*. (1992), sostienen que el hormigón fabricado con estos áridos necesita un 5-10% más de la cantidad de agua que el hormigón convencional (HC) para conseguir la misma trabajabilidad. Directamente relacionado con ello, proponen que este suplemento afecta directamente a la relación Agua-Cemento (A/C), pudiendo provocar un efecto perjudicial en la resistencia por una relación A/C excesiva, recomendándose emplear una cantidad de cemento superior a la estricta (entre el 5-15%) que permita compensar la bajada de resistencia por este efecto (Hansen y Narud, 1983; Barra, 1996; ACHE, 2006) .

Aparece en este punto el concepto de *Agua libre o Agua efectiva*, caracterizada como la cantidad de agua que realmente queda disponible para la hidratación del cemento y por tanto para desencadenar la reacción del mismo, que no resulta de especial atención en la fabricación de hormigón convencional pero que al fabricar hormigón reciclado modifica significativamente los balances de agua de la mezcla. Así, algunos autores como Paw y Rousseau (1986); Barra (1996) o Nealen y Rühl (1997), mencionan la importancia de este concepto para la fabricación de hormigón reciclado y su influencia en la consistencia y la resistencia final obtenida. De este modo, a pesar de las recomendaciones de ACHE (2006) que concluye que la metodología de dosificación del hormigón reciclado no difiere particularmente de las técnicas utilizadas para la dosificación del hormigón convencional, lo cierto es que necesita de determinados matices ideológicos debido a sus características especiales de porosidad.

Por tanto, paralelamente a esta propiedad vienen derivados diversos factores a estudiar específicamente en la fabricación del hormigón reciclado. El primero de ellos plantea la posibilidad de compensar esta absorción, bien sea con fenómenos de pre-saturación o desecación del árido, y cuya extrapolación a la fabricación industrial lo convierte en alternativas poco viables. Aparece una vertiente que asemeja el árido reciclado con áridos ligeros (Kobayashi y Kawano, 1988), de manera que se realizan un aporte extra de agua en mitad del amasado correspondiente a la absorción originada en 30 minutos por los AR, consiguiendo igualar las consistencias al final del amasado.

Además, aparecen diversas corrientes de cómo realizar el proceso de mezcla. Experiencias de Otsuki, Miyazato y Yodsudjai, (2003) y Vivian Tam, Gaob y Tam (2005) indican que los mejores resultados se consiguen con métodos de doble etapa, en los que se realiza un premezclado en seco para posteriormente añadir la cantidad de agua establecida. Estos

métodos suponen tiempos de mezclado demasiado cortos, que teniendo en cuenta la velocidad de absorción del árido reciclado hacen que para la consistencia obtenida disminuya drásticamente en poco tiempo. Younis y Pilakoutas (2013) proponen una modificación de estos métodos, incrementado el tiempo de premezclado, lo que permite mejorar la estabilidad de la consistencia final de la mezcla. Sin embargo, no realiza premezclado en seco de árido más cemento, etapa que, según propone Vivian Tam y Tam (2008) en una de sus modificaciones, pueda rellenar las áreas débiles en el árido reciclado y por lo tanto desarrollar una mejora de la conexión Árido Reciclado-Matriz Cementante.

2. Objetivos

Con estos antecedentes, el objetivo de este trabajo es el de estudiar las diferencias de ambas modalidades de dosificación de Agua (total y efectiva), centrando la atención sobre el efecto la relación $A_{efectiva}/C$ como parámetro comparativo entre diferentes mezclas desde un punto de vista resistente.

Además, para poder adaptar la fabricación de hormigón reciclado a una producción a mayor escala que la experimental, se propone un método de mezcla propio, basado en las metodologías de doble etapa, en la velocidad de absorción del árido reciclado y en los balances de agua, que resulte de fácil implementación en cualquier planta convencional de fabricación de hormigón.

2. Materiales y metodología

Se han realizado una serie de ensayos para la fabricación de hormigón reciclado (HR), con el principal objetivo de comparar diferentes modalidades de dosificación. Así, se tiene una modalidad que utiliza la cantidad de Agua Total (A_{total}) constante entre las diferentes series de hormigón, y otra que utiliza la cantidad de Agua Libre o Efectiva ($A_{efectiva}$) constante.

Como A_{total} se considera todo el aporte de agua que dispone la mezcla, siendo la suma de: agua de amasado (a_{am}) + agua aportada por los áridos (a_{agg}) + agua aportada por el aditivo (a_{ad}) + agua presente en los elementos de amasado (a_{eam}). Por el contrario, para el cómputo del $A_{efectiva}$ se utiliza un balance de humedades, de manera que se determina la cantidad de agua absorbida (w_{abs}) como la suma de agua que absorbe cada fracción de árido que participa en la mezcla, calculándose el balance según la Ecuación (1):

$$A_{ef} = (a_{am} + a_{agg} + a_{adv} + a_{eam}) - w_{abs} \qquad (1)$$

de manera que se diferencian las siguientes modalidades de fabricación:

- **A_{total}/C constante:** se realizaron un total de 20 amasadas, con el objetivo de comprobar el comportamiento del árido reciclado en sus diferentes proporciones en relación a la consistencia y la resistencia a compresión, ya que la cantidad A_{total} se mantiene fija en todas las muestras.
- **$A_{efectiva}$/C constante:** con un total 46 amasadas y el objetivo de fundamentar la utilización del concepto $A_{efectiva}$ así como establecer la comparativa frente al hormigón patrón en cuanto a las características de consistencia y resistencia. Se plantea que a igual cantidad de cemento, si la cantidad de agua efectiva es similar, la relación de A/C será también similar entre diferentes amasadas, independientemente que una necesite mayor cantidad de A_{total} para conseguir la misma resistencia debido a la mayor absorción del árido reciclado.

Las amasadas se fabricaron en diferentes días durante todo el año y puesto que los áridos se almacenan a la intemperie, se tiene una representatividad de los diferentes estados de

humedad iniciales reales de los áridos, permitiendo estudiar el efecto de este factor en las propiedades en estado fresco.

En las dosificaciones del hormigón se utilizaron:

- dos tipologías de árido natural: Árido Natural Rodado de origen silíceo (ANR) y Árido Natural Triturado de origen calizo (ANT);
- tasas de sustitución de árido grueso natural por árido grueso reciclado (r) de 0%, 20%, 50% y 100%, en volumen;
- dos configuraciones de distribución granulométricas de áridos: continuas (GC) y discontinuas (GD);
- árido reciclado gruesos (4-20mm) procedente de residuos de construcción y demolición específicos de hormigón estructural (R);
- contenidos de cemento de 260, 300 y 340 kg/m^3;
- como aditivo se utiliza un único superplastificante, en diferentes proporciones según la cantidad de cemento utilizada para conseguir la consistencia blanda en la amasada control (r=0%), pero constante para los diferentes niveles de (r) de la misma serie.

El diseño de las mezclas se realizó utilizando tres fracciones granulométricas [0-4mm], [4-10 mm] y [10-20mm], acorde a la Curva de Fuller (Fuller y Thompson, 1907) para un tamaño máximo de árido de 20 mm, ajustando la mezcla objetivo por mínimos cuadrados a dicha curva. La mezcla se realiza en una hormigonera de tambor rotativo de 140 litros y 750 mm de diámetro, con las que una vez concluido el proceso se confeccionan probetas cilíndricas de ∅150mm y 300 mm de altura según la normativa UNE 12390-2 (2009). Con las probetas se determinó la resistencia a compresión (con dos repeticiones) según la norma UNE-EN 12390-3 (2009), utilizando una prensa de 2000 kN.

3.1. Determinación de la humedad inicial y la absorción.

Especial atención se presta a la determinación de la absorción y a la humedad inicial de cada fracción en el momento de su utilización, de manera que se sigue una metodología que permite realizar las correcciones de agua oportunas acordes a la ecuación de balance de agua en cada modalidad.

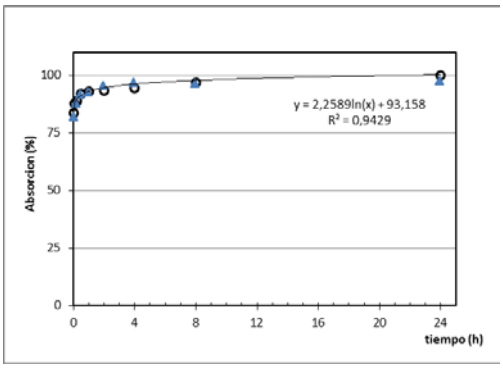
La absorción de cada fracción se determina siguiendo la norma UNE-EN 1097-6 (2006). Para la determinación de la humedad del árido se utiliza un procedimiento particular de secado en estufa a 105ºC y 2 horas, encontrando que en este periodo se consiguen resultados similares a un secado en estufa de 24 h (R=1,00) para los contenidos de humedad inicial que se manejan. El objetivo de reducir el tiempo de determinación viene condicionado por el criterio de establecer una solución práctica de cara a la fabricación, ya que la determinación en 24 horas hace que la muestra pierda la significatividad del estado real de humedad, ya que trascurrido este periodo las condiciones de humedad pueden variar significativamente. Por ello, con el objetivo de poder mantener una producción continua dentro del mismo día se adopta un tiempo de 2 horas. Para mantener la humedad del material, se tapa el material con una lámina plástica opaca y se protege de la incidencia directa del sol hasta el momento de la fabricación.

La explicación al tiempo de 2 horas de secado resulta del tiempo mínimo necesario de preparación en esta experimentación hasta la confección de la mezcla. Sin embargo, pensando en su aplicación a un proceso de producción a mayor escala, la determinación de la humedad inicial puede ser reducida considerablemente hasta los 30-45 minutos, agilizando así el proceso con una alta operatividad.

3.2. Determinación del método de mezcla.

Como método de mezcla se utiliza un método propio basado la metodología de doble etapa propuesta por Vivian Tam y Tam (2008), estableciendo diferencias con éste en la definición de las etapas y sus tiempos, que son adaptados en función de la velocidad de absorción de agua por el árido reciclado. El objetivo es utilizar un método de mezcla que permita trabajar con las teorías de $A_{efectiva}/C$ siendo posible extrapolar la metodología a la fabricación industrial, lo que implica la simplicidad del mismo. De este modo, se realiza un estudio de la velocidad de absorción de agua por el árido reciclado. Los niveles de absorción en función del tiempo para dos muestras de árido reciclado se recogen en la figura 1.

Figura 1. Velocidad de absorción en función del tiempo para el material reciclado.



DATOS AJUSTE FUNCION EN PORCENTAJE	
tiempo	**FUNCION (%)**
1 min	83,91
5 min	87,54
15 min	90,03
30 min	91,59
1 h	93,16
2 h	94,72
4 h	96,29
8 h	97,86
24 h	100

De este análisis se desprende que, tras los primeros 15 minutos el árido utilizado es capaz de absorber aproximadamente el 90 % del agua requerida para su saturación, para después evolucionar de una forma lenta hasta el nivel máximo de absorción a las 24 horas, coincidiendo con las teorías de Nealen y Rühl (1997) cuando aplican de forma simultanea el aditivo en las amasadas de HC y de HR. Por lo tanto, tras estos primeros 15 minutos, es asumible que el hormigón reciclado no presentará cambios singulares de consistencia frente a los que pueda presentar un hormigón convencional.

Con este tiempo como referencia, y con los buenos resultados en la resistencia final obtenidos por Vivian Tam y Tam (2008) con la etapa de premezclado en seco de los áridos junto al cemento, se diseña el método que se describe en la tabla 1. Los tiempos que aquí aparecen han sido ajustados tras diversas modificaciones hasta obtener los tiempos mínimos con los que se obtiene una mezcla estable en las amasadas recicladas al final del proceso.

Tabla 1. Proceso de mezcla diseñado para la fabricación de hormigón reciclado.

Fase de mezclado	Tiempo del proceso (minutos)		
	por fase	acumulado	acumulado con agua
1.- Mezclado de los áridos en “seco”	2,5	2,5	---
2.- Adicción de cemento y mezclado en seco	2,5	5	---
3.- Adicción del 80% del agua de mezclado	3	8	3
4.- Adicción del aditivo.	1	9	4
5.- Adicción del agua restante y mezclado final	12	21	16
6.- Medida de la consistencia	5	26	21
7.- Reamasado final	4	30	25
TOTAL	30	30	25

Como se puede ver, en el paso nº 6 se determina la consistencia de la mezcla, de manera que han trascurridos 16 minutos desde que se inicia la fase de adicción de agua en la mezcla, superior al tiempo de absorción de 90% determinado anteriormente. La determinación de esta propiedad se realiza mediante ensayo de asentamiento en cono de Abrams, siguiendo la norma UNE-EN 12350-2 (2006).

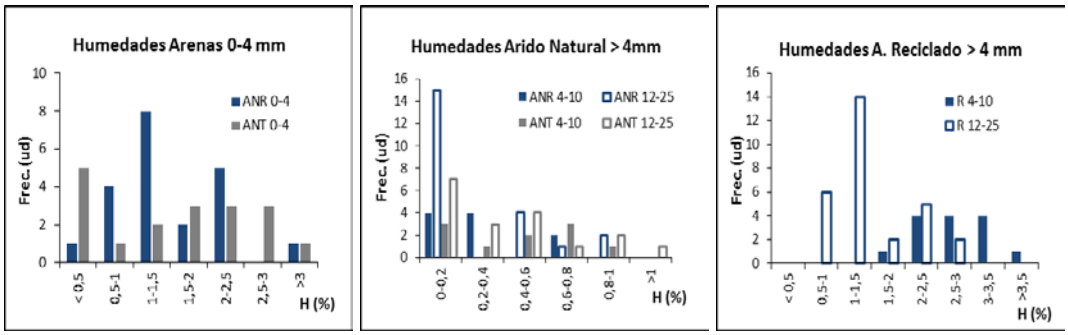
4. Resultados

A continuación se muestran los principales resultados de las amasadas fabricadas, centrando la atención sobre los resultados del movimiento del agua, la importancia de establecer el parámetro comparativo $A_{efectiva}$ entre amasadas, así como la consistencia y resistencia finales obtenidas.

4.1. Estado de humedad inicial de los áridos.

La determinación del estado de humedad inicial para cada fracción justo en el momento de la fabricación se representa en el figura 2. Se recogen los valores de humedad por rangos y su frecuencia, lo que permite establecer de forma visual los valores más probables de humedad de cada fracción y tipo de árido.

Figura 2.- Valores de humedad inicial y frecuencia de las diferentes fracciones de áridos utilizadas.



Los resultados muestran claramente cómo el estado de humedad inicial del árido reciclado es diferente respecto a las que se obtienen simultáneamente en los áridos convencionales. Así, mientras que rara vez los áridos gruesos convencionales pasan de una humedad del 1%, siendo los resultados más frecuentes valores entre 0-0,5%, los áridos reciclados se mueven en un rango de entre 0,5-3,5%, siendo los valores más frecuentes de 1-1,5% para la fracción (10-20mm) y de 2-3,5% para la fracción (4-10mm), con valores máximos de 2,78% y 4,10% respectivamente, asemejándose más a valores propios de una arenas que a la de un árido natural.

Por tanto, el efecto de no considerar esta humedad inicial al pasar de utilizar directamente por sustitución árido convencional por árido reciclado puede obviar incorporaciones importantes de agua en la mezcla que desvirtúen el comportamiento respecto al esperado para el hormigón convencional, sobre todo en periodos húmedos. En la tabla 2 se expone un ejemplo de una amasada tipo donde se muestran estas diferencias. Así, considerando una amasada estándar de 750 kg de arena [0-4mm], 675 kg de gravilla [4-10mm] y 550 kg de grava [10-20 mm] en un hormigón convencional, con los valores máximos manejados de humedad inicial, el hormigón puede pasar de un aporte por parte de los áridos gruesos convencionales de 14,9 litros de agua, a un aporte de 42,4 litros de agua que aportaría la fracción reciclada, suponiendo así un incremento de 26,5 litros de agua. Este valor corresponde a un 18% del contenido total de agua para una amasada estándar

caracterizada por una dosificación de 150 l/m^3 es decir, casi una quinta parte del agua prevista.

Tabla 2. Ejemplo de desfase de agua tras el balance de humedades en HR respecto a HC.

Fracción	Árido Grueso Convencional (AN)			Árido Grueso Reciclado (R)		
	Cantidad (kg)	H_{max} (%)	Agua (l)	Cantidad (kg)	H_{max} (%)	Agua (l)
Gravilla [4-10mm]	675	0,9	6,07	675	4,01	27,1
Grava [4-10mm]	550	1,61	8,85	550	2,78	15,3
TOTAL	---	---	14,9	---	---	42,4
Desfase		(ref)	0			+ 26,5

4.2. Método de mezcla.

Como resultado del método de mezcla, la fabricación completa se consigue en 21 minutos, quedando perfectamente mezclado y con el 100% de agua aplicada al finalizar el paso 5. En la tabla 1 se extiende el tiempo necesario hasta los 30 minutos por motivos de la experimentación debido a que posteriormente se determina la consistencia y se fabrican las probetas de control.

Desde el punto de vista de los tiempos mínimos, se observa cómo partir de los 10 minutos posteriores a la aplicación del total de agua prevista, la cantidad de Agua libre se encuentra casi estabilizada por la absorción, de manera que las diferentes amasadas se encuentran en condiciones similares de consistencia y trabajabilidad entre series (figura 3), coincidiendo con los resultados obtenidos por Nealen & Rühl (1997) De esta manera, para acabar de homogeneizar este periodo se selecciona un tiempo de 12 minutos de amasado tras la incorporación de la cantidad total de agua, siendo un tiempo acorde con los tiempos de saturación propuestos por Hansen *et al.* (1992). Reducir el periodo de amasado a tiempos inferiores al propuesto da como resultado mezclas muy líquidas e inestables respecto a la mezcla control (r=0%) ya que pierden rápidamente la consistencia obtenida. Este tiempo de amasado necesario es significativamente más elevado que el propuesto por Vivian Tam *et al*. (2005 y 2008) o Otsuki, Miyazato y Yodsudjai, (2003) donde los periodos de mezclado final tras la incorporación total de Agua son de entre 90-120 segundos, acercándose más a las modificaciones propuestas por Younis y Pilakoutas (2013), con la diferencia de que en su investigación dejan reposar la mezcla durante 10 minutos tras la incorporación de la mitad de agua, y previo a añadir la cantidad de cemento, para posteriormente realizar un amasado final de 120 sg cuando se incorpora todo el agua.

Desde el punto de vista de producción industrial es posible implementar el método a la producción de hormigón en central, ya que únicamente es necesario un periodo de 9 minutos en el que el camión hormigonera este ocupando el puesto en la planta, tiempo tras el cual queda incorporado todo el material en el interior de la cuba, habiendo culminados las etapas de premezclado en seco y pre-humectación de la mezcla, y tras el cual perfectamente puede realizarse el resto de amasado sin ocupar el espacio destinado a la dosificación de los materiales.

Figura 3.- Cono obtenido en amasada GC R-ANR 300/efect 100% reciclado tras diferentes tiempos (5, 8, 12, 15 min) tras la aplicación total del agua de amasado

Como mejora al método de Younis y Pilakoutas (2013) la metodología propuesta permite una fabricación más rápida y su adaptación a la producción industrial, ya que posibilita incorporar todos los componentes de forma ininterrumpida, sin necesidad de volver a pasar por el punto de dosificación o de permanecer en él el tiempo requerido por la absorción del reciclado o de volver para la adicción del cemento.

4.3. Resultados de A/C y consistencia.

Demostrada la importancia del cómputo de la humedad inicial para las diferentes fracciones de árido, a continuación se estudia el efecto de las distintas modalidades de relación A/C utilizadas respecto a la tasa de reciclado en la mezcla. Para comprobar la efectividad del método de mezcla y la estabilidad de la misma, se relaciona este factor con la consistencia obtenida al final del proceso.

En primer lugar se analiza la evoluciona de las diferentes modalidades de relación A/C respecto a la tasa de reciclaje. La figura 4 muestra los resultados de las diferentes amasadas realizadas según las modalidades descritas en la metodología. Como muestra esta figura, cuando se utiliza la metodología de A_{total}/C, conforme se incrementa la tasa de reciclado se disminuye proporcionalmente la consistencia, como resulta esperable debido a la mayor absorción del árido reciclado. Sin embargo, cuando se utiliza $A_{efectiva}/C$, y a pesar de que la cantidad de Agua total sea cada vez mayor, la consistencia es similar en todas las mezclas (figura 5).

Figura 4.- Consistencia obtenida tras el proceso de mezclado en las modalidades de A_{total}/C y $A_{efectiva}/C$

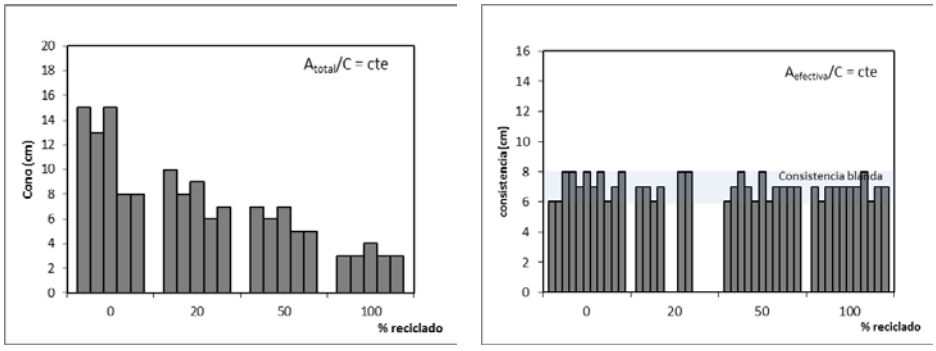
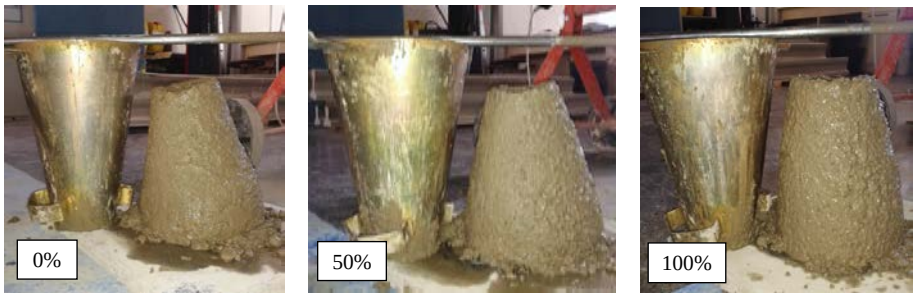
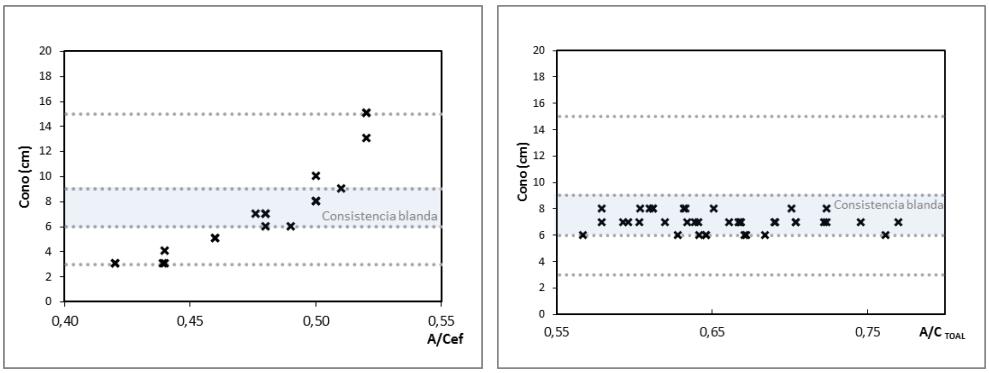


Figura 5.- Consistencias de la misma serie con r= 0 – 50 y 100 % en la modalidad $A_{efectiva}/C$ =cte.



De similar forma, los mismos resultados se obtienen cuando se compara la consistencia con las cantidades de A/C total y efectiva (figura 6) de cada una de las amasadas realizadas para cada modalidad. Así, en la parte de la izquierda se representan los resultados para la modalidad que utiliza la cantidad de Agua Total constante en la dosifican de las diferentes series, mientras que en la parte de la derecha se muestra la modalidad en la que la dosificación se realiza considerando la cantidad de Agua efectiva constante entre series.

Figura 6.- Consistencia y relación A/C para las modalidades de A_{total}/C=cte y $A_{efectiva}/C$=cte



De este modo, se demuestra como la consistencia está directamente relacionada con el nivel de agua efectiva con el que se diseñan las mezclas, obteniendo en las amasadas de A_{total}/C = cte un descenso proporcional de la misma conforme disminuye el nivel de agua libre. Cuando se dosifica manteniendo la cantidad de agua efectiva constante, el nivel de consistencia se mantiene dentro del rango blando para el cual se diseña, a pesar de que cada vez el nivel de agua total se incrementa debido a la absorción del reciclado. Como conclusión a estos resultados, y coincidiendo con lo que especifican autores como Ravindrarajah y Tam (1985) o Hansen *et al*. (1992) es necesario una cantidad extra de agua cada vez mayor conforme aumenta la tasa de reciclado para mantener el nivel de consistencia respecto a la amasada control. Dicho nivel de agua dependerá del estado de humedad inicial de cada fracción de árido y de la absorción del mismo, siendo fundamental controlar este parámetro en el momento justo de la fabricación para realizar un correcto balance de agua y poder determinar de forma adecuada el agua de amasado.

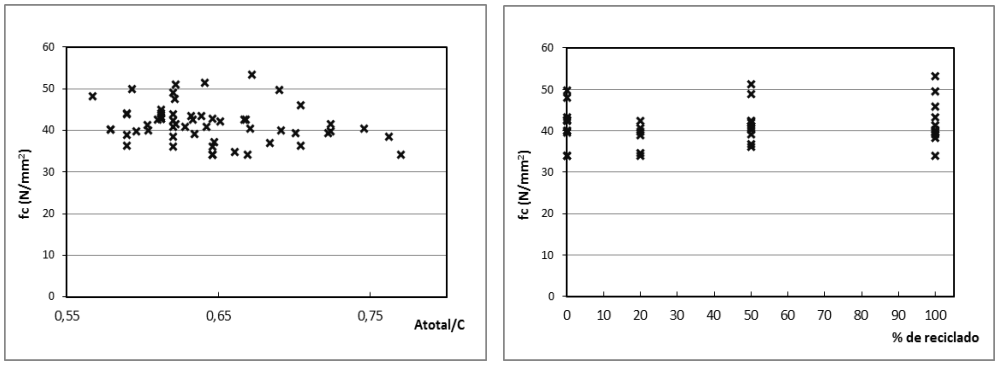
Sin embargo, no resulta lógico que este aumento de agua lleve asociado un incremento de nivel de cemento por este incremento en la cantidad de Agua total para mantener la relación A/C según proponen Hansen y Narud (1983), Barra (1996) o ACHE (2006), ya que el factor realmente comparativo es el nivel de agua libre o agua efectiva, siendo este el agente que realmente repercute en la consistencia final así como en la posterior hidratación del cemento, y que con este balance se mantendría constante. Así, de la misma forma, el nivel

resistente de la mezcla tampoco se verá directamente afectado por este incremento de agua, sino por la mera inclusión del árido reciclado, ya que del mismo modo, el cemento dispone de la misma cantidad de agua para su reacción.

4.4. Resultados sobre la resistencia a compresión.

En la figura 7 se representan los resultados de resistencia a compresión de las diferentes amasadas frente a la relación A_{total}/C, en función del nivel de reciclado utilizado. Como se puede ver, la resistencia obtenida en estas amasadas varía entre los valores de 33,9 N/mm^2 y 53,2 N/mm^2, siendo el valor medio de resistencia de 41,3 N/mm^2. Como demuestra la figura 7, la cantidad de agua total, medida a través de la relación A_{total}/C no está directamente relacionada con la resistencia final obtenida (R=-0.247), de manera que se vuelve a poner de manifiesto que un incremento de agua necesario para solventar la perdida de consistencia debido a la absorción del árido reciclado no necesita llevar a aparejado un incremento de cemento que mantenga la relación A/C. Así, se observa como los valores más altos se dan en las mezclas que utilizan las tasas de reciclado más altas (r=100%) y que por ello necesitan incrementar la cantidad de agua total respecto a su control (r=0%).

Figura 7.- Resistencia a compresión, relación A_{total}/C y nivel de reciclado para las amasadas fabricadas



De este modo, el nivel de resistencia final depende de otros factores, considerándose establecer criterios comparativos entre amasadas con la misma relación $A_{efectiva}/C$, que proporcionen similares consistencias, así como matrices cementantes de similar característica resistente. Un análisis más detallado sobre los resultados de resistencia obtenidos en las amasadas con relación $A_{efectiva}/C$ se puede encontrar Laserna, Montero y Cervera. (2015).

5. Conclusiones

Las principales conclusiones que se derivan de esta experimentación son las siguientes:

- Se ha diseñado un método de mezcla específico para la fabricación de hormigón reciclado (HR), fundamentado en los tiempos de absorción mínimos del árido reciclado, con el cual se obtienen mezclas con similar consistencia al hormigón convencional una vez finalizado el proceso, y que resulta fácilmente aplicable a la producción de hormigón a gran escala.
- La dosificación de las mezclas de HR debe realizarse mediante el cómputo del agua libre, y por tanto se debe utilizar la relación $A_{efectiva}/C$ para establecer criterios comparativos entre las diferentes mezclas. Así, es fundamental controlar los balances de humedad a fin de aplicar la cantidad de agua de amasado adecuada, por lo que computar el nivel de humedad inicial del árido reciclado es determinante.

- Utilizando el método de mezcla propuesto se puede fabricar HR utilizando áridos en su estado natural de humedad, sin necesidad de tratamientos de presaturado o desecación, y sin necesidad de incrementar la cantidad de aditivo respecto a la amasada control.
- Es cierto que para poder paliar la bajada de consistencia al incorporar áridos reciclados es necesario incrementar la cantidad de A_{total}. Sin embargo, este incremento no necesariamente lleva aparejado un incremento de la cantidad de cemento para mantener la relación A/C como proponen algunos autores, puesto que el nivel de $A_{efectiva}$ es similar para conseguir las mismas consistencias, y por tanto, la matriz cementante dispone de la misma cantidad de agua para su reacción. Además, este incremento de Agua total no es el causante de la bajada de resistencia observada por algunos autores.

BIBLIOGRAFÍA

ACHE, (2006). Monografia 11: Utilización de árido reciclado para la fabricación de hormigón estructural. Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Comisión 2-GT2/5-"Hormigón Reciclado".

Barra, M, (1996.) Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación con hormigón armado. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

EHE-08, (2008). Instrucción del Hormigón Estructural, Ministerio de Fomento, Madrid, España.

Etxeberría, M, Vázquez, E, Marí, A.R, (2006). Microstructure analysis of hardened recycled aggregate concrete. *Mag. Concr. Res.* 58:683–90.

Fuller, W.B, Thompson, S.E, (1907). The laws of proportioning concrete. *Transactions of the American Society of Civil Engineers,* Vol. LIX, No. 2, pp. 67-143.

Hansen, T.C, Narud, H, (1983). Strength of recycled concreted made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International* Vol 5 nº1; pp 79-83.

Hansen, T.C, Schulz, R.R, Hendricks, C.F, Molin, C, Lauritzen, E.K, (1992). *Recycling of demolished Concrete Masonry.* Report of Technical committee 37-DCR Demolition and Reuse of Concrete. RILEM.

Kobayashi, S. & Kawano, H. (1988) Properties and usage of recycled aggregates concrete. Demolition and Reuse of concrete and masonry, vol 2. *Reuse of demolition waste, Proceedings of the second International Rilem Symposium.* Ed Y.kasai; pp547-556. Noviembre 1988, ISBN 0-412-32110-6

Laserna, S, Montero, J, Cervera, J, (2015). Fabricación de hormigón con áridos reciclados. Influencia de los áridos convencionales en las propiedades resistentes*. VIII Congreso Ibérico de Agroingeniería*. Orihuela-Algorfa (España).

Nealen, A. Rühl, M, (1997). Consistency aspects in the production of concrete using Aggregates from recycled Demolition Materials. *In Darmstadt Concrete* - Annual Journal 12, TU Darmstadt, 1997.

Otsuki, N, Miyazato, S.I, Yodsudjai, W,(2003). Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete. *J Mater Civil Eng,* 15(5):443–51

Paw, C, Rousseau, E, (1986). Equipment Performance and mixing Techniques. *Batiement International Building Research and Practice.* Vol 14 nº3, pp 164-169.

Ravindrarajah, R.S, Tam, C.T, (1985). Proprieties of concrete made with crushed concrete as coarse Aggregate. Magazine of concrete research. vol 37 nº 130 pp 29-38.

UNE-EN 12350-2, 2006. *Ensayos de hormigón fresco. Parte 2: Ensayo de Asentamiento.* AENOR

UNE-EN 12390-2, (2009). *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia.* AENOR.

UNE-EN 12390-3, (2009). *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.* AENOR.

UNE-EN 1097-6, 2001/A1, (2006). *Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 6: Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua.* AENOR.

Vivian Tam W.Y, Gaob, X.F, Tam C.M, (2005). Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cem and Conc Res* 35,1195 – 1203.

Vivian Tam, W.Y, Tam, C.M, (2008). Diversifying two-stage mixing approach (TSMA) for recycled aggregate concrete: TSMAs and TSMAsc. *Constr Build Mater* 22, 2068–2077.

Younis, K, Pilakoutas, K, (2013). Strength prediction model and methods for improving recycled aggregate concrete. *Const Build Mater* 49, 688–701.

03-026

STUDY, CONCEPTION, DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF A LINEAR TRIBOMETER FOR TESTING HUMAN SKIN

Rodrigues de Seabra, Eurico Augusto; Ferreira Da Silva, Luis; Martins, José; Lima, Mário

Universidade do Minho

The study of the tribological properties of the skin is a research field very important for the medical investigation, dermatological products and the analysis about the interactions of textile products with skin. To obtain these properties it is necessary to performed tests in tribological equipments which can recreate conditions in order to obtain reliable values that will allow to measure the skin wrinkling. The skin aggressions are usually analyzed using special equipments, known as tribometers, that enable to perform tribological characterization of couple of materials, which allows to obtain parameters as friction coefficient and wear, for this, it is required the control of the test variables, such as, applied normal load, displacement speed, environmental conditions and other relevant circumstances which influence the interaction of surfaces in contact. The most important objective is the evaluation of a concept commonly known as touch, difficult to define and measure, which is related with the quantification of the level of comfort provided by the contact with the skin of the human body, comes the necessity of studying soft materials, namely the skin. For that purpose it became necessary, build a tribological equipment capable of responding to the demands of the required tests.

Keywords: *Mechanical Design ; Tribometer; Instrumentation and Control; 3D modelling*

ESTUDO, CONCEÇÃO, DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM TRIBÓMETRO LINEAR PARA TESTES NA PELA HUMANA

O estudo das propriedades tribológicas da pele é importante para a investigação médica, como para produtos dermatológicos, bem como análises de interações entre produtos têxteis com a pele. Para obter tais propriedades são realizados ensaios em equipamentos tribológicos, que recriam essas interações para adquirirem valores fidedignos, podendo estes serem estudados e avaliados a nível de desgaste e o próprio o enrugamento da pele. A pele humana é exposta diariamente a agressões de carácter mecânico, químico e microbiológico. Estas agressões podem alterar propriedades da pele, causando ao utente diversos desconfortos como irritações, desgaste, queimaduras, entre outros. Estas agressões são analisadas por tribómetros, sendo possível fazer a caraterização tribológica de pares de materiais, permitindo obter parâmetros como coeficientes de atrito e desgaste, para isso, a necessidade de controlar variáveis de ensaio como carga normal aplicada, velocidade de deslocamento relativo, condições ambientais e outras relevantes que influenciam a interação das superfícies em contacto. No presente trabalho é apresentado o projeto, o desenvolvimento e a construção de um tribómetro capaz de controlar as variáveis anteriormente referidas podendo assim obter o coeficiente de atrito da interação da pele com tecidos têxteis com ou sem a aplicação de diferentes cremes podendo assim estudar o seu comportamento.

Palabras clave: *Projeto Mecânico ; Tribómetro ; Instrumentação e Controlo; Modelação 3D*

Correspondencia: Prof. Dr. Eurico Augusto Rodrigues de Seabra eseabra@dem.uminho.pt

1. Introdução

A pele humana, é o maior órgão do corpo humano, em termos de superfície, que proporciona um mecanismo de defesa vital, formando uma barreira entre o interior do corpo e o ambiente externo. Ela não só contém, como suporta e protege os órgãos internos, até um certo grau, de abrasão, desgaste, corte, permitindo ainda considerável mobilidade do corpo (Elder et al. 2001).

Atualmente a pele humana é exposta diariamente a diversos tipos de agressões, podendo estas serem de caráter mecânico, químico e microbiológico, com estas, as pessoas tem tido diversos problemas na pele que tem aumentado significativamente nas últimas décadas. Muitas dessas agressões resultam da interação da pele com produtos têxteis devido a fricção, com a aplicação de cremes, com dispositivos da área da medicina, entre muitos outros. Estes mesmos ataques têm tendência a alterar as propriedades da pele, como a elasticidade, a rugosidade e a hidratação (Leonardi et al. 2002).

Neste sentido a necessidade de analisar e controlar o comportamento da interação da pele com outros elementos, é de estrema relevância devido à sua importância para minimizar situações de danos na pele, que causam muitas vezes irritação e dor, ou simplesmente para melhorar o conforto, melhorando assim a qualidade de vida. Para analisar e melhor compreender estes fenómenos são frequentemente utilizados tribómetros. Através deste equipamento é possível fazer a caraterização tribológica de pares de materiais e obter parâmetros como o coeficiente de atrito e o desgaste, tendo para isso a necessidade de controlar variáveis do ensaio como a carga normal aplicada, a velocidade de deslocamento, as condições ambientais, de lubrificação, e outras que sejam relevantes e que influenciam a interação entre as superfícies.

Este projeto nasce da necessidade de estudar materiais deformáveis, em especifico os que tem contacto direto com a pele, e como tal a necessidade de projetar e desenvolver um equipamento tribológico capaz de responder às exigências para conseguir fazer os ensaios requeridos.

Através destes ensaios foi possível medir o coeficiente de atrito entre dois materiais (apalpador e a amostra) sendo este o principal objetivo de um tribómetro. Para que o tribómetro realize na perfeição o seu principal objetivo, foram estabelecidas algumas especificações a cumprir de forma a tornar o equipamento viável. Para isto foram estudados sistemas de fixação da amostra, sistemas de deslocamento, controlo da velocidade de teste, tipo do apalpador. Foram condições essenciais consideradas a fácil utilização e utilizar alguns equipamentos já existentes no departamento de engenharia mecânica, para tornar a sua construção mais económica.

Perante o objetivo proposto, começou-se por fazer uma análise de mercado relativamente aos vários tipos de tribómetros existentes e respetivas vantagens e desvantagens de utilização, assim como o método de obter as medições dos coeficientes de atrito. Com estes dados, procedeu-se à definição de objetivos, através de uma árvore de objetivos, bem como funções que deveriam estar presentes no dispositivo a desenvolver, recorrendo a um diagrama de funções.

Atendendo ao objetivo principal, e ainda às especificações a cumprir de forma a concretizar o objetivo, fez-se uma análise das várias soluções geradas, com o intuito de encontrar a melhor solução que conseguisse cumprir o objetivo definido do modo mais simples, prático e económico, mas de igual modo viável.

De seguida elaboraram-se desenhos tridimensionais de vários componentes assim como do tribómetro idealizado através de dois programas informáticos avançados de desenho, AutoCAD® e SolidWorks (Planchard 2014), facilitando a sua conceção e visualização, para posteriormente, se proceder ao seu dimensionamento.

No seguimento foi realizada a construção física do protótipo utilizando-se vários tipos de processos de fabrico, seguindo-se a montagem dos vários componentes, obtendo assim, o tribómetro linear inicialmente projetado.

Após isto, calibrou-se todo o equipamento como a velocidade de deslocamento, a régua potenciométrica, a célula de carga e um sensor laser para medição de rugosidade da amostra.

Por fim realizaram-se testes a várias amostras a diferentes velocidades comprovando que o tribómetro é viável.

A figura 1 apresenta de forma esquemática as várias fases que foram realizadas para o desenvolvimento do projeto.

Figura 1: Fases de desenvolvimento do projeto

2. Tipos principais de tribómetros

No âmbito de melhorar e conhecer o equipamento em desenvolvimento a vários níveis procedeu-se uma análise de vários equipamentos existentes no mercado.

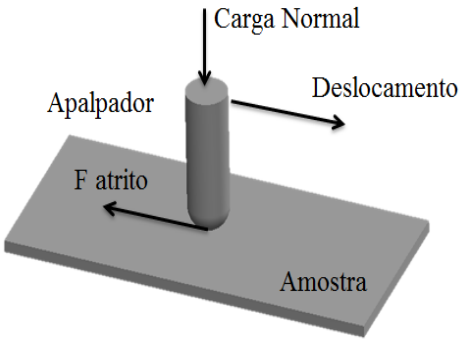
Ao efetuar esta pesquisa deparou-se que no campo da tribologia em materiais deformáveis são utilizados vários métodos para ensaios de atrito, sendo os mais utilizados, o método linear e o método rotativo, focando a pesquisa nos mesmos.

2.1 Método linear

O método linear consiste em deslizar um apalpador sobre uma amostra, ou vice-versa, em linha reta e consequentemente é gerada uma força de atrito. O coeficiente de atrito é obtido através da divisão da força de atrito pela carga normal aplicada ao conjunto amostra e apalpador, sendo o coeficiente estático obtido da divisão da força necessária para iniciar o movimento e o coeficiente dinâmico obtido através da divisão da força de atrito necessária para manter o movimento.

O método a ser utilizado no tribómetro será o linear e do tipo pino-placa. No tribómetro pino-placa a amostra é carregada axialmente pelo apalpador e realiza-se um movimento linear alternativo entre eles. Como consequência, desenvolve-se uma força de atrito contrária ao deslocamento do apalpador como exemplificado na figura 2.

Figura 2: Princípio de funcionamento de um tribómetro

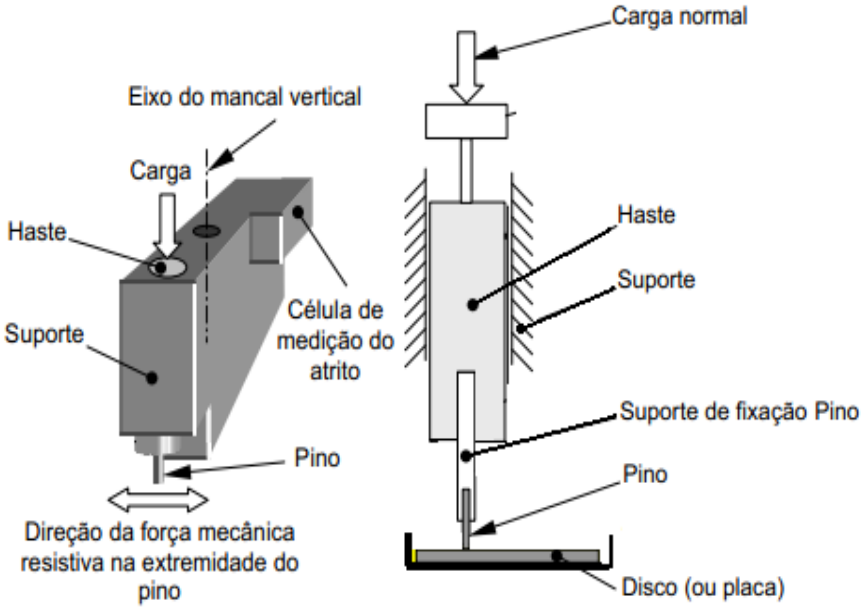


O coeficiente de atrito μ é posteriormente obtido pela divisão da força de atrito pela carga normal aplicada *N*, através pela seguinte lei de Amontons:

$$\boldsymbol{\mu} = \frac{\boldsymbol{F_{atrito}}}{\boldsymbol{N}} \quad (1)$$

A figura 3 apresenta os principais componentes em jogo na medição do coeficiente de atrito através da utilização de um tipo de tribómetro linear.

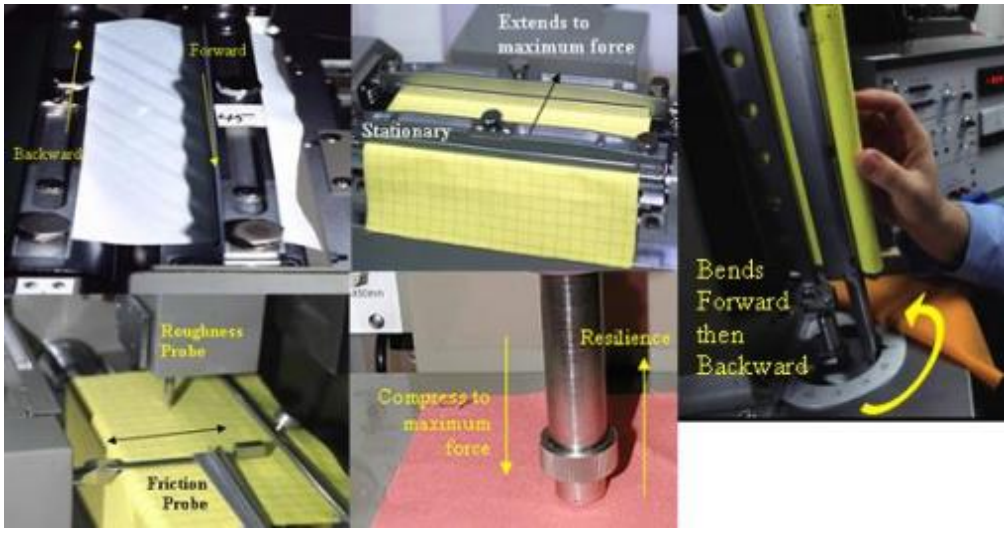
Figura 3: Exemplo de medição de coeficiente de atrito num tribómetro linear



Outro tipo de estudo dentro do método linear é a obtenção do coeficiente de atrito através da força de atrito resultante do arrastamento de fitas sobre amostras, ou até mesmo, no antebraço de voluntários.

Dentro do estudo dos diferentes contactos de materiais com a pele, surgiu um sistema que tem a capacidade de medir diferentes propriedades dos materiais (maior foco a materiais têxteis) através de um conjunto de vários equipamentos, sendo o mais representativo o Kawabata Evaluation System (KES) (Kawabata & Niwa 1989 e Wu et al. 2003), que se apresenta na figura 4.

Figura 4: Kawabata Evaluation System(KES) (Kawabata & Niwa 1989)



O KES é constituído por quatro equipamentos diferentes que permitem efetuar os seguintes tipos de testes:

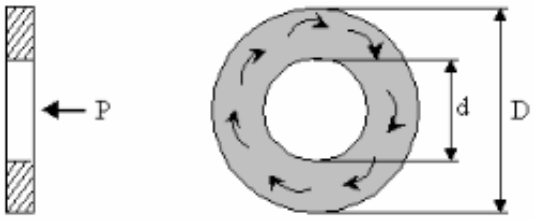
- Tração;
- Compressão;
- Flexão;
- Atrito;
- Rugosidade.

Este equipamento é um dos mais completos do mercado, no entanto não é muito utilizado na indústria devido ao seu elevado custo.

2.2 Método rotativo

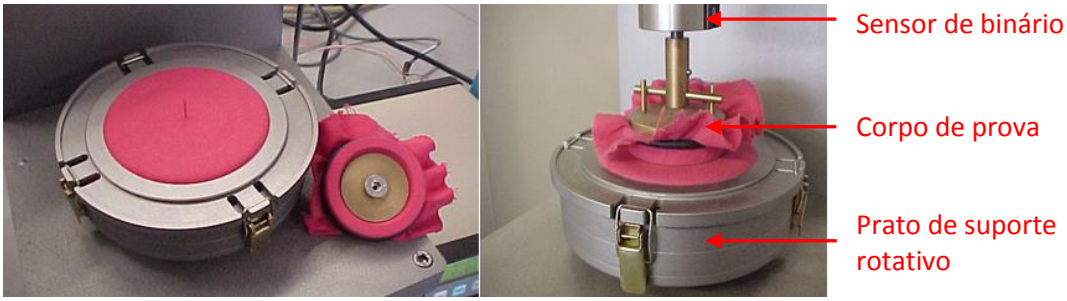
O método rotativo consiste em usar corpo de contato em forma de anel (diâmetro externo D e diâmetro interno d), que se faz rodar segundo o seu eixo e em que é aplicada uma pressão de contato *P* sobre a amostra. O seu princípio de funcionamento é apresentado na figura 5.

Figura 5: Sonda em forma de anel



Como exemplo deste princípio de funcionamento, o tribómetro FRICTORQ (figura 6) mede o coeficiente de atrito μ através de uma ação rotativa, usando um princípio semelhante a uma embraiagem de disco seco. Um motor de corrente contínua aciona um prato de suporte contendo uma amostra de tecido, sobre o qual é colocado um corpo de prova. Este é forçado a deslizar relativamente ao tecido, onde um sensor de binário, montado coaxialmente com este suporte, registará o binário reativo desse movimento relativo. Por fim, uma aplicação informática especificamente desenvolvida para este efeito converte o valor de binário *T* medido, num valor de coeficiente de atrito μ.

Figura 6: O Equipamento FRICTORQ



O corpo de prova superior foi desenvolvido para funcionar como um corpo "padrão", garantindo uma determinada pressão de contato e velocidade linear (Lima et al. 2005, Lima et al. 2007 e Macedo et al. 2012). Este corpo de prova superior foi construído de forma a acomodar dois tipos de superfície, como se mostra na figura 7.

Figura 7: Corpos "padrão" utilizados no FRICTORQ

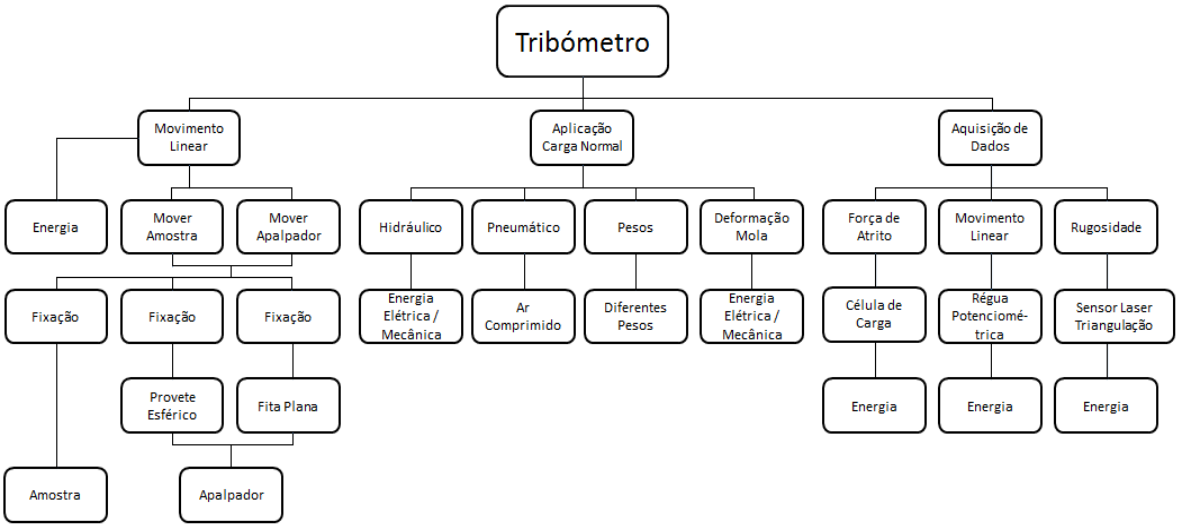
3. Projeto do tribómetro linear

Para a realização da conceção, projeto e desenvolvimento de um tribómetro linear foram seguidas diferentes fases de projeto, como a definição do problema, a elaboração da árvore de objetivos, a determinação das especificações e elaboração e escolha da melhor solução, tendo em conta o cumprimento dos principais requisitos do dispositivo a desenvolver.

3.1 Árvore de objetivos

Após o estudo de mercado e para um melhor esclarecimento das várias possibilidades de resolução dos diferentes sistemas do equipamento, foi elaborada uma árvore de funções, como se ilustra a figura 8. Nesta, são apresentadas várias soluções e diferentes abordagens para os vários sistemas necessários para o tribómetro.

Figura 8: Árvore de funções para o tribómetro linear



3.2 Especificações

Como qualquer projeto, logo à partida, foram apresentadas vários objetivos/especificações iniciais em relação ao tribómetro desejado. Esses objetivos/especificações definiram o tipo de tribómetro, a amostra, o apalpador, a carga e alguns parâmetros de funcionamento, conforme listados na tabela 1.

Tabela 1: Objetivos/especificações para o projeto do tribómetro linear

Descrição	Quantificação
Tipo de testes	Medição do coeficiente de atrito e do perfil de rugosidade da amostra
Carga Normal	Desde o peso do apalpador até aos 2 kg, por gravidade
Tipo de movimento	Linear alternativo
Amplitude do movimento	Capacidade de diferentes cursos até um mínimo de 5 mm e um máximo de 280 mm
Gama de velocidades	Desde 1 mm/min até 15 mm/s
Medição da força de atrito e rugosidade	Célula da carga de tração e compressão (força de atrito) Sensor laser (rugosidade)
Geometria do apalpador	Ponteira esférica

3.3 Tipos de testes

Como foi dito anteriormente, pode-se tirar a conclusão que os tribómetros têm como principal objetivo medir a força de atrito existente entre dois materiais. No tribómetro linear a desenvolver também é desejado que permita a medição da rugosidade da amostra que está a ser testada, através da utilização de um sensor laser.

Aplicação de carga normal

A escolha recaiu sobre a aplicação manual de pesos, principalmente devido à sua simplicidade, ser um sistema bastante compacto e de ser a solução mais económica. Uma das principais contrapartidas deste sistema é a necessidade de diferentes pesos, todos estes devidamente calibrados, para aplicar diferentes cargas, o que implica inicialmente uma baixa gama de cargas possíveis de aplicar. Esta solução consiste num tubo fino em vidro (tudo de ensaios laboratoriais), onde primeiramente insere-se no seu interior o apalpador com a geometria e material pretendido, e de seguida colocam-se sucessivos pesos para atingir a força normal pretendida.

Movimento relativo entre amostra apalpador

A escolha recaiu para o movimento ser efetuado por uma mesa linear motorizada, com a referência TLH 300 da marca Festo. Com a aplicação desta mesa, o curso máximo é de 280 mm e o movimento linear da mesa será realizado através da utilização de um motor elétrico DC.

Amplitude do movimento

Esta especificação tornou-se fácil de resolver após a escolha da mesa motorizada TLH 300 da Festo, isto porque, esta contém dois sensores de fins de curso de posição ajustável, que podem ser colocados entre si no intervalo dos 5 aos 280 mm.

Gama de velocidades e sentido de deslocação

O movimento linear da mesa é realizado através da utilização de um motor elétrico DC acoplado a um fuso de passo de 3 mm e permite alterar a velocidade e a direção do movimento linear da mesa, respetivamente, por alteração e por inversão da tensão elétrica aplicada ao motor DC.

Medição da força de atrito e rugosidade

O coeficiente de atrito é obtido através da divisão da força de atrito pela carga normal, para tal, sendo conhecida previamente a carga normal aplicada, é necessário conhecer a força de atrito durante o ensaio. Essa leitura é efetuada por uma célula de carga, referência,

WMCP 1000G da marca Interface, com uma capacidade máxima de leitura de 1 kgf de esforços de tração e de compressão. Para a leitura do perfil de rugosidade/enrugamento foi selecionado um sensor laser de triangulação da marca Micro-Epsilon, modelo optoNCDT 1302.

Geometria do apalpador

O apalpador é o corpo onde é aplicada a força normal, também é o elemento que irá entrar em contacto direto com a amostra, logo a sua geometria será importante no sentido de que o contacto com a amostra seja de modo a que não crie esforços em direções não perpendiculares à força normal, que perturbem as leituras corretas da força de atrito por parte da célula de carga.

3.4 Dimensionamento

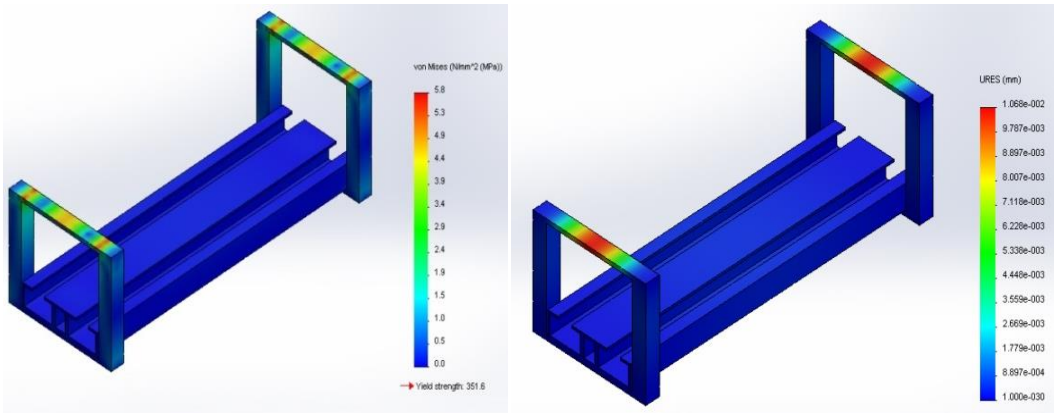
O objetivo neste capítulo é o dimensionamento dos principais componentes do tribómetro linear, nomeadamente, a estrutura e o sistema fixação da célula de carga e do sensor laser. Ou seja, projetar os elementos anteriormente referidos para que efetuem a suas funções sem entrar em colapso e sem deformar ou vibrar excessivamente. Dentro destes limites, os quais são definidos por normas técnicas, o engenheiro estrutural almeja o melhor uso dos materiais disponíveis e o menor custo possível de construção e manutenção da estrutura.

Resumidamente, as principais etapas deste dimensionamento, foram, após a criação do esquema estrutural, em primeiro lugar, a definição das cargas ou forças que atuam na estrutura e a aplicação dos restringimentos, sendo depois realizado o cálculo dos esforços e das deformações.

Estrutura da mesa do tribómetro

Para um dimensionamento em situação real foi aplicado o peso real da mesa do tribómetro que é de aproximadamente 8 kgf. Foram posicionadas as forças na parte superior da estrutura assim como os locais onde se fixa a parte inferior da estrutura para realizar os ensaios. A figura 9 apresenta os resultados da simulação numérica por elementos finitos realizada.

Figura 9: Resultados obtidos da simulação para uma força de 78,5 N



Considerando uma malha de elementos finitos de 4 mm, os resultados obtidos a deformação e tensão máximas foram, respetivamente, 0,01 mm e 5,83 MPa. A deformação encontra-se dentro dos limites impostos e como as forças em jogo são muito pequenas, a tensão máxima obtida é muito mais reduzida que o material com inferior tensão de cedência.

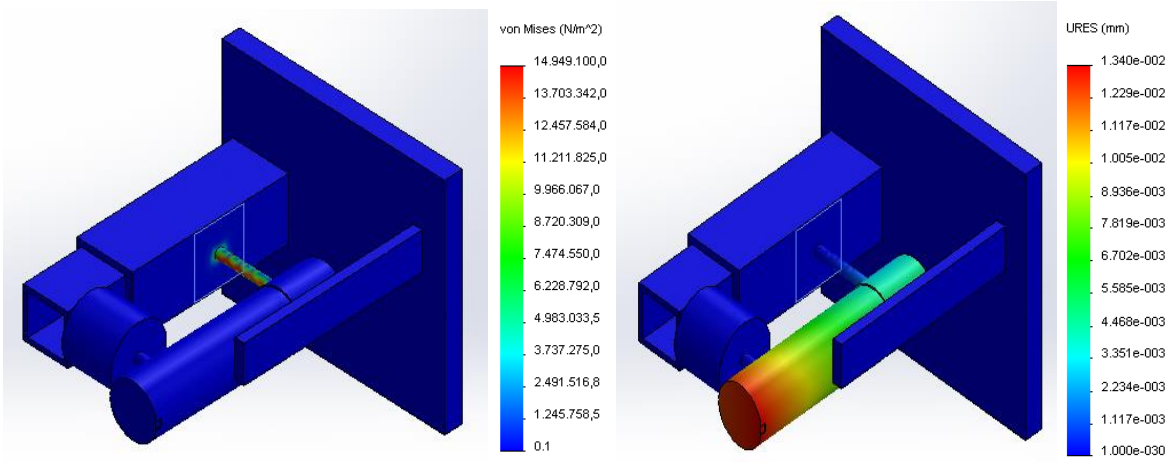
Dimensionamento do sistema de fixação da célula de carga, apalpador e sensor

Este sistema é responsável pela fixação dos componentes eletrónicos como a célula de carga que irá efetuar a leitura da força de atrito, gerada pelo deslizamento do apalpador

sobre a amostra com uma determinada carga normal. Este movimento irá criar tensões no suporte, deste modo, para assegurar o seu bom funcionamento, procedeu-se ao seu dimensionamento.

Considerando a mesma malha de elementos finitos de 4 mm, a deformação e tensão máximas foram, respetivamente, 0,01340 mm e 14,949 MPa. A deformação encontra-se dentro dos limites impostos e como as forças em jogo são muito pequenas, a tensão máxima obtida é muito inferior à tensão de cedência do material. A figura 10 apresenta os resultados obtidos da simulação efetuada.

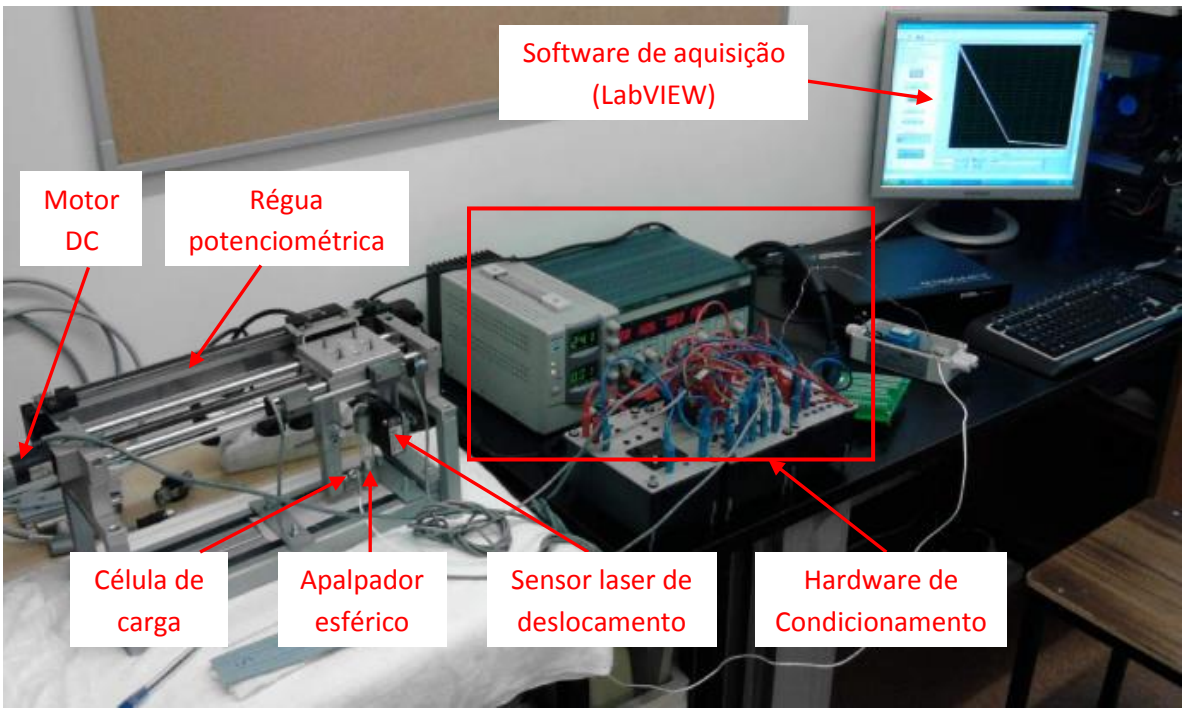
Figura 10: Resultados obtidos da simulação estática em caso normal



3.5 Construção do protótipo do tribómetro linear

Após a realização das fases de projeto de conceção e de detalhe seguiu-se a sua construção e montagem. A figura 11 apresenta uma fotografia do tribómetro linear construído, bem como todo o sistema de comando e controlo implementado (Hardware e Software). Após esta fase estar concluída, procedeu-se de seguida a ensaios preliminares de validação do tribómetro.

Figura 11: Vista geral do equipamento desenvolvido



4. Testes de validação do tribómetro linear

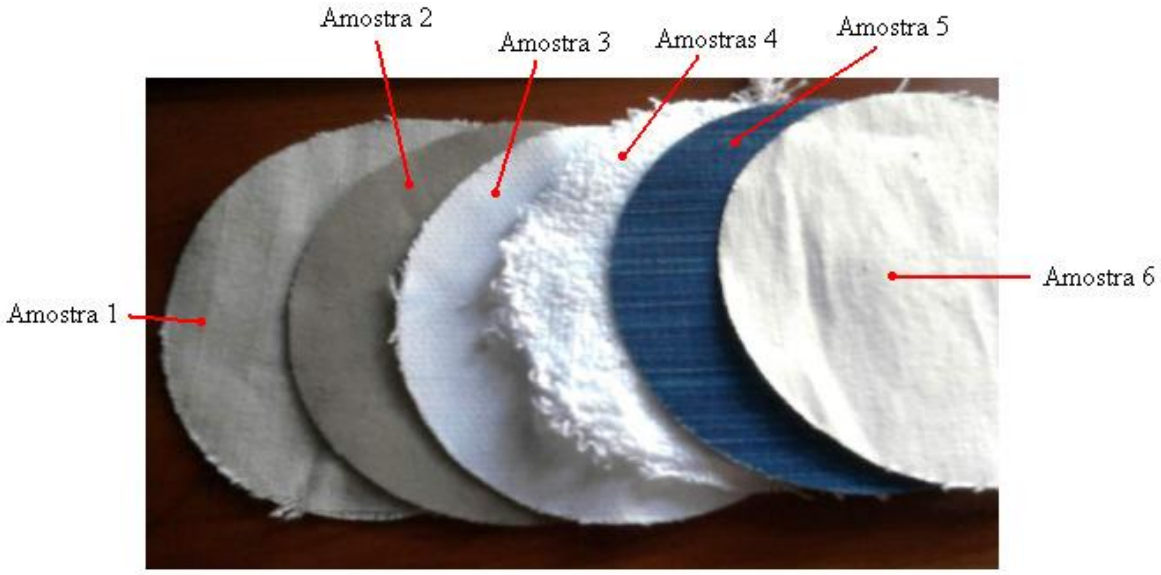
Após todos os passos descritos nos capítulos anteriores como, a necessidade deste projeto, os seus objetivos, soluções estudadas, dimensionamento, construção do protótipo e calibração dos diversos componentes, para tornar este tribómetro fiável, efetuaram-se testes de validação ao equipamento (valores de coeficientes de atrito) com o auxilio de seis amostras de tecido têxtil.

Para comprovar que o tribómetro linear desenvolvido e construído fornece dados fidedignos, decidiu-se comparar resultados, isto é, estabeleceram-se parâmetros e critérios a nível de velocidade, deslocamento, amostra, e carga normal, para se realizarem testes com as mesmas condições em dois tribómetros diferentes, sendo eles, o tribómetro linear desenvolvido e o FRICTORQ referido anteriormente.

Devido ao FRICTORQ usar o método rotativo e o tribómetro estudado usar o método linear, teve-se de calcular a velocidade linear através da velocidade angular do FRICTORQ, para isso, recorreu-se a um tacómetro onde se mediu 0,7 rotações/minuto, e sabendo que o raio médio do corpo de prova/apalpador (ver figura 7) é de 21 mm , a velocidade linear equivalente é de 92,4 mm/minuto, sabendo assim a velocidade a aplicar no tribómetro linear. Outro dos parâmetros importantes é a distância percorrida pelo apalpador ser semelhante, o FRICTORQ foi a referência, isto também porque o tribómetro linear é o único dos dois em que é possível regular a distância a percorrer pelo apalpador, logo foi calculado o percurso percorrido pelo corpo de prova (perímetro) no FRICTORQ, que é de 131,8 mm. Finalmente, também foi utilizado um apalpador no tribómetro linear com massa de 25 g que é igual à massa do corpo de prova/apalpador do FRICTORQ.

A figura 12 ilustra as amostras escolhidas para determinar o coeficiente de atrito que foram seis tecidos têxteis distintos, onde cada um deles foi submetido a dois ensaios realizando assim doze testes em cada um dos dois tribómetros, o que resultou, no total de vinte e quatro ensaios.

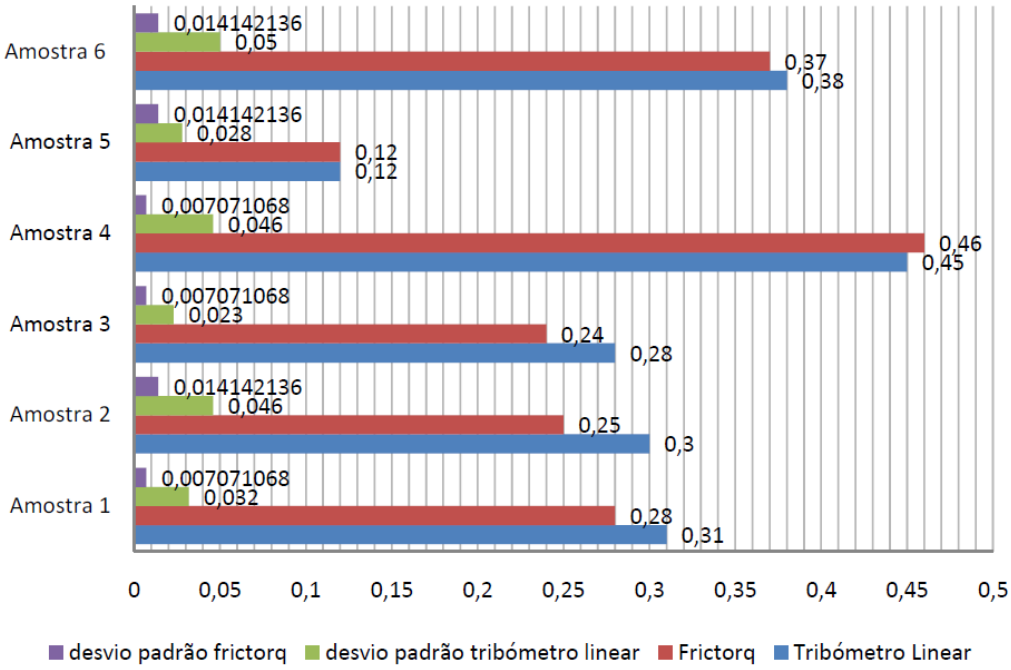
Figura 12: Amostras de tecidos têxteis ensaiadas



Inicialmente realizaram-se os testes no tribómetro FRICTORQ, devido à sua incapacidade a nível de controlo de variáveis de ensaio, como, velocidade, deslocamento e altura da amostra em relação ao tribómetro linear. Após a sua observação e com a utilização de condições de ensaio semelhantes (amostras, velocidade, deslocamento e carga normal) foi possível efetuar os mesmos testes no tribómetro linear desenvolvido.

A figura 13 apresentada os principais resultados, em termos de coeficiente de atrito, para os vários ensaios realizados nos dois tribómetros.

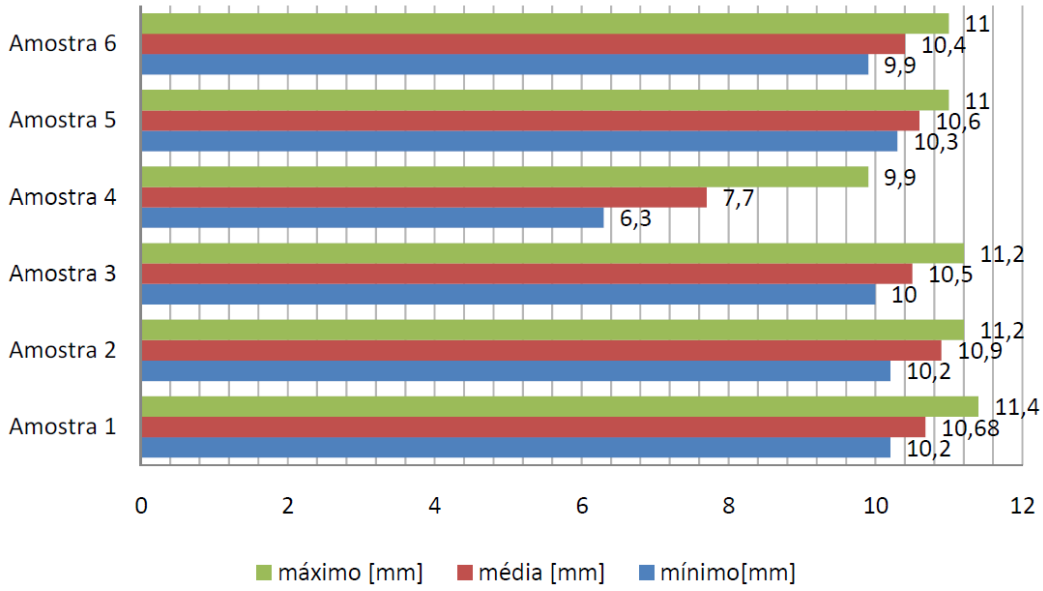
Figura 13: Resultados estatísticos dos coeficientes de atrito obtidos



Analisando os resultados apresentados na figura 13, pode-se verificar que ambos os tribómetros fornecem valores médios de coeficiente de atrito muito próximos tendo uma discrepância na ordem das centésimas de unidade sendo que foi na amostra 2 que ocorreu a maior discrepância (0,05), ou até mesmo nenhuma diferença, como indicam os resultados da amostra 5 onde o coeficiente de atrito é igual. Analisando os resultados em termos do desvio padrão pode-se notar alguma diferença entre os resultados dos dois tribómetros, isto pode ser explicado pelos sistemas de aquisição de dados serem diferentes (taxas de aquisição diferentes). Embora em ambos os tribómetros o desvio padrão é baixo, onde o maior tem um valor de 0,05 na amostra 6 para o tribómetro linear e de 0,01 na amostra 2, 5 e 6 no FRICTORQ.

No sentido de averiguar se existe uma correspondência entre os resultados de coeficientes de atrito obtidos (figura 13) com a rugosidade das amostras, a figura 14 apresenta os seus valores, medidos pelo sensor laser instalado no tribómetro linear.

Figura 14: Rugosidade média das 6 amostras têxteis ensaiadas



A amostra 4 é a que se evidencia mais a correspondência porque é a amostra com o coeficiente de atrito mais elevado assim como a que apresenta a maior rugosidade (intervalo de valores superior). O inverso da amostra 4 é a amostra 5, ou seja, é a amostra que apresenta menor coeficiente de atrito assim como menor rugosidade (intervalo de valores). As restantes amostras, 1, 2, 3 e 6, são muito semelhantes entre elas, tanto a nível de coeficiente de atrito assim como de nível de rugosidade.

Com isto, pode-se concluir que existe uma relação entre rugosidade e coeficiente de atrito num material, ou seja, quanto maior o intervalo de valores de rugosidade maior será o coeficiente de atrito desse material.

5. Conclusões

Relativamente ao projeto e desenvolvimento de uma novo tribómetro linear para testes na pela humana foi possível criar um equipamento adequado e versátil e cumpre todas as especificações pretendidas.

Foi aferido e validado o novo tribómetro linear, desenvolvido e apresentado neste artigo, comparando os seus resultados em termos de coeficiente de atrito obtidos com os medidos em condições semelhantes num tribómetro já existente no mercado. Os resultados encontrados sugerem e demonstram a fiabilidade e rigor dos dados obtidos pelo tribómetro linear desenvolvido.

Futuramente, será otimizado o sistema de aquisição e controlo do tribómetro linear e realizados mais testes de validação, utilizando outros tipo de materiais de amostras, nomeadamente, silicones que simulem a pele humana, que é o principal objetivo.

6. Referências

Elder, D., Elenitsas, R., Johnson, B., Jr Ioffreda, M., Miller, J., Miller III, O. (2001). Histopatologia da pele de Lever. Manole.

Kawabata, S.; Niwa, M. (1989). Fabric Performance in Clothing Manufacture". Journal Textile Institute 80 (1), pp. 19–50. doi:10.1080/00405008908659184.

Leonardi, R. G., Gaspar, L. R., Campos, P. G. (2002). Estudo da variação do pH da pele humana exposta à formulação cosmética acrescida ou não das vitaminas A, E ou de ceramida, por metodologia não invasiva. Anais Brasileiros de Dermatologia. Rio de Janeiro, 77(5), pp. 563-569.

Lima, M., Hes, L., Silva, L.F., Vasconcelos, R. & Martins, J. (2005). FRICTORQ, Tribómetro para Avaliação Objectiva de Superfícies Têxteis. III Congresso Ibérico de Tribologia – IBERTRIB´2005 (CD-ROM), Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães, 16-17 de Junho.

Lima, M., Silva, L.F., Vasconcelos, R., & Cunha, J. (2007). FRICTORQ – Instrumento para a Medição Objectiva do Atrito em Têxteis, conference “Engenharias’2007 – Inovação & Desenvolvimento”, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 21-23 November.

Macedo, D., Lima, M., Silva, L.F., Vasconcelos, R., & Seabra, E. (2012). FRICTORQ: Evaluation of Friction Coefficient in the Presence of Cosmetic Creams. TRS 2012 – The 41st Textile Research Symposium, 12- 14 September, Guimarães, Portugal.

Planchard, D. C. (2014). SolidWorks 2015 Reference Guide, SDC Publications. United States of America.

Wu, Z.; Au, C.K., Matthew, Y. (2003). Mechanical properties of fabric materials for draping simulation". International Journal of Clothing Science and Technology 15 (1): 65–88. doi:10.1108/09556220310461169.

03-027

THE PERCEPTION OF DESIGN BY ENGINEERING DESIGN DEGREE'S POTENTIAL STUDENTS

Lasa Erle, Ganix ; Justel Lozano, Daniel ; Lauroba Izagirre, Nagore ; Beitia Amondarain, Amaia Mondragon Unibertsitatea

Design is a field that reflects more complexity when is valued by the surrounding environment. Knowledge about the activity, sensitivity and the existence of an established culture of design has great significance on this fact. In this context, we carried out an study to analyse the perception of Design by potential students of the Engineering Design Degree's potential students. And we also see the effectiveness of an interactive questionnaire that allow to understand the different features that complete the knowledge of Design. Thus, this paper aims to show the perception of different concepts of design knowledge with high school students in the Basque Country. For this purpose, we carried out an experiment in which 70 students from different schools in the territory respond to different issues related to the the topic.

Keywords: *perception; design; students*

ESTUDIO SOBRE LA PERCEPCIÓN DEL DISEÑO DE POTENCIALES ALUMNOS DEL GRADO EN INGENIERÍA DE DISEÑO

La actividad del Diseño, es una de las actividades que mayor complejidad refleja a la hora de ser valorado o visualizado por el entorno que lo rodea. El conocimiento sobre la actividad, la sensibilidad y la existencia de una asentada cultura del diseño tiene gran relevancia en este hecho. Partiendo de esta situación, se ha llevado a cabo un estudio descriptivo sobre la percepción del conocimiento del Diseño de alumnos potenciales del Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y la efectividad de un cuestionario interactivo para hacer entender los diferentes aspectos que completan el amplio conocimiento del Diseño. Así, esta comunicación tiene como objetivo mostrar la percepción sobre diferentes conceptos del conocimiento del diseño que tienen alumnos de bachiller del País Vasco. Para ello, se lleva a cabo un experimento donde 70 alumnos y alumnas de diferentes escuelas del territorio responden a diferentes cuestiones vinculadas al diseño.

Palabras clave: *percepción; diseño; estudiantes*

Correspondencia: Ganix Lasa glasa@mondragon.edu

1. Introducción

El futuro de la actividad del diseño es impredecible, pero aún así, es necesario analizar las constantes que van definiendo la percepción y la cultura del diseño en la sociedad, estudiar el comportamiento y proyectar posibles escenarios para poder seguir avanzando (Pericot, 2002).

El carácter evolutivo que muestra el significado del diseño, hace que la percepción del diseño por parte de la sociedad muestre gran complejidad (Julier, 2006; Lloret, 2014). Claro reflejo de esta evolución sobre la percepción de esta disciplina es la importancia que viene adquiriendo el *branding* en la actividad que engloba el diseño. Esta evolución ha hecho adentrar al consumidor en otro nivel de profundidad, valorando atributos hasta ese momento desconocidos, como las emociones, y que va más allá de la simple valoración de los objetos a través de los atributos visuales y materiales (Julier, 2010).

La percepción, al mismo tiempo es un concepto que está muy ligado a la cultura. El concepto "cultura del diseño" muestra que el diseño es una actividad reconocida hasta cierto punto por el entorno que lo rodea (Margolin, 1991). Por ello, es necesario trabajar y hacer conocer la disciplina, para poder lograr un mayor reconocimiento por parte de la sociedad, las empresas y los que finalmente serán los consumidores.

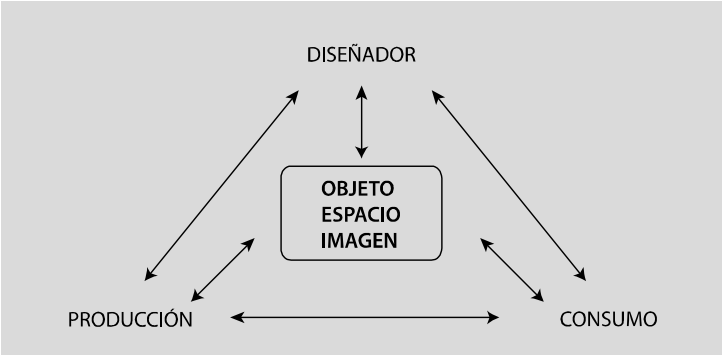
A través de un estudio empírico, Gómez Barrera (2010) expone la importancia que la cultura del diseño puede llegar a tener en una comunidad y afirma que llega a ser clave en el desarrollo de las Pymes. Además, añade que una cultura bien afincada en la empresa facilita la apertura competitiva hacia nuevos mercados y la contribución al desarrollo del territorio que lo rodea.

Picas (2005) por su parte, en un análisis centrado en el tejido industrial de España, identifica poca cultura del diseño y experiencia vinculada a esta disciplina. Así, enfatiza el inconveniente que ello supone para prosperar en términos de competitividad y estrategia empresarial. Por ello, entre las actuaciones prioritarias que propone para mejorar la aplicación del diseño en España, está la creación de una cultura específica que transmita a la sociedad la importancia del diseño y su integración en la empresa.

Partiendo de esta base, se puede afirmar que el conocimiento de la actividad, la sensibilidad y la existencia de una asentada cultura del diseño tiene gran relevancia en la percepción que la sociedad puede tener respecto al valor de la disciplina. En esta línea, Fine y Leopold (1993) aseguran que el valor del diseño está relacionado con la reconstrucción cultural del significado de lo que se consume. Y que para poder valorar la disciplina en su conjunto, es necesario visualizar el conjunto de todas las actividades que lo completan y la relación entre ellos.

Julier (2010), describe un triángulo para representar las actividades que componen el diseño. Los tres vértices que definen el triángulo son: producción, diseñador y consumo (Figura 1). Por un lado, la producción contempla todas las formas de intervención consciente en la creación, ejecución, distribución y circulación de bienes y servicios. Por otro lado, el diseñador es la persona encargada de idear, llevar a cabo y modelar el objeto deseado. Y por último, el consumo recoge los datos cuantitativos relacionados al grado de adquisición, motivos de compra y significado de los consumido.

Figura 1: Triángulo de las actividades del diseño (Julier, 2010)



Partiendo de esta base, esta comunicación presenta el análisis de la percepción sobre la actividad del diseño que tienen los alumnos del País Vasco que están cursando el bachillerato. Y para ello, se ha llevado a cabo una encuesta teniendo en cuenta los diferentes aspectos que engloba el diseño, y así poder conocer la percepción general de los encuestados (del alumnado en este caso en concreto).

4. Objetivo

A partir de la identificación de una escasa cultura del diseño en España (Picas, 2005), y conociendo la importancia que una cultura de diseño bien asentada puede tener en la sociedad y el desarrollo industrial (Gómez Barrena, 2010); el objetivo de esta comunicación es conocer la percepción sobre el Diseño Industrial que tienen los alumnos y alumnas de Bachiller del País Vasco. Jóvenes que serán pilar fundamental en el futuro próximo del tejido empresarial vasco y potenciales alumnos del Grado en Ingeniería de Diseño Industrial.

5. Hipótesis

Esta comunicación pretende validar que la percepción sobre el diseño por parte del alumnado del País Vasco, no se ajusta a la realidad de la disciplina y que existe gran desconocimiento sobre la actividad que engloba el Diseño Industrial. Para ello, se ha preguntado sobre diferentes aspectos del diseño mediante un cuestionario interactivo.

6. Método de investigación

El procedimiento de investigación utilizado es el que se utiliza con la técnica de encuestas (Anguita et al., 2003): (i) identificación del problema, (ii) determinación del diseño de investigación, (iii) especificación de la hipótesis, (iv) definición de variables, (v) selección de la muestra, (vi) diseño del cuestionario, (vii) organización del trabajo de campo, (viii) obtención y tratamiento de los datos y (ix) análisis e interpretación de datos.

Siendo la primera aproximación de estudio en este tema en concreto, como método de investigación se realiza un estudio descriptivo y longitudinal (Argimon-Pallás & Jiménez-Villa, 2000). El estudio descriptivo permite identificar regularidades en los aspectos del objeto de estudio y plantear hipótesis que puedan ser validadas en estudios posteriores, sin crear relaciones causa-efecto.

De este modo, la presente investigación pretende ser la primera aproximación que permita conocer la percepción del alumnado sobre el Diseño Industrial. Estableciendo una base para poder realizar un análisis a lo largo del tiempo.

7. Participantes

Dentro de las actividades realizadas en la universidad para celebrar la Semana de la Ciencia de 2014, se ha reunido a alumnos de Bachillerato de diferentes localidades del País Vasco. En este contexto, se lleva a cabo un experimento donde 70 alumnos y alumnas del territorio responden a diferentes cuestiones vinculadas al diseño. De las 70 personas encuestadas, 51 son chicos y 19 chicas.

8. Cuestionario

El cuestionario permite conocer la percepción del alumnado sobre diferentes aspectos y conceptos teóricos de la actividad del diseño industrial. El objetivo del cuestionario es identificar el grado de conocimiento de los alumnos, planteando diferentes ejemplos y formulando preguntas sobre diferentes conceptos. Además, pretende conocer el grado de conocimiento sobre los conceptos planteados y el grado de satisfacción al finalizar el cuestionario. Las 10 cuestiones que completan el cuestionario son las siguientes:

1. En primer lugar, ¿cómo te puedo llamar?
2. ¿Preparad@ para responder a las preguntas?
3. ¿Crees que conoces la actividad del diseño industrial?
4. ¿Qué es esto?

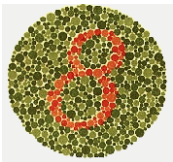
Figura 2: Juicy Salif de Phillippe Starck.

5. ¿Qué hora indica el reloj?

Figura 3: Timer clock de Jacob Jensen.

6. ¿Qué número identificas en la siguiente imagen?

Figura 4: Imagen test de daltonismo.



7. ¿Qué es lo primero que ves en esta imagen?

Figura 5: Ejemplo del principio de Gestalt.

8. ¿Cuál comprarías para ti? [Alessi, Clásico o Básico].
9. ¿Cuál comprarías? [Ford, Ferrari, BMW, Dacia, Volkswagen o Mercedes-Benz].
10. ¿Te ha gustado el cuestionario?

Las dos primeras preguntas están enfocadas a mostrar cierta cercanía y generar interés para realizar la actividad de manera correcta. La pregunta 3, tiene como objetivo recoger la percepción que los alumnos tienen sobre el diseño, antes de empezar a hablar de los diferentes aspectos que lo engloba. A partir de aquí, se pregunta sobre diferentes conceptos que describen la globalidad del diseño.

La pregunta número 4, pide identificar la icónica pieza de Phillippe Starck, *Juicy Salif* (Figura 2). Una pieza que nos ayuda a describir los diseños de autor y el conflicto que puede llegar a existir entre funcionalidad, estética y percepción del usuario.

La quinta pregunta, pide descubrir la hora en el *Timer Clock* de Jacob Jensen (Figura 3). Este producto, permite introducir la evolución de los códigos gráficos e interpretativos en el tiempo, y si aplicación en un producto tan clásico como un reloj.

La siguiente pregunta, muestra una imagen que se suele utilizar como prueba para identificar daltonismo (Figura 4). La pregunta, se utiliza para introducir el enfoque que permite tener en cuenta el amplio espectro que completa la población, denominado Design for all.

La pregunta número 7, a partir del ejemplo que muestra una aplicación del principio de Gestalt, permite introducir la compleja realidad que describe la percepción del ser humano y su influencia en el diseño (Figura 5).

A continuación, se pregunta sobre preferencias en hipotéticas situaciones de compra. La octava pregunta plantea la elección sobre tres tipologías de sacacorchos. La situación ayuda a describir la realidad del mercado y las diferencias que pueden existir en las preferencias de cada usuario. La novena pregunta por su parte, propone una serie de logotipos de empresas que fabrican automóviles. La pregunta, permite explicar la importancia que tiene el concepto de marca, y cómo esta acompaña al producto que se vende.

Por último, antes de dar por finalizado el cuestionario, se pide una valoración (del 1 al 5) de la encuesta rellenada.

Para facilitar el acceso al cuestionario se ha utilizado la plataforma Typeform. Una plataforma que permite plantear preguntas con una apariencia agradable, amigable y fácil de rellenar. El cuestionario completo puede visualizarse en el siguiente enlace: http://bit.ly/percepcionalumnos

9. Procedimiento

Este estudio se ha llevado a cabo dentro de la Semana de la Ciencia de 2014 que está dirigida a estudiantes de bachillerato del entorno. Los alumnos han sido divididos en grupos para participar en diferentes talleres y actividades, y por ello este análisis se ha desarrollado en pequeños grupos de 6-8 personas. El procedimiento que se ha llevado a cabo es el siguiente:

1. Introducción
2. Facilitar link de cuestionario – mediante código QR.
3. Rellenar cuestionario.
4. Análisis de los resultados y exposición del concepto vinculado.
5. Conclusiones, reflexión y cierre.

En primer lugar, se realiza una breve introducción a la actividad que se va a realizar y se propone que cada alumno utilice su teléfono móvil personal para rellenar el cuestionario. A continuación, se facilita el link para poder acceder al cuestionario. Acto seguido, los alumnos y alumnas rellenan el cuestionario en sus móviles (se facilita ordenador a aquellos que no lo tienen).

Una vez rellenado el formulario, se exponen los resultados obtenidos y se realiza un análisis conjunto. Cada pregunta está asociada a un concepto teórico de la actividad del diseño, y se parte de los resultados de cada pregunta para poder explicar el concepto correspondiente.

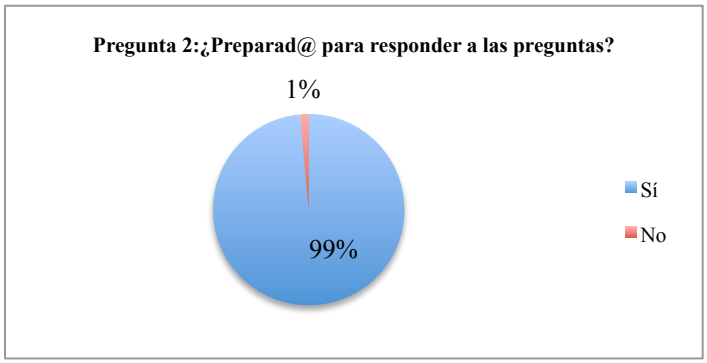
Por último, se cierra la actividad obteniendo conclusiones de las respuestas obtenidas. La carácter participativo de la actividad facilita la reflexión por parte del alumnado y se abren espacios para hablar sobre diseño, estudios y el futuro académico/laboral de los alumnos.

10. Resultados

Con el objetivo de conocer el grado de conocimiento y la percepción de los alumnos/as de Bachillerato sobre la actividad del diseño, 70 personas han respondido al cuestionario de 10 preguntas. Y los resultados se muestran a continuación.

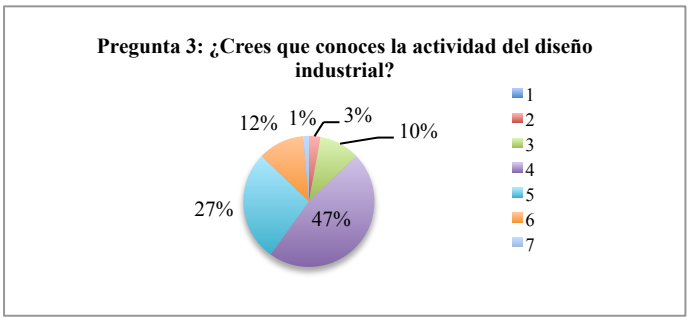
La pregunta 1 y 2, se utilizan de modo introductorio. La primera, pregunta por el nombre y la segunda por la disponibilidad del encuestado. En la figura 6, se puede apreciar el resultado de la pregunta 2, donde el 99% ha respondido estar preparado para iniciar con la encuesta.

Figura 6: Resultados de la pregunta 2.



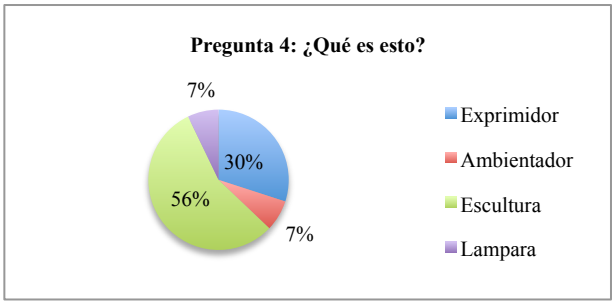
Los resultados de la pregunta 3 (Figura 7), muestran que el grado de conocimiento que el alumnado cree tener es valorado con un 4.4 de media sobre 7 (valorado en escala Likert 1 al 7). Los valores más significativos son el 4 con un 47% y el 5 con un 27%.

Figura 7: Resultados de la pregunta 3.



La pregunta muestra el exprimidor Juicy Salif de Phillipe Starck, y los resultados recogen que para el 56% de los encuestados el producto es identificado como escultura. Sólo el 30% lo visualiza como exprimidor (Figura 8).

Figura 8: Resultados de la pregunta 4.

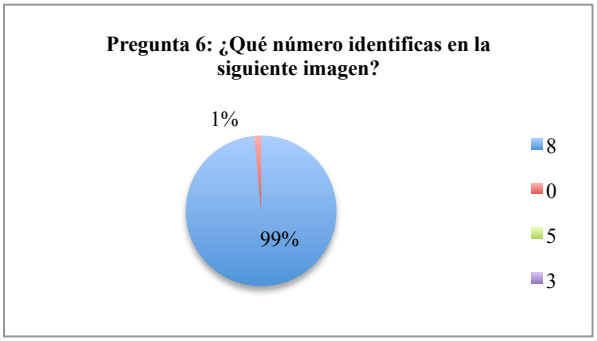


La pregunta 5 pregunta identificar la hora en el reloj Timer Clock de Jacob Jensen. Los resultados muestran que el 51% sabe qué hora es, y el 49% restante no ha sabido descifrar la hora que indica (Figura 9).

Figura 9: Resultados de la pregunta 5.

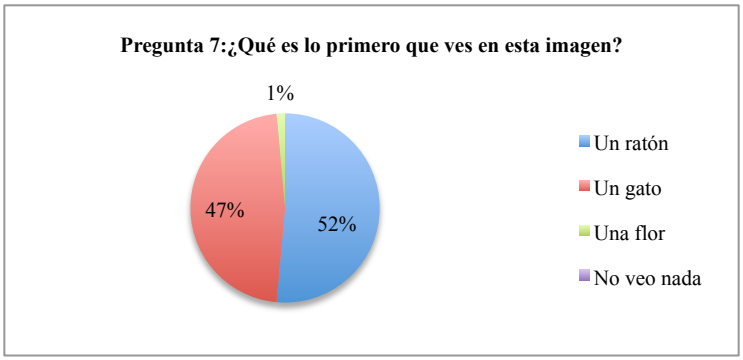
En la pregunta 6 se visualiza una imagen utilizada en los test de daltonismo. En este caso el 99% de los encuestados no tiene problemas para la distinción de colores y visualiza un 8 (Figura 10).

Figura 10: Resultados de la pregunta 6.



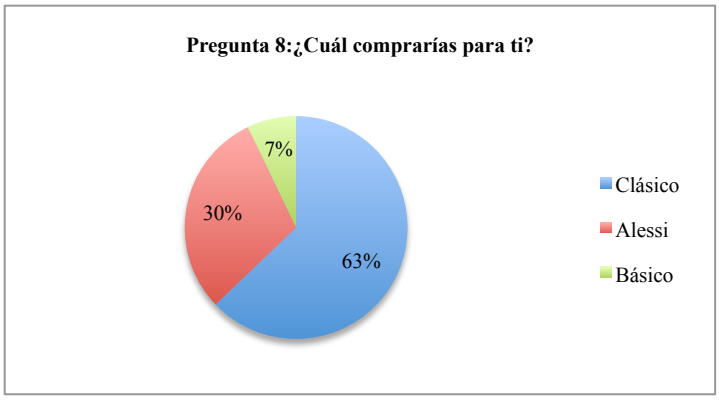
En la pregunta 7 se puede ver una imagen basada en el principio de Gestalt, donde se pueden identificar un gato y un ratón. En este caso, el 52% del alumnado ha identificado primero el ratón y el 47% ha podido visualizar con mayor facilidad el gato (Figura 11).

Figura 11: Resultados de la pregunta 7.



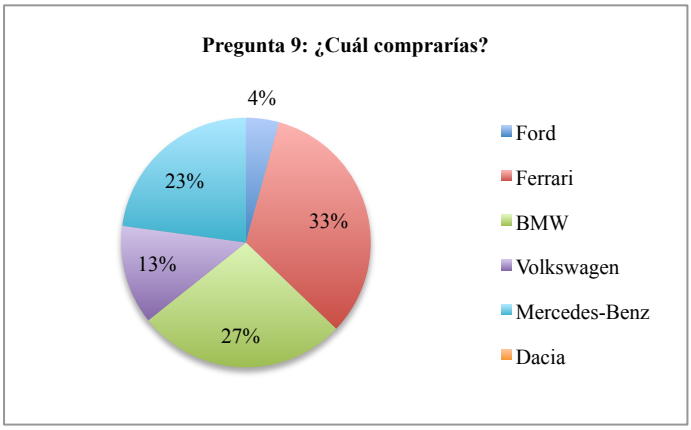
La pregunta 8, propone un ejercicio de selección entre tres diferentes sacacorchos, simulando una situación de compra. El 63% opta por la versión clásica, el 30% por el que propone Alessi y el 7% restante, escogería el básico (Figura 12).

Figura 12: Resultados de la pregunta 8.



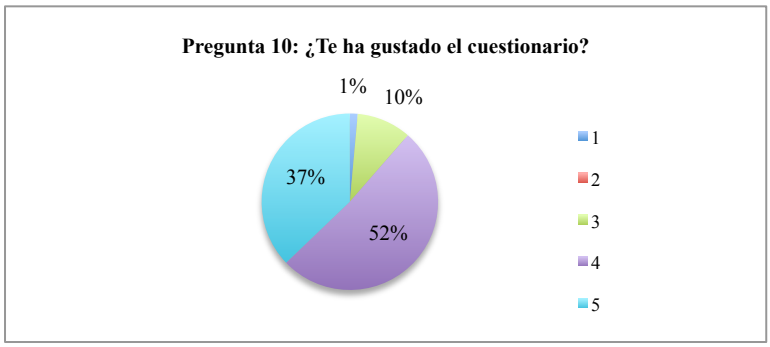
Siguiendo con las situaciones de compra, la pregunta 9 propone 6 logotipos de fabricantes de coches como opción de compra. El 33% de los encuestados compraría un Ferrari, el 27% un BMW y el 23% un Mercedes-Benz (Figura 13).

Figura 13: Resultados de la pregunta 9.



Por último, antes de finalizar la actividad, se obtienen los resultados a la pregunta que evalúa el cuestionario. El 52% lo valora con un 4, y el 37% con un 5. La nota media que se obtiene es de 4,2 sobre 5.

Figura 14: Resultados de la pregunta 10.



11. Conclusiones y líneas futuras

Con la intención de querer conocer la percepción de los jóvenes que están a punto de iniciar los estudios universitarios, esta comunicación presenta un pequeño análisis de la percepción que los alumnos de bachillerato tienen sobre la actividad del diseño y los conceptos que lo rodean. De este modo, queremos identificar las constantes que describen la situación actual de la percepción de esta disciplina para este perfil y contexto específico. Y así, comprobar que efectivamente existe escasa cultura del diseño y poco conocimiento sobre el Diseño Industrial (Picas, 2005).

Este primer estudio descriptivo no permite extraer resultados mediante análisis estadísticos comparativos respecto a otras realidades. Pero, permite conocer la percepción del alumnado sobre diferentes conceptos del diseño y establece una base para proponer un estudio longitudinal y apreciar cambios en el tiempo.

La valoración media sobre el conocimiento del diseño que los alumnos de bachillerato tienen es de 4.4 sobre 7, pero si nos basamos en las respuestas obtenidas en el cuestionario se podría decir que el grado de conocimiento es menor al estimado por ellos mismos.

Además, en la exposición que se ha hecho para acompañar el análisis y valoración de los resultados, se ha podido conocer y valorar esta cuestión con mayor profundidad. Una vez explicados los conceptos vinculados a las preguntas, todos las reflexiones han ido en la misma dirección y los comentarios señalaban que el grado de desconocimiento sobre la globalidad del diseño es mayor que la estimada en un principio.

Por último, se considera muy interesante y apropiada la actividad realizada para dar a conocer las diferentes actividades que engloban el diseño. Una propuesta participativa que es realizada de forma amena, intuitiva, interactiva y basado en un registro muy apropiado para destinatario de este caso. Y ello es demostrado con la valoración del cuestionario que ha sido de un 4,2 sobre 5.

Además, siendo la primera aproximación de investigación en este tema en concreto, este inicial estudio descriptivo exige dar continuidad al análisis de la percepción del alumnado a lo largo del tiempo.

Por ello, y con el objetivo de conocer la realidad de la percepción del diseño en nuestro entorno se pretende seguir trabajando en esta misma línea. Aprovechando espacios que están fuera del marco que describen los foros de diseño y trabajando para que el en día de mañana el Diseño Industrial sea percibido y valorado por la sociedad que lo rodea.

Referencias

Anguita, J. C., Labrador, J. R., & Campos, J. D. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). *Atención primaria*, *31*(8), 527-538.

Argimon Pallás, J. M., & Jiménez Villa, J. (2000). Métodos de investigación clínica y epidemiológica. *Madrid*.

Fine, B., & Leopold, E. (1993). The world of consumption. London: Routledge.

Gómez Barrera, Y. N. I. (2010). La Cultura del Diseño, estrategia para la generación de valor e innovación en la PyMe del Área Metropolitana del Centro Occidente, Colombia. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, (34), 109-209.

Picas, J. T. (2005). El diseño industrial como factor de innovación y competitividad. Temes de disseny, (22), 167-179.

Julier, G. (2006). From visual culture to design culture. Design Issues, 22(1), 64-76.

Julier, G. (2010). La cultura del diseño. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.

Lloret, J. L. (2014). Jean-Jacques Rousseau y la cultura del diseño. Agora: papeles de Filosofía, 33(2).

Margolin, V. (1991). Los estudios de diseño y la educación de los diseñadores. Temes de disseny, (6), 7.

Pericot, J. (2002). El diseño y sus futuras responsabilidades. Temes de disseny, (19), 85-98.

Agradecimientos

Los autores queremos agradecer la participación en la Semana de la Ciencia de 2014 y la colaboración en este estudio por parte del alumnado y profesorado de diferentes localidades del País Vasco. Asimismo, queremos agradecer el apoyo del Centro de Innovación de Diseño (DBZ) de Mondragon Unibertsitatea y a la Escuela Politécnica Superior de Mondragón.

03-028

ANALYSIS OF HUMAN-COMPUTER INTERACTION IN THE CONTEXT OF THE INDUSTRY 4.0 IN THE PROVINCE OF GIPUZKOA

Lasa Erle, Ganix ; Justel Lozano, Daniel ; Iriarte Azpiazu, Ion ; Sebastian Gómez, Ander Mondragon Unibertsitatea

In the current scenario of manufacturing, known as Industry 4.0, companies are integrating new development strategies to deepen the activity linked to innovation. The industry 4.0 describes a reality with a higher degree of complexity, where cyber-physical systems connected to the devices in the manufacturing system. This paper studies the current situation in the machine tool industry in Gipuzkoa, analyzed from the perspective of human-machine interaction and the user experience. The analysis is based on the results obtained through online surveys of manufacturers of Gipuzkoa.

Keywords: *interaction; industry 4.0; usability*

ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN HOMBRE-MÁQUINA EN EL CONTEXTO DE LA INDUSTRIA 4.0 EN LA PROVINCIA DE GIPUZKOA

En el actual panorama de la industria manufacturera, denominado como Industria 4.0, las empresas están integrando nuevas estrategias de desarrollo para profundizar en la actividad vinculada a la innovación. La industria 4.0 describe una realidad con un mayor grado de complejidad, donde los sistemas ciber-físicos conectan con los dispositivos que componen el sistema de fabricación. Esta comunicación estudia la situación actual en la industria de la Máquina Herramienta en el territorio de Gipuzkoa, analizada desde la perspectiva de la interacción Hombre-Máquina y la experiencia de uso. El análisis se basa en los resultados obtenidos mediante encuestas online realizadas a empresas fabricantes de Máquina Herramienta de Gipuzkoa.

Palabras clave: *interacción; industria 4.0; usabilidad*

Correspondencia: Ganix Lasa glasa@mondragon.edu

1. Introducción

La proyección de la industria centrada en la actividad de la Máquina-Herramienta (MH) es signo distintivo del País Vasco. Si se analiza la actividad industrial vasca, se observa que tanto la facturación (el 70%) como los puestos de trabajo (el 74%) de sector industrial en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) están concentrados en industrias manufactureras, tal y como certifica el Instituto Vasco de Estadística (EUSTAT) en su Anuario Estadístico del 2012. Esta amplia presencia de industrias manufactureras se divide mayormente en Bizkaia y Gipuzkoa. Dentro de este sector específico, Gipuzkoa presenta mayor tasa de empleados que el resto de provincias de la CAPV (EUSTAT, 2012), lo que refleja lo importante que resulta el sector dentro de la actividad económica del territorio.

La industria manufacturera ha centrado la mayoría de sus recursos a la optimización de los procesos industriales y durante muchos años la investigación puramente tecnológica ha sido considerada como única vía para la innovación. Sin embargo, en el actual contexto económico es necesario aplicar modelos complementarios que comprendan que la innovación no debe de provenir únicamente del avance puramente tecnológico y la optimización de los procesos. En su lugar, ésta debe completarse por factores de otra naturaleza que puedan aportar igualmente valor al producto y sus procesos.

Siendo conscientes de la necesidad de ampliar la actividad vinculada a la innovación, existen empresas que ya han integrado nuevas estrategias de desarrollo para posicionarse dentro del actual panorama de la MH, denominado como Industria 4.0 (Wahlster, 2012). Un panorama que evoluciona hacia un mayor grado de complejidad, y donde los sistemas ciber-físicos conectan los diferentes dispositivos que completan el sistema de fabricación.

Uno de los ejemplos más destacados de la actualidad industrial es la nueva línea CELOS de la empresa DMG MORI SEIKI (Figura 1). Un nuevo concepto donde se han cuidado detalladamente todos los aspectos de la interacción hombre-máquina, consiguiendo así mayor facilidad en la gestión, documentación y visualización continua de los datos de pedidos, procesos y máquinas.

Figura 1: CELOS de DMG MORI SEIKI.

En este contexto, y para garantizar el liderazgo internacional de la industria manufacturera de Gipuzkoa en términos de innovación y competitividad, los conocimientos que pueda aportar la disciplina del diseño son cruciales. Y uno de los ámbitos que mayor potencial muestra para innovar en los entornos interactivos de la maquinaria es la experiencia de uso. La experiencia de uso se podría considerar el eslabón que mayor vínculo genera entre el producto y el ser humano, y el lugar donde mayor presencia tienen la emociones humanas. Estudios psicológicos señalan la importancia que las emociones tienen en el conocimiento humano, la inteligencia, el

proceso de aprendizaje y la toma de decisiones (Darwin, 1965; Goleman y Sutherland,1996; Davidson et al., 2003). Además, está comprobado que las emociones positivas pueden aumentar la motivación e implicación de las personas (Isen, 2001), lo que mejoraría el rendimiento del operario y facilitaría el proceso de aprendizaje (Kort et al., 2000). Así, la experiencia de uso y el ámbito de la interacción se podrían considerar como las disciplinas apropiadas para generar afecto, eficiencia, interacciones satisfactorias y garantizar procesos de aprendizaje en sistemas tan complejos como los que se pueden encontrar en la MH.

Por todo ello, esta comunicación realiza un análisis de la situación de la experiencia de uso y la interacción hombre-máquina, así como su percepción por parte de las empresas de la provincia de Gipuzkoa, dentro del nuevo contexto de la Industria 4.0.

2. Objetivo

Para poder actuar dentro del nuevo marco que define la transición hacia la Industria 4.0 es necesario conocer el nivel de sensibilidad de la industria respecto a los aspectos que condicionarán su desarrollo. Por ello, esta comunicación tiene como objetivo analizar la situación actual de la industria de la Máquina Herramienta en el territorio de Gipuzkoa, analizada desde la perspectiva de la interacción Hombre-Máquina. El análisis se basa en los resultados obtenidos mediante encuestas online realizadas a empresas fabricantes de Máquina Herramienta de Gipuzkoa.

3. Participantes

Para llevar a cabo este análisis se ha contactado con 30 empresas que son parte representativa del tejido industrial manufacturero de Gipuzkoa y a su vez son miembros de la Asociación Española de Fabricantes de Máquinas-Herramienta (AFM). Después de haber contactado con los responsables de las empresas, se les ha facilitado el cuestionario de 13 preguntas a través del correo electrónico.

Finalmente, de las 30 empresas encuestadas el análisis se ha realizado a partir de las 11 respuestas obtenidas de empresas de gran escala, pymes y micro-pymes. En ellas han participado perfiles de diferentes rangos de responsabilidad como gerentes, directores de fabricación, directores de calidad, ingenieros de I+D o técnicos de planificación.

4. Método de investigación

El método de investigación aplicado en este estudio, es el que se utiliza con la técnica de encuestas (Anguita et al., 2003): (i) identificación del problema, (ii) determinación del diseño de investigación, (iii) especificación de la hipótesis, (iv) definición de variables, (v) selección de la muestra, (vi) diseño del cuestionario, (vii) organización del trabajo de campo, (viii) obtención y tratamiento de los datos y (ix) análisis e interpretación de datos.

Siendo la primera aproximación de estudio para el tema de la interacción hombre-máquina en el contexto de Gipuzkoa, como método de investigación se realiza un estudio descriptivo y longitudinal (Argimon-Pallás & Jiménez-Villa, 2000). El estudio descriptivo permite identificar regularidades en los aspectos del objeto de estudio y plantear hipótesis que puedan ser validadas en estudios posteriores, sin crear relaciones causa-efecto.

De este modo, la presente investigación pretende ser la primera aproximación que permita conocer la percepción de la industria de Gipuzkoa sobre la interacción

Hombre-Máquina. Estableciendo una base para poder realizar un análisis a lo largo del tiempo.

5. Cuestionario

Tal y como se ha citado con anterioridad, el objetivo de la encuesta es conocer situación de la experiencia de uso y la interacción hombre-máquina en la realidad industrial de Gipuzkoa. Para poder, atraer al personal de las empresas se ha desarrollado un cuestionario sencillo, escueto, breve y fácil de rellenar. El cuestionario compuesto por trece preguntas se facilita en el anexo (Anexo 1).

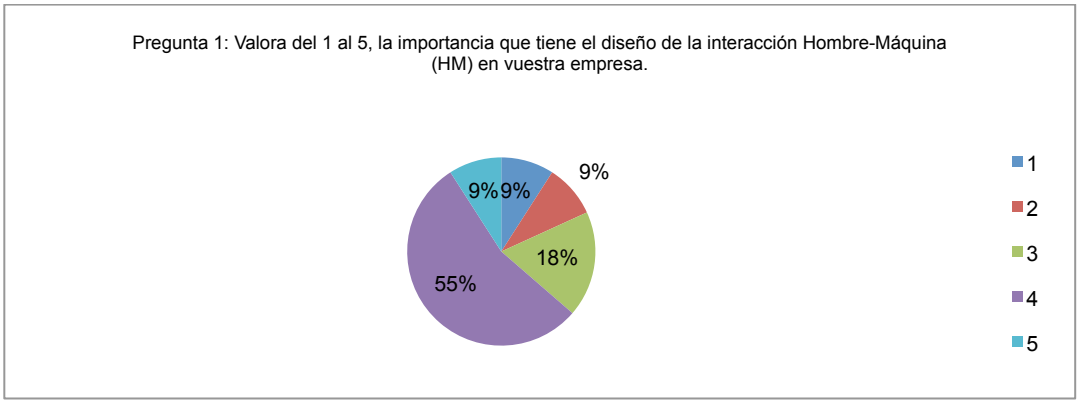
El cuestionario se divide en tres bloques principales: (i) percepción personal, (ii) percepción de la empresa y (iii) realidad de la empresa. El primer bloque, pretende identificar la percepción personal del profesional del sector respecto a la interacción (preguntas 2,3,5 y 6). El segundo bloque, se refiere a la percepción o posicionamiento de la empresa respecto a temas vinculados a la interacción (preguntas 1,11, 12 y 13). Y por último, el tercer bloque tiene como objetivo recopilar información sobre la situación actual o realidad de la interacción en la empresa (preguntas 4, 8,9 y 10).

6. Resultados

Tal y como se ha citado anteriormente, de las 30 empresas que se han encuestado, finalmente se han recogido 11 respuestas. Los resultados que se han obtenido para las 13 preguntas formuladas son expuestos y analizados a continuación.

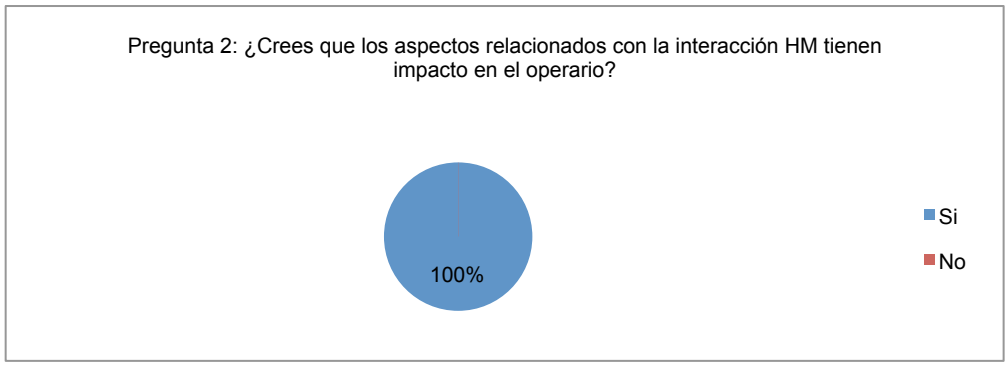
Un 9% valora con un 5 sobre 5 y un 55% con un 4 sobre 5 la importancia del diseño de interacción en sus empresas, tal y como muestra la Figura 2. Así, más de la mitad (64%) de las empresas considera que el diseño de la interacción entre el operario y la máquina tiene gran importancia en su empresa.

Figura 2: Resultados para la pregunta 1.



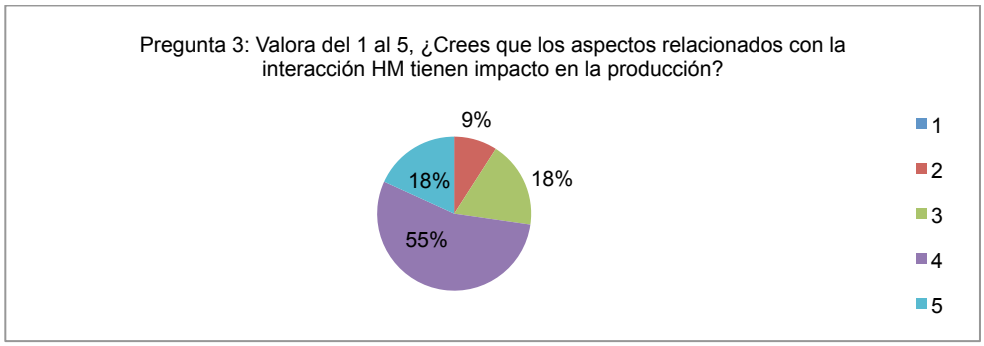
La mayoría de los encuestados creen que es importante para sus empresas, y el 100% cree que los aspectos vinculados a la interacción HM tienen impacto en el operario (Figura 3).

Figura 3: Resultados para la pregunta 2.



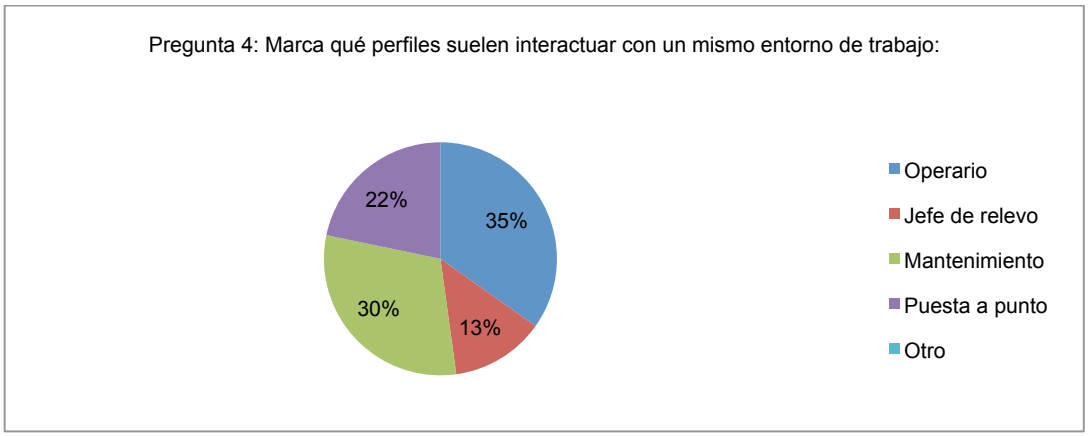
El 18% valora con un 5 sobre 5 y el 55% con un 4 sobre 5 el impacto sobre la producción de la interacción HM (Figura 3). De este modo, el 73% de las empresas que los aspectos relacionados con la interacción HM tiene gran impacto en la producción.

Figura 4: Resultados para la pregunta 3.



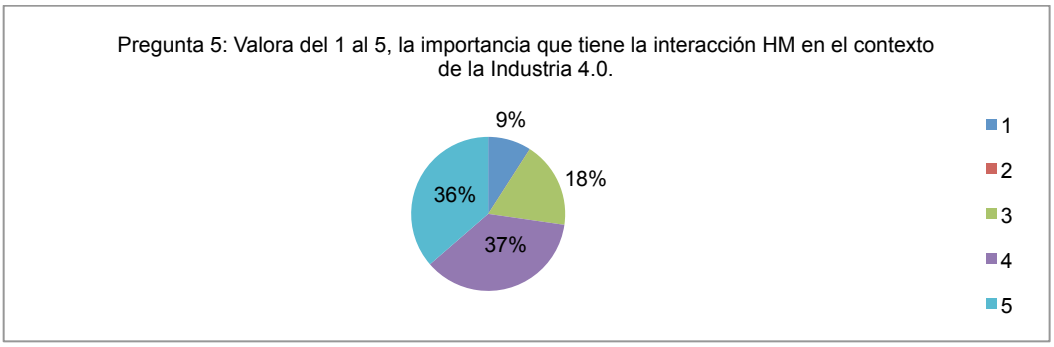
La pregunta 4 se refiere a la presencia de los diferentes perfiles sobre un mismo entorno de trabajo. El perfil con mayor presencia es el operario con un 35%, seguido del personal de mantenimiento con un 30% y la puesta punto con un 22% (Figura 5).

Figura 5: Resultados para la pregunta 4.



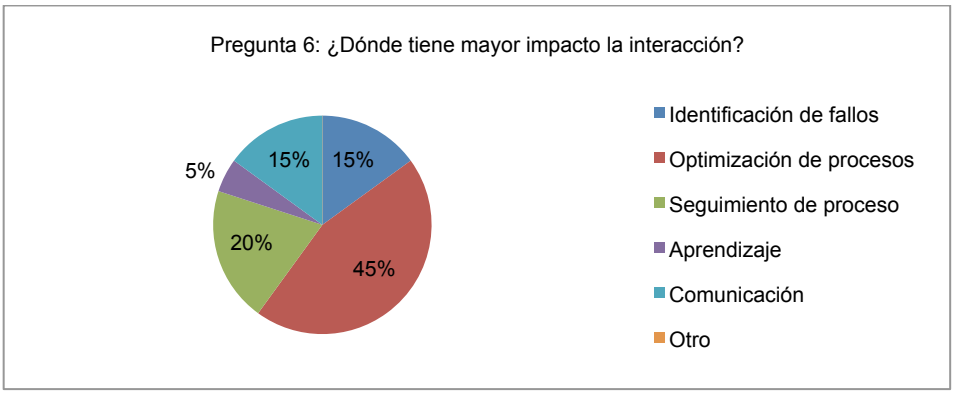
El 36% de las empresas considera muy importante la importancia que tiene la interacción HM en el nuevo contexto de la Industria 4.0, y el 37% como importante. Sólo el 9% cree que tiene poca importancia la interacción (Figura 6).

Figura 6: Resultados para la pregunta 5.



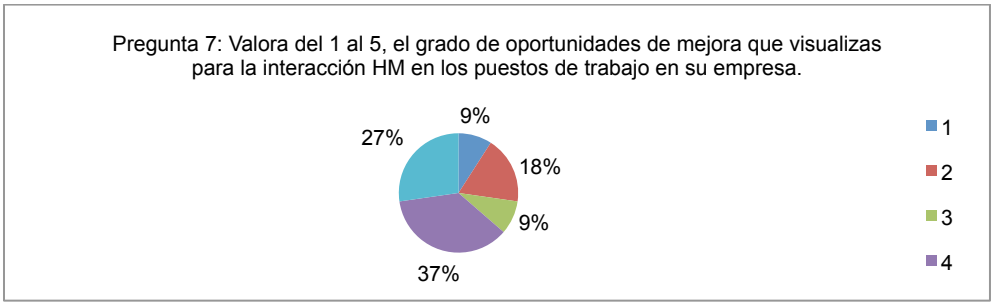
Dentro de la actividad de cada empresa, se identifican los aspectos en los que mayor impacto tiene la interacción. El 45% considera que la interacción tiene mayor impacto en la optimización de procesos. El 20% en el seguimiento del proceso, el 15% en la comunicación y otro 15 en la identificación de fallos (Figura 7).

Figura 7: Resultados para la pregunta 6.



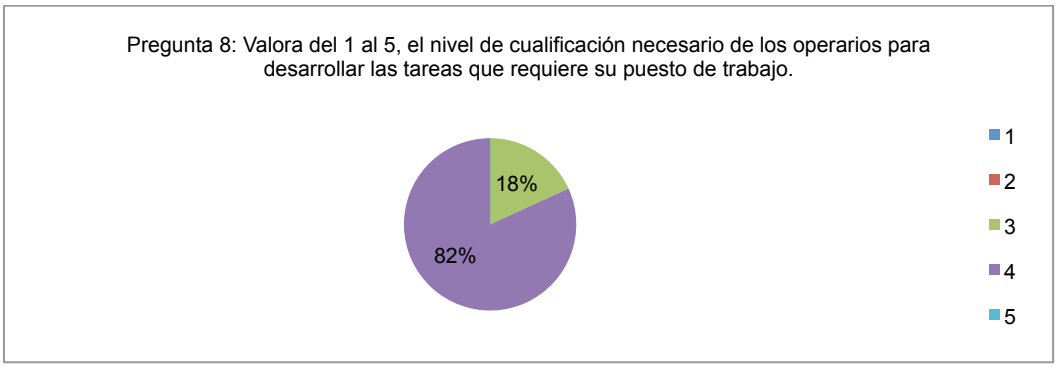
En cuanto al grado de oportunidades de mejora que identifican en sus empresas, respecto a al interacción HM, el 64% considera que existe un gran margen de mejora, valorando con 4 (37%) y 5 (27%) sobre 5. Un 9% considera que el grado de oportunidades es escaso (Figura 8).

Figura 8: Resultados para la pregunta 7.



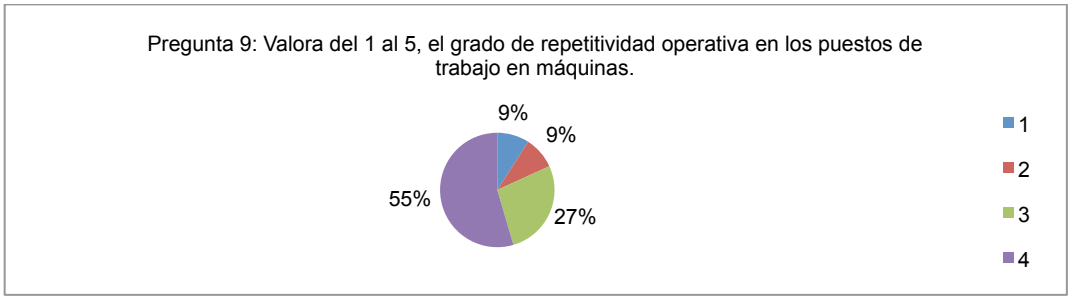
El 82% de los encuestados considera que el nivel de cualificación necesario para desarrollar las tareas que requiere su puesto de trabajo en alto, valorando con 4 sobre 5. El 18% restante lo valora 3 sobre 5 (Figura 9).

Figura 9: Resultados para la pregunta 8.



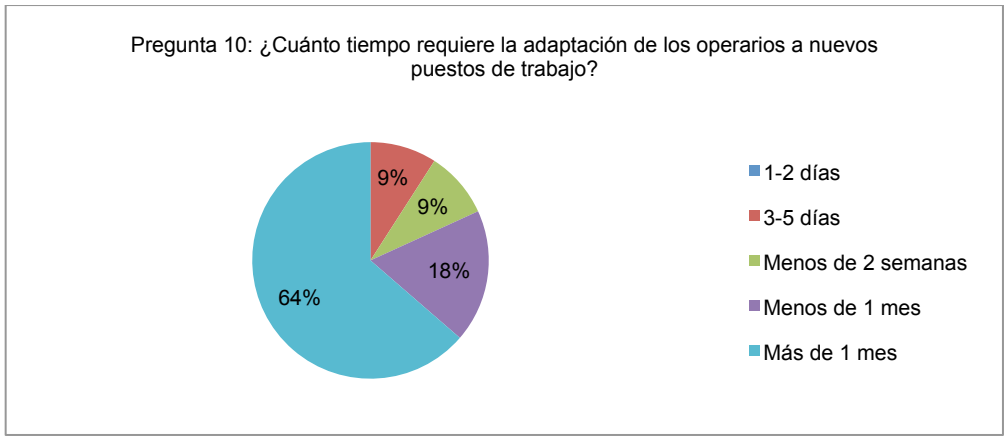
El grado de repetitividad operativa de los puestos de trabajo en máquinas es alto para un 55%, con un 4 sobre 5. Un 27% lo considera regular con un 3 sobre 5. Y el restante 18% considera que el grado de repetividad es bajo (9%) o muy bajo (9%) (Figura 9).

Figura 10: Resultados para la pregunta 9.



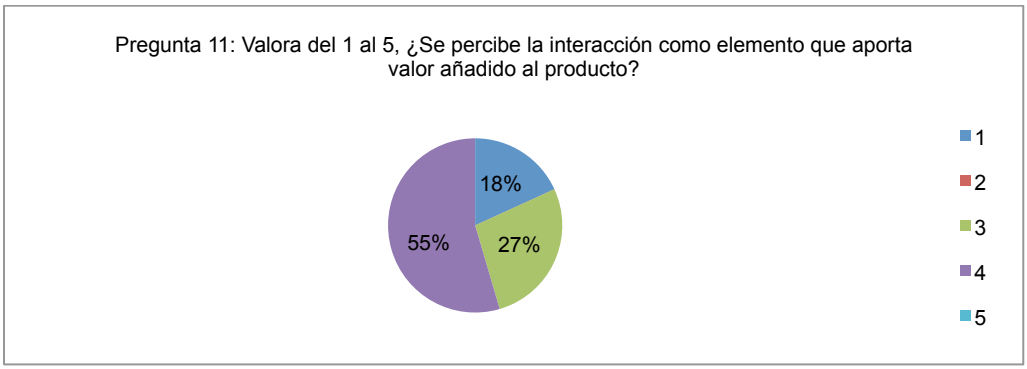
El 64% considera que es necesario más de un mes para que los operarios se adapten a nuevos puestos de trabajo. Mientras que sólo el 9% necesita entre 3 y 5 días, y otro 9 % menos de dos semanas (Figura 11).

Figura 11: Resultados para la pregunta 10.



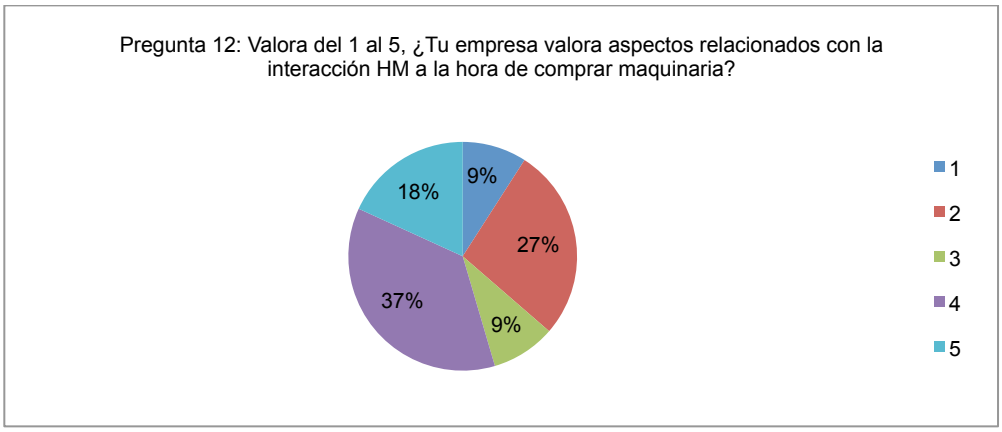
El 55% de los encuestados percibe que la interacción es un elemento que aporta valor al producto o máquina. El 27% valora con un 3 sobre 5 la interacción como elemento que aporta valor. Y el restante 18%, en cambio, cree que no aporta valor (Figura 12).

Figura 12: Resultados para la pregunta 11.



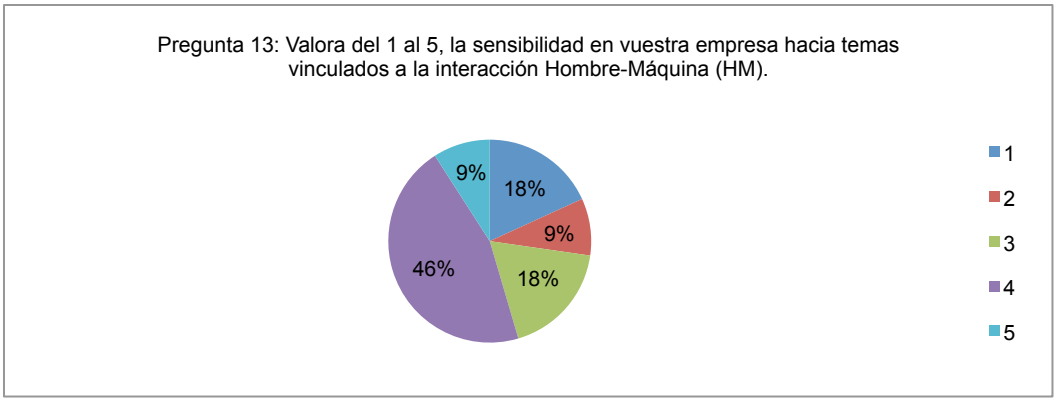
A la pregunta, si sus empresas valoran aspectos relacionados con la interacción HM a la hora de comprar maquinaria, el 18% valora con un 5 sobre 5, el 37% con un 4 sobre 5, el 9% con un 3, el 27% con un 2 sobre 5, y el restante 9% con un 1 (Figura 13).

Figura 13: Resultados para la pregunta 12.



Un 9% valora que existe una sensibilidad muy grande hacia temas vinculados a la interacción HM (5 sobre 5) y el 46% de los encuestados considera que existe una gran sensibilidad en su empresa valorando con un 4 sobre 5. Un 18% considera una sensibilidad moderada con un 3 sobre 5, un 9% ve poca sensibilidad, y el restante 18% ve muy poca sensibilidad hacia la interacción HM por parte de su empresa (Figura 14).

Figura 14: Resultados para la pregunta 13.



7. Conclusiones y líneas futuras

El diagnóstico de la realidad de la empresas de la provincia de Gipuzkoa ha ayudado a visualizar el posicionamiento de las empresas respecto a la interacción en el nuevo contexto de la industria manufacturera. Como primera valoración, se podría decir que las pocas respuestas obtenidas pueden ser síntoma de lo lejana que puede quedar la temática y la realidad de la Industria 4.0 para ciertas empresas del sector. Aún así, el muestrario de 11 empresas representa diferentes tipologías de empresas y hace que resulte interesante la lectura y análisis de las respuestas obtenidas.

Los resultados de este estudio descriptivo muestran que para la empresas de Gipuzkoa el aspecto de la interacción entre el usuario y la máquina tiene gran importancia, el 64% así lo ha expresado. Además, el 55% valora que es un aspecto que aporta valor al producto o servicio. En las empresas existe una gran sensibilidad y a la hora de comprar maquinaria es un aspecto que la gran mayoría tiene en cuenta. Todos los encuestados coinciden en que la interacción condiciona e impacta la actividad del operario, y el %73 considera que la aspectos relacionados a la interacción tienen gran impacto en la producción.

De los resultados se extrae que la presencia de los perfiles en el entorno específico de trabajo está equilibradamente dividido entre el operario (35%), personal de mantenimiento (30%) y la puesta a punto (22%). Esta división refleja la necesidad de crear entornos interactivos de gran flexibilidad y personalización. La creación de entornos específicos para los diferentes perfiles ayudará a mejorar el rendimiento de cada uno de ellos, facilitando la ejecución de las operaciones de modo más satisfactorio. Además, la alta repetitividad de los procesos (55%), el alto grado de cualificación (82%) y el largo periodo de adaptación que necesitan los operarios (más de un mes para el 64%), hace aún más evidente la profundización en esta línea de trabajo.

Las empresas entienden que la interacción tiene mayor impacto en la optimización de procesos (45%) y en el seguimiento de procesos (20%). Aún así, desde el diseño de la interacción se podrían trabajan aspectos que las empresas no identifican como relevantes como la comunicación (15%), identificación de fallos (15%) y procesos de aprendizaje (5%). Por ello, es necesario mostrar el verdadero potencial de la interacción y lograr una mayor sensibilidad por parte de las empresas.

Dentro del nuevo contexto denominado como Industria 4.0, el 73% cree que la interacción Hombre-Máquina tiene gran importancia. Junto a esta valoración, se extrae que el 54% considera que a día de hoy existen gran cantidad de oportunidades respecto al vínculo interactivo en sus empresas. Por todo ello, valoramos que es necesario impulsar sinergias que acerquen posiciones del diseño hacia la industria de la máquina herramienta, y así garantizar el liderazgo internacional en términos de innovación y competitividad de la actividad industrial local en el contexto de la Industria 4.0.

Siendo un estudio descriptivo y longitudinal, la investigación exige dar continuidad al análisis y detectar posibles cambios que se pueden dar a lo largo del tiempo. De este modo, los autores consideramos interesante por un lado, conseguir un mayor grado de colaboración por parte de las empresas y obtener estudios con mayor número de respuestas para futuras investigaciones. Por otro lado, vemos interesante analizar la realidad de la interacción HM y la evolución de la Industria 4.0 en otras provincias de la península, y así poder obtener un diagnóstico global de la situación del tejido empresarial de la Máquina-Herramienta a nivel estatal.

Referencias

Anguita, J. C., Labrador, J. R., & Campos, J. D. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). Atención primaria, 31(8), 527-538.

Argimon Pallás, J. M., & Jiménez Villa, J. (2000). Métodos de investigación clínica y epidemiológica. Madrid. Visto en: Anguita, J. C., Labrador, J. R., & Campos, J. D. (2003). La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I). Atención primaria, 31(8), 527-538.

Darwin, C. (1965). The expression of the emotions in man and animals (Vol. 526). University of Chicago press.

Davidson, R. J., Scherer, K. R., & Goldsmith, H. (2003). Handbook of affective sciences. Oxford University Press.

EUSTAT. (2012). Anuario Estadístico 2012 [PDF]. Recuperado de http://www.eustat.es/eustat_404.asp?404;http://eustat/document/datos/Anuario/Anuario_Estadistico_Vasco_2012/es/index.asp#axzz2QG9DUn7K. Consultado el 5 de Junio de 2014.

Goleman, D., & Sutherland, S. (1996). Emotional intelligence: Why it can matter more than IQ. London: Bloomsbury.

Isen, A. M. (2001). An influence of positive affect on decision making in complex situations: Theoretical issues with practical implications. Journal of Consumer Psychology, 11(2), 75-85.

Kort, B., Reilly, R., & Picard, R. W. (2001). External representation of learning process and domain knowledge: Affective state as a determinate of its structure and function. AI-ED, San Antonio, Texas.

Wahlster, W. (2012). From Industry 1.0 to Industry 4.0: Towards the 4th Industrial Revolution. In Forum Business meets Research.

Agradecimientos

Los autores queremos agradecer la colaboración de la Asociación Española de Fabricantes de Máquinas-Herramienta (AFM) y las diferentes empresas que han participado en este trabajo de investigación.

Del mismo modo agradecemos la soporte recibido por el Diseinu Berrikuntza Zentroa (DBZ) de Mondragon Unibetsitatea y la Escuela Politécnica Superior de Mondragon Unibertsitatea.

Anexo 1

El cuestionario de trece preguntas diseñado para este estudio es el siguiente:

1. Valora del 1 al 5 la importancia que tiene el diseño de la interacción Hombre-Máquina (HM) en vuestra empresa.
2. ¿Crees que los aspectos relacionados con la interacción HM tienen impacto en el operario?
    a. Sí
    b. No
3. Valora del 1 al 5. ¿Crees que los aspectos relacionados con la interacción HM tienen impacto en la producción?
4. Marca qué perfiles suelen interactuar con un mismo entorno de trabajo:
    a. Operario
    b. Jefe de relevo
    c. Mantenimiento
    d. Puesta a punto
    e. Otro
5. Valora del 1 al 5 la importancia que tiene la interacción HM en el contexto de la Industria 4.0.
6. ¿Dónde tiene mayor impacto la interacción?
    a. Identificación de fallos
    b. Optimización de procesos
    c. Seguimiento de proceso
    d. Aprendizaje
    e. Comunicación
    f. Otro
7. Valora del 1 al 5 el grado de oportunidades de mejora que visualizas para la interacción HM en los puestos de trabajo en su empresa.
8. Valora del 1 al 5 el nivel de cualificación necesario de los operarios para desarrollar las tareas que requiere su puesto de trabajo.
9. Valora del 1 al 5, el grado de repetitividad operativa en los puestos de trabajo en máquinas.
10. ¿Cuánto tiempo requiere la adaptación de los operarios a nuevos puestos de trabajo?
    a. 1-2 días
    b. 3-5 días
    c. Menos de 2 semanas
    d. Menos de 1 mes
    e. Más de 1 mes
11. Valora del 1 al 5. ¿Se percibe la interacción como elemento que aporta valor añadido al producto?
12. Valora del 1 al 5. ¿Su empresa valora aspectos relacionados con la interacción HM a la hora de comprar maquinaria?
13. Valora del 1 al 5 la sensibilidad en vuestra empresa hacia temas vinculados a la interacción Hombre-Máquina (HM).

03-029

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF STORYBOARD ALTERNATIVES TO EVALUATE USER EXPERIENCES

Lasa Erle, Ganix ; Justel Lozano, Daniel ; Retegi Uria, Aiur Mondragon Unibertsitatea

The multimethod tool Eyeface, consists of two tools (Eye-tracking and FaceReader) and evaluates the experience designed at the stage of conceptualization of ideas. The complex interpretation of experience given by the user requires an analysis of the storyboard behavior. The storyboard is a tool that is used on the Eyeface, communicates user experiences in the conceptual phase of the design process, and provides insight into the perception and evaluation by potential users. This paper evaluates the experience associated with a product that facilitates the evacuation emergency situations in a nursery school. And the behavior of the user looking the different storyboard alternatives. Thus, it seeks to identify the most suitable alternative for evaluating conceptual ideas of experiences.

Keywords: *storyboard; eyeface; conceptual phase*

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE DIFERENTES ALTERNATIVAS DEL STORYBOARD PARA EVALUAR LA EXPERIENCIA DE USUARIO

La herramienta multimétodo Eyeface, está compuesta por dos herramientas (Eye-tracking y Facereader) y permite evaluar la experiencia diseñada en la fase de conceptualización de ideas. La compleja interpretación de la experiencia propuesta por parte del usuario exige un análisis del comportamiento de las diferentes alternativas que posibilita el storyboard. El storyboard es una herramienta que se utiliza como soporte para el Eyeface, comunicando las experiencias de usuario en la fase conceptual de los procesos de diseño, y permite conocer la percepción y su valoración por parte de usuarios potenciales. Esta comunicación evalúa la experiencia asociada a un producto que facilita la evacuación en las guarderías en situaciones de emergencia. Y se analiza el comportamiento de la trayectoria de la mirada en las diferentes alternativas de los storyboard y los focos de mayor atención. De este modo, se pretende identificar la alternativa más adecuada para evaluar ideas conceptuales de experiencias.

Palabras clave: *storyboard; eyeface; fase conceptual*

Correspondencia: Ganix Lasa glasa@mondragon.edu

1. Introducción

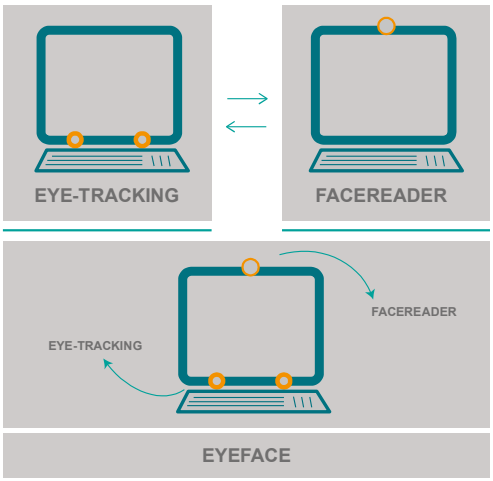
La experiencia de usuario se ha convertido en el principal argumento de venta de los nuevos productos y servicios para muchas empresas, pero la compleja realidad de la percepción de los usuarios dificulta garantizar resultados exitosos.

Con el objetivo de disminuir la carencia que existe a la hora de evaluar los diseños basados en la experiencia en la fase conceptual, existen nuevas herramientas multimétodo como el Eyeface (Lasa, 2013) que facilitan la comprensión de la percepción de los usuarios en la fase conceptual.

El Eyeface es una herramienta creada para evaluar los productos y servicios basados en la experiencia de usuario. Esta herramienta multimétodo está compuesta por dos dispositivos diferentes: el Eye-tracking y el Facereader (Figura 1). El Eye-tracking, permite identificar la trayectoria de la mirada del usuario mientras visualiza una experiencia en modo de presentación. El Facereader, por su lado, analiza las reacciones emocionales mediante estímulos faciales en periodo de tiempo determinado, clasificando las emociones de la siguiente manera: alegre, triste, enfadado, sorprendido, asustado, disgustado y neutro.

Con la combinación de estos dos dispositivos se consigue identificar las zonas que mayor atracción visual han tenido durante la exposición y la reacción emocional que ha generado la experiencia visualizada.

Figura 1: Herramienta multimétodo Eyeface



La herramienta Eyeface permite trabajar y exponer la experiencia diseñada mediante dos soportes de presentación: el video y el storyboard. Los dos soportes de presentación se comportan adecuadamente a la hora de ser evaluados por usuarios, pero la complejidad de la experiencias y los recursos disponibles en el equipo de diseño para representar la experiencia hacen que el storyboard sea el soporte más fácil y flexible para utilizar (Lasa, Justel & Retegi, 2014a).

Partiendo de este contexto, esta comunicación profundiza en el comportamiento que describen dos variables del storyboard para un mismo concepto de experiencia. Para ello, se realiza la evaluación de una experiencia a nivel conceptual a través de diferentes usuarios, analizando el comportamiento de dos variables, la primera planteando el storyboard con texto explicativo, y la segunda sin texto que explique la experiencia que se propone.

El storyboard es una herramienta que tradicionalmente se ha utilizado en campos como el cine o la publicidad para representar el guión o una secuencia concreta de la

película o anuncio antes de ser ejecutada (Hart, 1999). En el campo del diseño de experiencias, en cambio, su presencia es más novedosa y el storyboard se utiliza para describir y mostrar la experiencia que se va a proponer. Por un lado, se utiliza para describir la experiencia de uso de un dispositivo o entorno digital (Brajnik & Giachin, 2014). Y por otro lado, se utiliza para representar la experiencia de usuario asociada a un producto o servicio que se ha diseñado (Michailidou, von Saucken, & Lindemann, 2013; Buxton, 2010). El uso de esta herramienta se está generalizando, pero existe gran desconocimiento sobre el potencial, aplicación y comportamiento en el ámbito del diseño de experiencias (Truong, Hayes & Abowd, 2006).

Según Truong, Hayes y Abowd (2006) la presencia de texto es uno de los atributos más críticos para la aplicación del storyboard en la representación de experiencias. Por ello, en el Eyeface se considera analizar dos versiones de storyboard para un mismo concepto de experiencia teniendo en cuento este elemento.

2. Objetivo

Partiendo de la necesidad de analizar el comportamiento que los diferentes soportes describen durante la evaluación de experiencias en la fase conceptual (Lasa, Justel & Retegi, 2014a), esta comunicación tiene como objetivo analizar el comportamiento de diferentes alternativas del storyboard. Para ello, se analiza el comportamiento de la trayectoria de la mirada en dos versiones de storyboard, donde la presencia de texto es el elemento crítico. Así, se identificará que alternativa es la más adecuada para utilizar en la herramienta multimétodo Eyeface y evaluar experiencias en la fase conceptual de diseño.

3. Hipótesis

Analizando dos alternativas de storyboard para un mismo concepto de experiencia (con texto explicativo y sin texto explicativo), esta comunicación pretende validar que el formato de storyboard que muestra el texto explicativo centraliza la atención del usuario en zonas de interés poco relevantes. Lo que desvirtuaría los datos de las trayectorias de la mirada y dificultaría la interpretación de los resultados.

4. Participantes

El diseño conceptual a evaluar en este experimento tiene como objetivo mejorar la experiencia de evacuación de personas en situaciones de emergencia que puedan ocurrir en guarderías o escuelas infantiles. Por este motivo, entre otros perfiles, el muestrario de personas se ha completado con padres y profesores/as de una escuela infantil. En el experimento han participado 20 personas, de las cuales a 10 personas se les ha mostrado el storyboard con el texto explicativo, y a otras 10 personas se les ha narrado la descripción de la imagen mientras que la visualizaban.

5. Concepto a evaluar

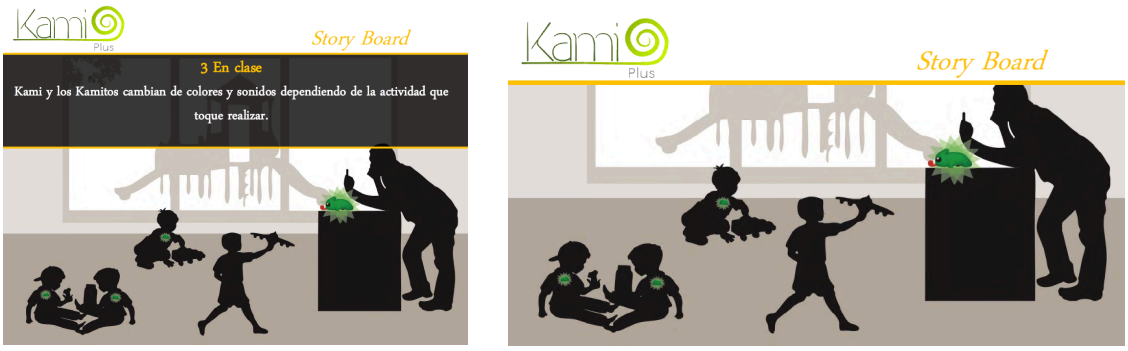
El concepto que se ha desarrollado pretende mejorar la experiencia vinculada a la evacuación de personas en guarderías y está compuesto por tres elementos independientes pero interconectados (Figura 2): el producto, el pin y la aplicación móvil.

El producto, es un muñeco que será un integrante más de las aulas y tendrá que ser saludado a la entrada y salida por los alumnos. El pin, permite detectar y registrar la presencia de un niño cuando se aproxima a saludar al producto. Y así, en caso de emergencia la aplicación de móvil mostrará al profesor el listado con los niños que están en ese momento en el edificio.

Figura 2: Elementos que componen el concepto evaluado.

Para poder evaluar el concepto con la herramienta Eyeface, la experiencia que se ha diseñado se ha representado mediante la técnica del storyboard. Tal y como se puede ver en la Figura 3, y se ha mencionado con anterioridad, se han utilizado dos versiones de storyboard: la primera con texto explicativo y la segunda sin texto.

Figura 3: Escena del storyboard con texto (izquierda) y sin texto (derecha).



6. Procedimiento

El procedimiento que se ha seguido para la elaboración de este análisis se basa en el modelo de trabajo que proponen Lasa, Justel y Retegi (2014b) para evaluar las experiencias de usuario con la herramienta multimétodo Eyeface. Este procedimiento se desglosa en las siguientes 5 fases:

1. Identificación y selección de usuarios.
2. Ejecución del experimento – Introducción.
3. Calibración de los dispositivos.
4. Evaluación del concepto mediante la herramienta Eyeface.
5. Análisis de resultados

En primer lugar, se seleccionan usuarios acorde a la tipología y temática del concepto que se expone. Una vez seleccionados los usuarios para realizar el test de evaluación, se inicia el experimento. A través de un facilitador, se introduce y se explica la actividad o evaluación que se va a realizar.

A continuación, se calibran los dispositivos que componen el Eyeface (operación a realizar para cada usuario), y se efectúa la evaluación del concepto mediante el storyboard: 10 usuarios con la versión con texto y 10 usuarios sin texto. En el caso del storyboard que no tiene texto explicativo, el facilitador narra la descripción que exige cada imagen del storyboard.

Por último, se analizan los datos que se han obtenido mediante el Eyeface, centrando el análisis en el dispositivo Eyetracking. El elemento que se estudia es la presencia del

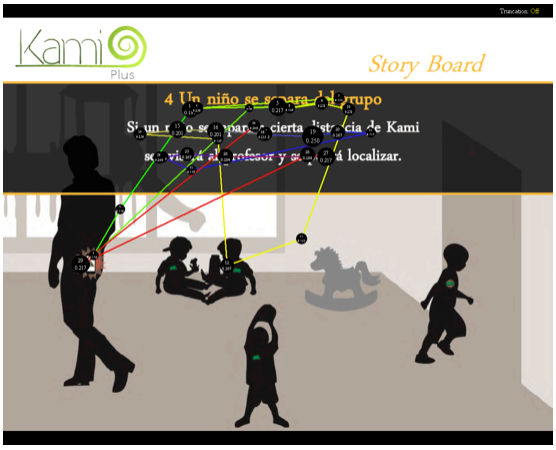
texto, por lo que el análisis de los datos se centra en la localización de zonas de interés y búsqueda de patrones de comportamiento generalizados.

7. Resultados del experimento

Los resultados obtenidos mediante el Eyeface nos permitirán identificar los focos de atención más significativos durante la exposición de los elementos que componen la experiencia, y el impacto emocional que la misma genera en el usuario evaluador. Para este experimento específico, el análisis de los resultados se ha focalizado en la trayectoria de la mirada y los focos de atención de las dos versiones del storyboard.

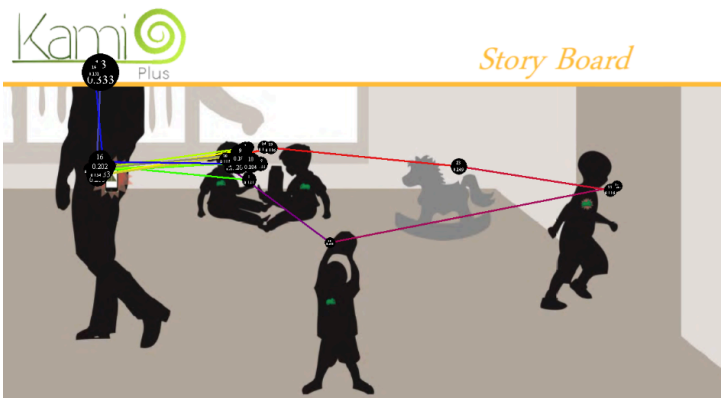
Así, los resultados obtenidos para las dos variables muestran patrones de trayectorias diferentes. Tal y como muestra la Figura 4, en el storyboard con texto, todos los usuarios en primer lugar focalizan su atención en el texto, lo leen y posteriormente se centran en los elementos que componen la escena.

Figura 4: Trayectoria de la mirada para escena con texto



La Figura 5, en cambio, muestra la versión que no lleva texto y se puede apreciar una trayectoria diferente para la misma escena del storyboard. En este caso, mientras el facilitador narra el texto descriptivo, el usuario centra gran parte de la atención en los elementos que están vinculados a los productos que componen la experiencia. A diferencia de la Figura 4, se puede apreciar que el usuario muestra mayor libertad de movimiento. La trayectoria de la mirada es más dispersa y el usuario visualiza más elementos y durante mayor periodo de tiempo (0,2s de fijación en el producto para el storyboard con texto y 0,7s de fijación en el stotyboard sin texto).

Figura 5: Trayectoria de la mirada para escena sin texto



Las dos versiones del storyboard muestran gran diferencia en el equilibrio entre elementos que componen la escena. En el caso del storyboard acompañado de texto (Figura 4), el espacio destinado al mismo obtiene gran peso y suma la mayor parte de la atención durante la exposición. En la mayoría de los casos, el tiempo destinado a la lectura del texto supone más del 70% del tiempo de la exposición de la escena. Muestra de ello es la Figura 6, donde se puede apreciar el grado de atención que ha suscitado cada elemento de la escena, y cómo absorbe gran parte de la atención el texto con un 71,14%.

Figura 6: Zonas de interés en 3D para escena con texto

En el storyboard que no lleva texto, se puede apreciar otro patrón de análisis por parte del usuario. La mayor parte de la atención se centra en los elementos principales de la escena y existe un gran equilibrio entre todos los elementos. Además, las zonas que mayor interés suscitan durante la narración y descripción de la experiencia, son aquellas en las que aparecen los elementos asociados a la experiencia. La Figura 7 muestra una escena del storyboard sin texto donde se aprecia el equilibrio en la visualización de toda la escena y cómo destacan las zonas vinculadas al producto y la experiencia. Cabe destacar que las dos zonas que sobresalen con un 56,64% y un 27,71%, equivale a la más tiempo que la suma de la totalidad del tiempo que el usuario destina al texto en la otra versión del storyboard: 71,14% (Figura 6).

En la misma línea de comportamiento, y utilizando como ejemplo otra escena del storyboard sin texto, la Figura 8 muestra cómo los elementos más importantes de la experiencia suman más del 70% de la atención destinada a la interpretación de esa escena.

Figura 7: Zonas de interés en 3D para otra escena sin texto

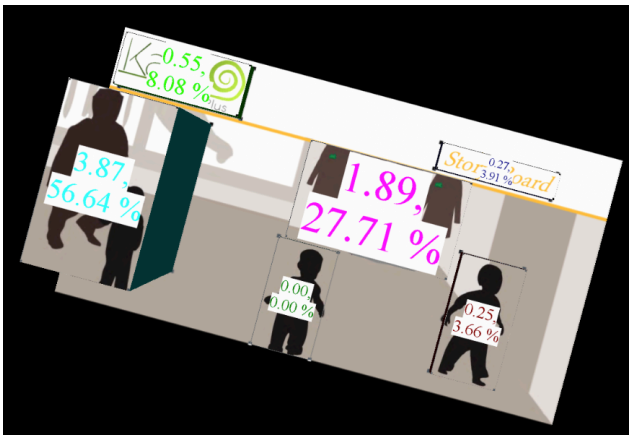
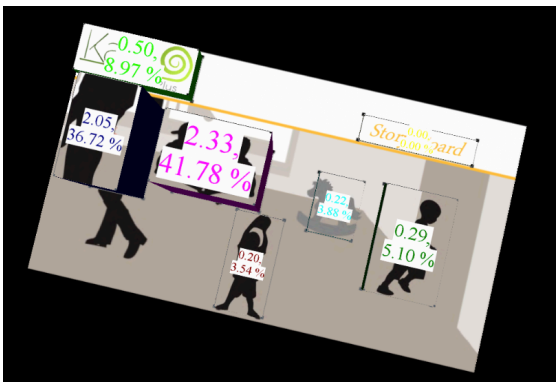


Figura 8: Zonas de interés en 3D para escena sin texto



8. Conclusiones y líneas futuras

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la herramienta multimétodo Eyeface está enfocada a evaluar el diseño de experiencias en la fase de conceptualización de ideas. Analizando el storyboard como soporte para la comunicación y exposición del diseño se pretende identificar un soporte ágil y efectivo para poder ayudar en la toma de decisiones en una de las etapas más críticas del proceso de diseño: la fase conceptual.

El texto es uno de los elementos clave en la creación de un storyboard, y esta comunicación corrobora la importancia que puede llegar a tener en el patrón de comportamiento del usuario que lo visualiza. Truong, Hayes y Abowd (2006) señalan que el texto es necesario para garantizar una adecuada interpretación del concepto que se expone, pero este análisis demuestra que el texto provoca una gran descompensación entre los elementos durante la visualización del storyboard.

Así, la hipótesis inicialmente planteada es validada, ya que se comprueba que el storyboard con texto provoca desviar la atención del usuario en zonas poco relevantes para la experiencia, y destina la mayor tiempo de la exposición a focalizarse en el texto explicativo. De este modo, los datos que se obtienen son desvirtuados y dificultan identificar los verdaderos puntos de interés, así como el grado de atención de los productos que componen la propuesta.

Como conclusión se puede extraer que el storyboard, tal y como dicen Truong, Hayes y Abowd (2006), exige una narración o un texto explicativo para garantizar la comprensión de la propuesta. Pero en este caso específico, donde se evaluará mediante el Eyeface, se deberá de trabajar con narraciones orales y storyboards libres de texto. Tal y como se ha propuesto en la segunda versión de storyboard.

Partiendo de estos resultados, futuras investigaciones tendrán que profundizar en el comportamiento de diferentes versiones del storyboard, analizando los resultados desde la perspectiva emocional y así concluir qué formato puede ser el más indicado para el Eyeface.

Referencias

Lasa, G. (2013). Herramienta multimétodo Eyeface para la evaluación de experiencias en la fase de diseño conceptual. Memoria del trabajo de investigación realizado en el programa de Doctorado. Mondragon Unibertsitatea.

Lasa, G., Justel, D. & Retegi, A. (2014a). Análisis del comportamiento de soportes de presentación de ideas conceptuales para la evaluación de experiencias mediante la herramienta multimétodo Eyeface. 18th International Conference on Project Engineering - AEIPRO. Alcañiz, España.

Lasa, G., Justel, D. & Retegi, A. (2014b). Definición del procedimiento de trabajo para la evaluación de experiencias de usuario a nivel conceptual con la herramienta Eyeface. 18th International Conference on Project Engineering - AEIPRO. Alcañiz, España.

Brajnik, G., & Giachin, C. (2014). Using sketches and storyboards to assess impact of age difference in user experience. International Journal of Human-Computer Studies, 72(6), pp.552-566.

Buxton, B. (2010). Sketching User Experiences: Getting the Design Right and the Right Design: Getting the Design Right and the Right Design. Morgan Kaufmann.

Hart, J. (1999). The art of the storyboard: storyboarding for film, TV, and animation. McGraw Hill Professional.

Truong, K. N., Hayes, G. R., & Abowd, G. D. (2006). Storyboarding: an empirical determination of best practices and effective guidelines. In Proceedings of the 6th conference on Designing Interactive systems. ACM. pp. 12-21.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al profesorado y alumnado del Máster de Diseño Estratégico de Productos y Servicios de Mondragon Unibertsitatea y a la empresa colaboradora. Agradecimiento especial merecen los profesores y profesoras de Arizmendi que han participado activamente en la evaluación y desarrollo de este proyecto. Por último, queremos agradecer el apoyo del Centro de Innovación de Diseño (DBZ) de Mondragon Unibertsitatea y a la Escuela Politécnica Superior de Mondragón.

03-030

KANSEI-CHISEI ENGINEERING PROJECT IN LEAN MANUFACTURING

Córdoba Roldán, Antonio [1]; Marcos Barcena, Mariano [2]; Aguayo Gonzalez, Francisco [1]; Lama Ruiz, Juan Ramón [1]; Ávila Gutierrez, María Jesús [1]

[1] Universidad de Sevilla, [2] Universidad de Cádiz

This proposed work is part of the innovation research in intelligent systems and sustainable manufacturing, focusing on the worker, with the aim of developing a neuroscientific model for the application of Kansei-Chisei Engineering in Lean manufacturing environments in the metal-mechanical sector. This proposal involved in expanding the concept of ergonomics applied to the work environments, which has evolved from the classical concepts of ergonomics or physical ergonomics to other related with incorporating emotional and rational aspects in interaction with design. In the field of ergonomics, the design of work environments and products has evolved from a rational design practice focused exclusively on efficiency approaches, to the emotional perspective by incorporating affective design solutions with Kansei Engineering. The main objectives for methodological development based on Kansei-Chisei Engineering for application to design Lean manufacturing environments in plant level (macro), work station level (meso) and tools level (micro) will be described as well as its main background, current state of art and objectives.

Keywords: *Kansei Engineering; Lean Manufacturing; Ergonomics; Engineering Projects*

PROYECTO DE INGENIERÍA KANSEI-CHISEI EN FABRICACIÓN LEAN

La presente propuesta de trabajo se enmarca dentro de la línea de investigación de innovación en los sistemas de fabricación inteligentes y sostenibles, con enfoque en el trabajador, con el objetivo de la formulación de un modelo de orientación neurocientífica para la aplicación de la Ingeniería Kansei-Chisei a entornos de fabricación Lean en el sector metal-mecánico. Esta propuesta participa en la ampliación del concepto de ergonomía aplicada a los entornos de trabajo, la cual ha evolucionado desde los conceptos de ergonomía clásica o ergonomía física hacia otros ámbitos relacionados con la incorporación e interacción emocional y racional del diseño. En el ámbito de la ergonomía, el diseño de entornos de trabajo y productos ha evolucionado de una concepción racional centrada exclusivamente en la eficiencia práctica a planteamientos de concepción emocional mediante la incorporación de soluciones de diseño afectivo por Ingeniería Kansei. En la presente propuesta se describirán los objetivos fundamentales para el desarrollo metodológico basado en Ingeniería Kansei-Chisei para su aplicación al diseño de entornos de fabricación Lean a nivel de planta (macro), de puesto de trabajo (meso) y de herramientas (micro), así como sus principales antecedentes, estado del arte actual y objetivos planteados.

Palabras clave: *Ingeniería Kansei; Fabricación Lean; Ergonomía; Proyectos de Ingeniería*

Correspondencia: Antonio Córdoba Roldán acordoba1@us.es

1. Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo y aplicación de un protomodelo integrador de diseño emocional y diseño racional centrado en trabajado, desde una perspectiva cuantitativa con enfoque neurocientífico para su aplicación al diseño de entornos de fabricación Lean a nivel de planta (macro), de puesto de trabajo (meso) y de herramientas (micro). La propuesta participa de la evolución de la innovación en los sistemas de fabricación inteligente y sostenible, con enfoque en el trabajador.

La investigación de innovación centrada en el trabajador se enmarca dentro de la evolución del concepto de ergonomía aplicada a los entornos de trabajo, la cual ha evolucionado desde los conceptos de ergonomía clásica o ergonomía física hacia otros ámbitos relacionados con la adecuación emocional y racional del puesto de trabajo, en el contexto de la disciplina de diseño cognitivo del trabajo.

Para conseguir dicho objetivo de diseño emocional y racional de productos y entornos de trabajo se realizará una propuesta en forma de protomodelo presentando el planteamiento conceptual y objetivos fundamentales para el desarrollo metodológico propuesto de Ingeniería Kansei Chisei. La idea principal para el desarrollo metodológico de la Ingeniería Kansei Chisei es utilizar el marco metodológico de la Ingeniería Kansei (diseño emocional) desarrollado por Nagamachi (1989), el cual está bien estructurado y cuenta con múltiples aplicaciones en el ámbito del diseño de productos. A este marco procedimental se incorporará la Ingeniería Chisei (diseño racional).

Antes de continuar con el desarrollo de la propuesta de trabajo, es importante presentar una breve definición de los conceptos kansei y chisei que ayuden a conceptualizar la propuesta metodológica.

El término kansei no tiene una traducción directa en el vocabulario occidental ya que su origen es oriental, concretamente japonés. Kansei se compone del kanji “kan”, que significa sensitividad y “sei”, que significa características, naturaleza, cualidad. Kansei, en general, se refiere a la sensibilidad, al afecto y a la emoción (Nagamachi, 1992; Ishihara et al., 1993; Harada, 1998; Yoshikawa, 2000). Nagamachi (2010a; 2010b) da varias traducciones para tratar de explicar el término, definiendo kansei como "la impresión que alguien obtiene de un determinado artefacto, medio ambiente o situación mediante todos sus sentidos, vista, olfato, gusto, audio, tacto, así como su propio reconocimiento" o "sentimiento psicológico". Para simplificar el significado en el desarrollo futuro se entenderá que el término kansei es equivalente al término emoción.

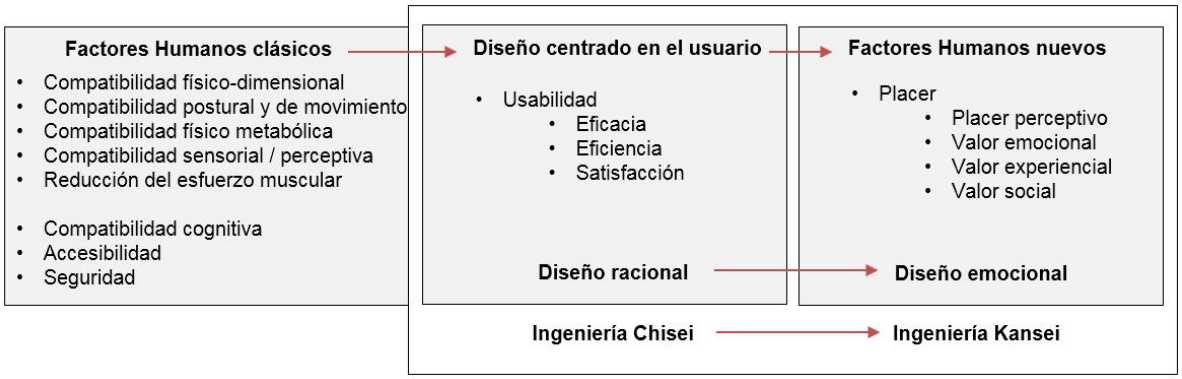
La contra parte de kansei se denomina chisei. El primer kanji "chi" significa entendimiento, intelectual, razonamiento y "sei" características, naturaleza, cualidad. Por lo tanto se puede definir que el término chisei es el razonamiento lógico detrás del comportamiento humano, es decir, es el proceso mental que impacta en el conocimiento a través de hechos lógicos y concretos (Chee, 2006; Lee, Harada & Stappers, 2002; Schütte, 2002). Para simplificar, se entenderá que el término chisei es equivalente al término razón, vinculado a la satisfacción práctica.

El objetivo final del desarrollo y aplicación metodológico es ayudar al trabajador a desarrollar sus tareas dentro del entorno de fabricación de una manera placentera (Ingeniería Kansei) y optimizando la eficacia de las tareas que desarrolla (Ingeniería Chisei), lo cual se traducirá en una mejora del sistema de producción, con un enfoque más amplio que el de la mejora de la productividad por la racionalización de los procesos de trabajo o mejora de métodos.

Esta propuesta participa en la ampliación del concepto de ergonomía aplicada a los entornos de trabajo, la cual ha evolucionado desde los conceptos de ergonomía clásica o

ergonomía física hacia otros ámbitos relacionados con la adecuación emocional y racional del diseño.

Figura 1: Kansei y chisei en la evolución del concepto ergonomía



En el ámbito de la ergonomía, el diseño de entornos de trabajo y productos ha evolucionado de una concepción racional centrada exclusivamente en las funciones prácticas a planteamientos de concepción emocional mediante la incorporación de soluciones de diseño afectivo.

2. Antecedentes

La evolución del diseño de productos ha llevado a obtener múltiples invenciones, y como consecuencia de esa evolución el mercado ofrece productos similares de gran calidad. Por otro lado, los usuarios tienen ahora una gran variedad de productos semejantes, y por tanto la toma de decisiones sobre la elección del producto se hace cada vez más sofisticada. Por ejemplo, ante varios productos aproximadamente equivalentes (funcionalidad, calidad y precio), la decisión final de compra del usuario es hacia aquel que le proporciona un mayor *feeling* o que mejor refleja un determinado estilo de vida (Norman, 2004). Esto ha hecho que el usuario no valore únicamente la funcionalidad, utilidad, seguridad y adecuado precio de los productos (conceptos satisfechos gracias a la evolución técnica), sino también las emociones y los sentimientos que le proporcionan.

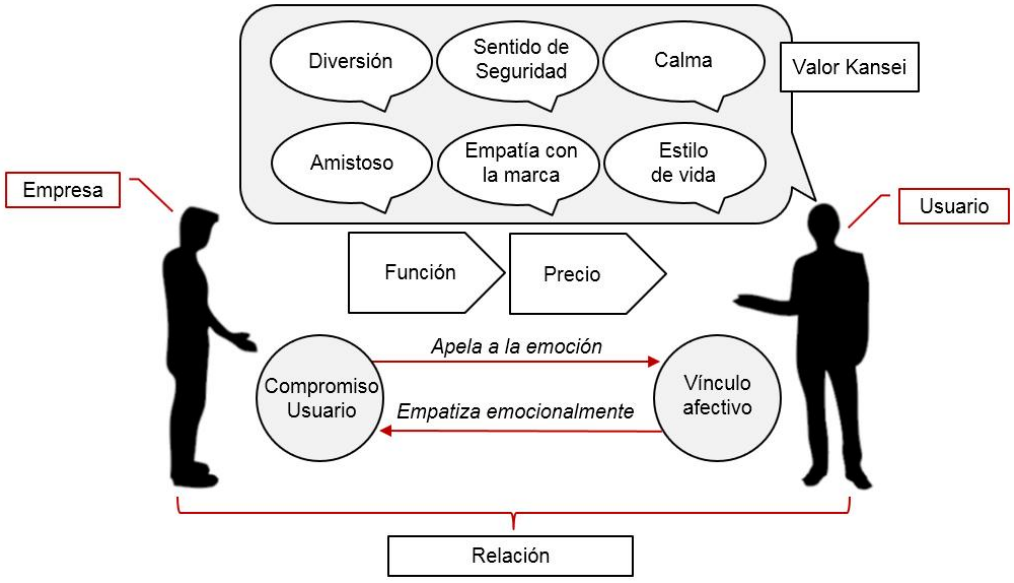
Esto ha provocado que en el ámbito del diseño y desarrollo de productos industriales sea cada vez más común el desarrollo de técnicas novedosas de diseño y desarrollo que se centran en investigar las necesidades del usuario para trasladarlas a los atributos del objeto de diseño. Con este enfoque se busca satisfacer al usuario cumpliendo con sus expectativas y deseos esperados (González et al. 2009).

En este panorama de mercado, la marca o empresa debe buscar la diferenciación, y en definitiva una nueva posición en el mercado donde la preferencia son los usuarios, para lo cual debe orientar de forma óptima y fiable el diseño y el desarrollo de productos capaces de cumplir con las percepciones, experiencias esperadas, nivel de satisfacción y necesidades del consumidor, como se muestra en la figura 2.

Para una empresa el conocimiento de las expectativas o los deseos del cliente (usuario, trabajador, empresa) es fundamental, tanto para aumentar las ventas y captar nuevos clientes como para evitar costes de producción. Un desarrollo de productos basado en este enfoque permite a la empresa probablemente con el tiempo conseguir la conexión emocional que se produce entre producto y usuario se traduzca en una conexión emocional con la marca o empresa que los desarrolla, asegurando así la confianza y fiabilidad del consumidor hacia la marca, capitalizando el *branding,* más allá de un producto concreto.

Bajo este supuesto se desarrolló el concepto de Ingeniería Kansei, como metodología cuantitativa que ayuda a los ingenieros diseñadores a incorporar la emoción, afecto y sentimientos como requerimiento en los productos y entornos industriales (Aguayo, Córdoba y Lama, 2010). Este será el punto de partida para el desarrollo metodológico y de aplicación que se plantea.

Figura 2: Nuevo eje de valores en el diseño de productos



Nota: Adaptado de (METI of Japan, 2009)

La Ingeniería Kansei (en inglés Kansei Engineering System, KES), es una técnica japonesa desarrollada por Mitzuo Nagamachi que permite cuantificar las emociones que evocan ciertos productos para, a partir de ellas, obtener unos parámetros de diseño concretos. Es una técnica especialmente centrada en el usuario, que tiene en cuenta todos los aspectos emocionales y sensitivos de los futuros consumidores del producto.

Nagamachi (2010a) aporta la siguiente definición, "es una metodología de desarrollo ergonómico de nuevos productos orientada al consumidor, basada en trasladar y plasmar las imágenes mentales, percepciones, sensaciones y gustos del consumidor en los elementos de diseño que componen un producto"

El objetivo de la Ingeniería Kansei es transformar las emociones, afectos y sentimientos que se desean transmitir al usuario (kanseis) en parámetros de diseño con los que obtener un producto concreto. Empresas como Mazda, Mitubichi, Shiseido, Nestle etc. han incorporado la Ingeniería Kansei como estrategia, dando lugar a productos exitosos (Nagamachi, 2002).

Los antecedentes expuestos determinan y justifican un ámbito de interés para la propuesta de una metodológica para el diseño emocional y racional tanto de productos como de entornos de trabajo. Actualmente no se cuenta con ninguna metodológica que aúne el diseño emocional y racional desde la perspectiva presentada.

Por otra parte se propondrá que el ámbito de aplicación de esta metodología valla más allá del producto industrial (objeto tradicional de aplicación), centrando dicha aplicación en entornos de fabricación Lean a nivel macro, meso y micro (Kun-Chieh, Jung-Chin & Yu-Cai, 2008). Este planteamiento metodológico incardina en los objetivos de la actual Ergonomía Ocupacional de mejora de las condiciones de seguridad y confort de los sistemas de trabajo.

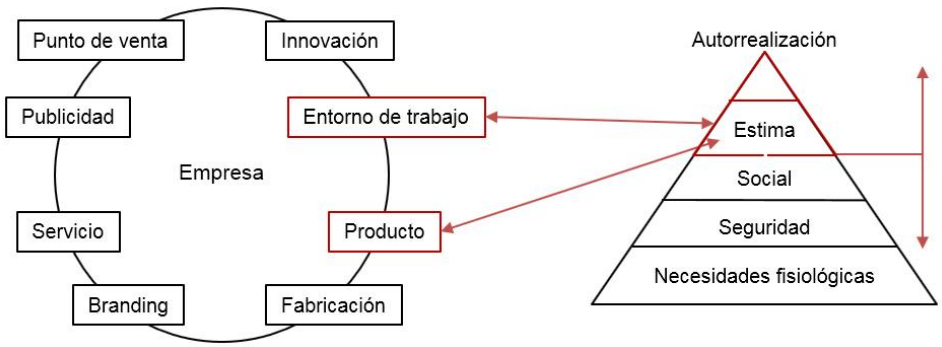
Por otro lado, estos antecedentes determinan y justifican el interés para acometer la realización de una implementación metodológica de diseño de Ingeniería Kansei-Chisei aplicada a entornos de fabricación Lean, enfoque novedoso del cual no se cuenta actualmente con ninguna propuesta de aplicación.

3. El factor humano en los entornos de fabricación

La primera antítesis teórica sobre el sistema hombre-máquina del taylorismo se encuentra en los estudios del efecto Hawthorne, llevado a cabo por Elton Mayo de la Universidad de Harvard, el cual investigó los efectos psicológicos que podían producir las condiciones físicas del trabajo en relación con la producción. Los resultados de sus estudios demostraron que no existe cooperación del trabajador en los proyectos, si éstos no son escuchados, ni considerados por parte de sus superiores, es difícil y en ocasiones casi imposible llegar a los objetivos fijados. La idea fundamental del estudio era comprobar que las condiciones físicas tenían un efecto sobre la eficiencia en el trabajo, las condiciones se cambiaron al ajustar los descansos de 5 minutos a 15 o ajustando la iluminación del lugar de trabajo a muy oscuro o muy claro, dependiendo del esquema del experimento psicológico (Davis & Taylor, 1973). La idea principal de este psicólogo industrial fue la de modificar el modelo mecánico del comportamiento organizacional para sustituirlo por otro que tuviese más en cuenta los sentimientos, actitudes, complejidad motivacional y otros aspectos del sujeto humano. Esto es conocido como teoría de las relaciones humanas o escuela humanística de administración, en este contexto podría incorporarse la propuesta que realizamos en el presente trabajo.

Otro estudio del factor humano en el trabajo está relacionado con la minería del carbón, realizado por el grupo Trist del Instituto Británico Tavistock. Estos analizaron que los trabajadores de la minería del carbón en sus tareas de carga, transporte, etc. eran extremadamente cooperativos. Sin embargo, cuando la minería sufrió un proceso de mecanización, cambiando el sistema habitual de compartir la carga a un estilo de trabajo especializado, empezaron a aparecer problemas con más frecuencia. El grupo Trist concluyó que aquel nuevo proceso de mecanizado había destruido las relaciones de cooperación humanas. El grupo Trist situó este incidente como el primer estudio sobre el sistema social y técnico (sistema sociotécnico), y afirmó que el sistema social (el sistema humano) y el sistema técnico (sistema de producción y mecanización) se debían diseñar de tal manera que interactúen satisfactoriamente el uno con el otro (Nagamachi & Mohd, 2015).

Figura 3: Proveedores de necesidades humanas



Por otro lado se encuentra la conocida jerarquía de las necesidades humanas o la pirámide de A.H. Maslow. Después de llevar a cabo diversos estudios relacionados con las necesidades humanas, Maslow advirtió que los humanos desarrollan cinco necesidades en distintas fases, y promulgó la teoría de una jerarquía de necesidades en cinco niveles

(Figura 3). Para Maslow sólo se atienden las necesidades superiores cuando se han satisfecho las inferiores. Para los humanos, cuando las necesidades inferiores se satisfacen, las necesidades de estima se vuelven más importantes, estimulan el crecimiento personal y motivan el desarrollo personal hasta alcanzar el nivel más alto, la autorrealización.

Se dará una inclinación a aceptar los desafíos hacia un objetivo personal con un sentido de responsabilidad. La teoría dice que progresar hasta conseguir las necesidades superiores no es sólo responsabilidad del trabajador, ya que requiere unas consideraciones de entorno del lugar de trabajo, la organización del personal, el contenido del trabajo, etc.(Nagamachi, 1973).

Frederick Herzberg formula una teoría, Teoría de los dos factores, para explicar mejor el comportamiento de las personas en situaciones de trabajo. Este autor plantea la existencia de dos factores que orientan el comportamiento del trabajador:

- La satisfacción, que es principalmente el resultado de los factores de motivación. Estos factores ayudan a aumentar la satisfacción del individuo pero tienen poco efecto sobre la insatisfacción. Algunos de estos factores son los logros, el reconocimiento, la independencia laboral, la responsabilidad.
- La insatisfacción, que es principalmente el resultado de los factores de higiene. Si estos factores faltan o son inadecuados, causan insatisfacción, pero su presencia tiene muy poco efecto en la satisfacción a largo plazo. Algunos de estos factores son el sueldo y beneficios empresariales, la política de la empresa y su organización, las relaciones con los compañeros de trabajo, el diseño del ambiente físico, la supervisión.

Una serie de encuestas similares se llevaron a cabo en Japón, y los hallazgos fueron básicamente los mismos. Sin embargo, para los japoneses, las relaciones humanas con sus superiores y sus compañeros de trabajo son parte de la motivación. Es más, el objetivo más importante es el trabajo mismo. En una operación de flujo segmentada y corta, ni la responsabilidad ni el sentido de satisfacción se desarrollarán. En otras palabras, siempre que haya un trabajo que le dé a un individuo la oportunidad de demostrarse a sí mismo que vale y un sentido de responsabilidad dentro del trabajo, es un requisito para promover la motivación.

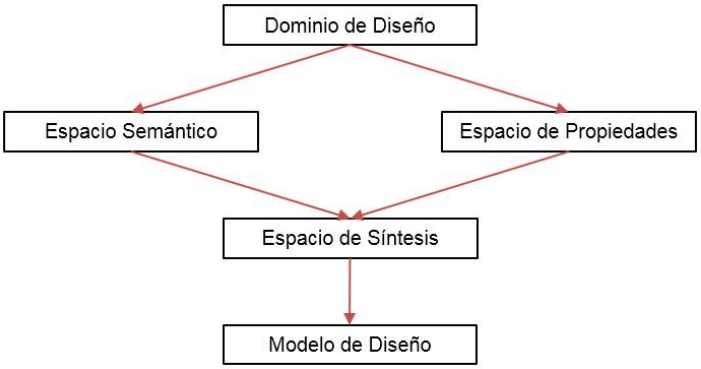
La última teoría que se debe mencionar es el diseño de la teoría del trabajo del profesor Louis E. Davis de la Universidad de California. A través de sus estudios en el Instituto Tavistock, Davis hacía hincapié en que la armonización del sistema técnico y el sistema humano/organizativo es necesaria para mantener la humanidad en el entorno de trabajo. Los humanos poseen varios tipos de necesidades y al mismo tiempo, no cambian demasiado ni progresan. Por otro lado, las máquinas y la tecnología se mantienen en un cambio continuo, progresando de acuerdo con el paso del tiempo. Por tanto, el espacio entre los dos no hace más que ensancharse. Cuando el progreso de la tecnología no coincide con el factor humano, se dará una inadaptación por parte de las personas. La reflexión sobre cómo preservar la humanidad, sin importar el progreso de la tecnología, o dicho de otro modo, diseñar la orientación del trabajo para que coincida con la humanidad, es el propósito del presente proyecto, para lo cual será necesario un diseño creativo. El aspecto humano se desarrolla a través del trabajo, las responsabilidades se unen a los trabajos, y los trabajadores tendrán una sensación de recompensa que les satisfará. Un sistema donde los trabajadores puedan evaluarse a sí mismos y su lugar de trabajo se pone a su disposición.

Para Nagamachi dicho estilo lo representa el sistema de fabricación Lean, como por ejemplo la propuesta de implantación de sistemas de producción por células (Nagamachi & Mohd, 2015).

4. Metodología propuesta

La idea principal para el desarrollo del protomodelo de la Ingeniería Kansei-Chisei es utilizar el marco metodológico de la Ingeniería Kansei (Figura 4). A este marco procedimental se incorporará el chisei. Por lo tanto se va a presentar el marco metodológico de la Ingeniería Kansei y sobre este se realizará la incorporación chisei, obteniendo así un protomodelo robusto de aplicación que aúne los dos ámbitos del diseño, tanto el diseño emocional como el diseño racional, con el objetivo de aplicarlo en entornos de fabricación Lean.

Figura 4: Sistema de Ingeniería Kansei



Se plantean los siguientes objetivos para el desarrollo de la metodología propuesta:

1. Establecer el estado del arte metodológico de la Ingeniería Kansei-Chisei con orientación neurocientífica, para su proyección en los entornos y sistemas de fabricación Lean.
2. Establecer una base de términos kansei y chisei a nivel macro (planta industrial), meso (proceso-puesto de trabajo) y micro (herramientas y útiles) con validación neurocientífica para el diseño de entornos y sistemas de fabricación Lean racional-afectivo.
3. Proponer una metodología y caja de herramientas para incorporar la metodología Kansei-Chisei al diseño y mejora continua en entornos y sistemas de fabricación Lean.
4. Establecer un conjunto de parámetros del dominio de propiedades que permita el diseño Kansei-Chisei de entornos de fabricación Lean en los niveles macro, meso y micro.
5. Evaluar y formular las técnicas y herramientas adecuadas para el espacio de síntesis que permitan su incorporación a la Ingeniería Kansei-Chisei para el diseño de entornos y sistemas de fabricación Lean.

Los elementos y rasgos característicos que constituyen el protomodelo que proponemos se articula en los siguientes elementos que exponemos a continuación.

4.1 Dominio de Diseño

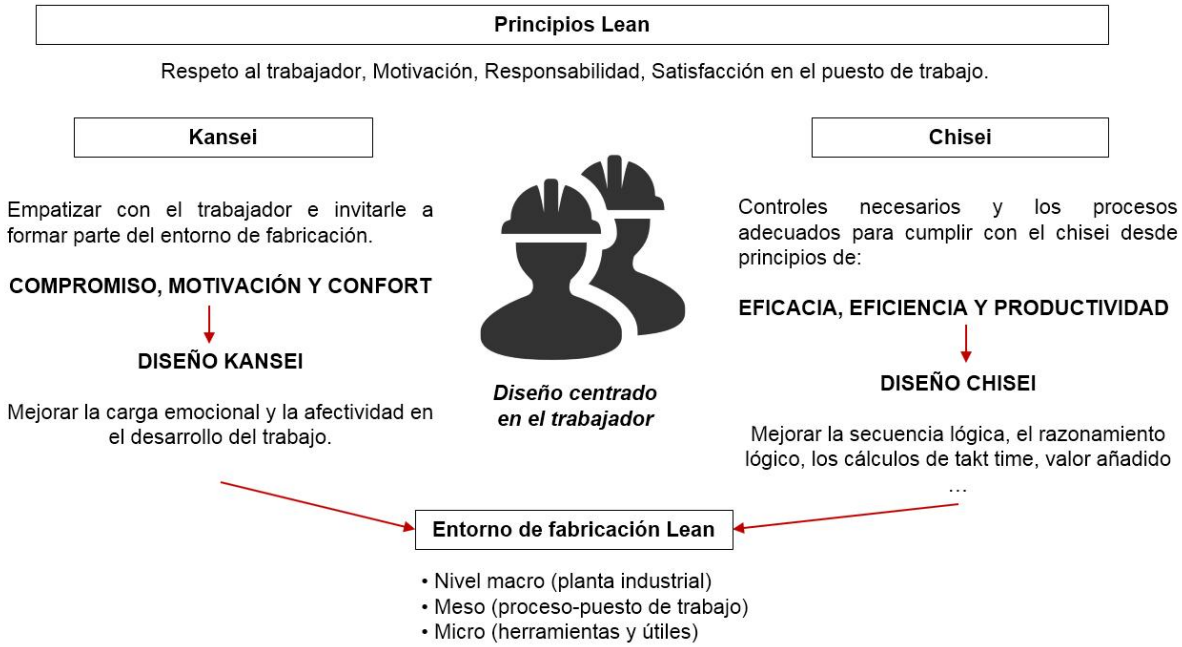
Este primer paso implica decidir el área de trabajo y tomar una serie de decisiones de lo que se debe hacer en relación con la estrategia empresarial acerca de su cartera de productos, productos y entorno... En el caso del diseño de entornos de fabricación Lean se correspondería con el análisis del layout de la planta, definición de los puestos de trabajo y caracterización de las herramientas necesarias desde la comprensión de los procesos involucrados en el sistema de fabricación.

4.2 Espacio Semántico

Recoge y describe el dominio de emociones o kanseis y el dominio racional o chiseis mediante términos que apelan a los sentimientos y racionalidad de los usuarios en relación

con el entorno de trabajo o producto. El objetivo es obtener y cuantificar la respuesta emocional del usuario. En el ámbito de los entornos de fabricación Lean el espacio semántico debe investigar los términos semánticos del contexto Lean, para recoger su significación profunda y los valores que la caracterizan, en la conceptualización y explicitación de palabras kansei y chisei.

Figura 5: Estructuración kansei y chisei de los espacios de la IK en entornos Lean



Existen numerosas técnicas o herramientas (Nagamachi, 2010a) que pueden ayudar a elicitar o sonsacar los kanseis y chiseis a usuarios y trabajadores en la interacción con el entornos de trabajo. Tradicionalmente en la Ingeniería Kansei se ha trabajado con encuestas de Diferencial Semántico, aunque la propuesta metodológica que se formulará para la elicitación de kansei y chiseis se apoyará en técnicas del ámbito neurocientífico como la electroencefalografía (EEG), la electromiografía (EMG), sistemas de seguimiento ocular, electrocardiograma etc.

4.3 Espacio de Propiedades

No existe una teoría consistente que exponga la forma en la que se debe desarrollar el espacio de propiedades de productos y entornos. En el caso de diseño de entornos de fabricación Lean, las propiedades hacen referencia a aquellos atributos o características de la planta, puesto de trabajo y herramienta que se desean controlar desde el diseño emocional y racional. Se desea que esta elección óptima de las propiedades se base en criterios emocionales y racionales del trabajador, referidas al puesto o al entorno de trabajo y que pudieran estar orientadas por la filosofía del sistema de producción o la cultura de trabajo de la propia empresa.

4.4 Espacio de Síntesis

Este espacio se basa en modelar la conexión entre las propiedades de diseño de los productos, puesto o entorno de trabajo (expresados en el Espacio de Propiedades) con los kanseis y chiseis (expresados en el Espacio Semántico). Es decir, en base a los resultados de la elicitación de kanseis y chiseis a los trabajadores, se realizará un modelo matemático-

estadístico, con base en modelos conexionistas (redes neuronales, algoritmos genéticos...) para establecer la relación de la emoción y la razón con las propiedades de tal manera que se puedan predecir los valores emocionales y racionales en los puestos de trabajo diseñados. Con ello se podrán seleccionar las categorías de las propiedades que mejor satisfagan a las emociones y la razón que el usuario desea experimentar en el puesto de trabajo.

4.5 Modelo

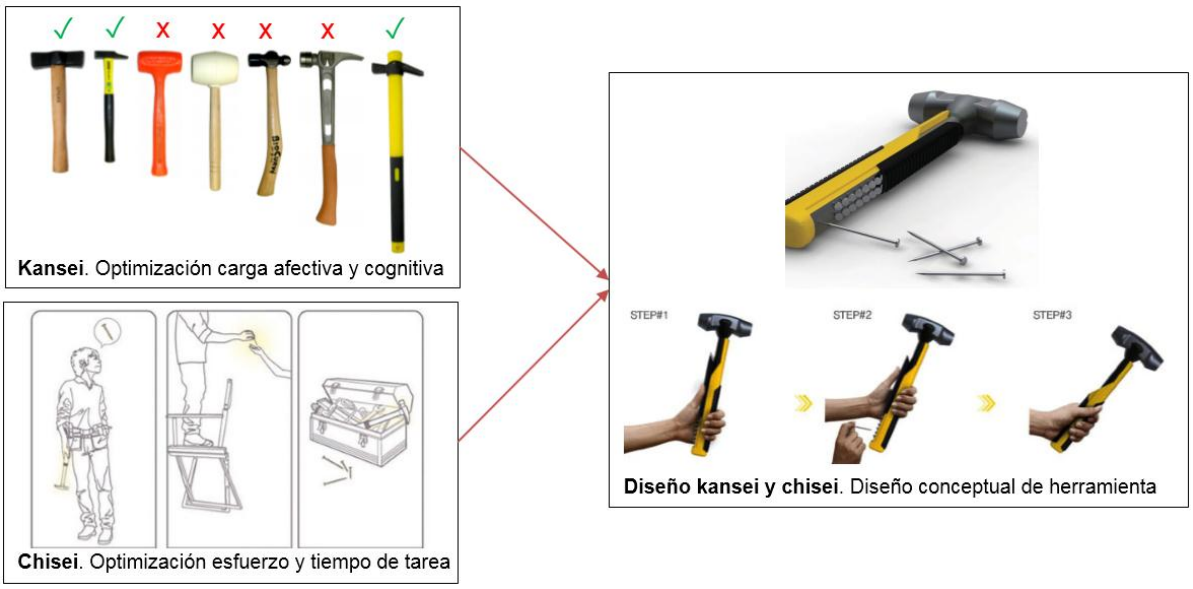
Se obtendrá un briefing de diseño que ayude al ingeniero diseñador a establecer el nuevo diseño del puesto de trabajo basándose en aspectos emocionales del trabajo (color, forma, acabados, armonía, composición,…) y en aspectos racionales del trabajo (lógica de ejecución, numero operaciones, secuencia de ejecución, tiempos de acción, disposición espacial, tamaños…) (Nagamachi, 2010b).

4.6 Aplicación en entornos de fabricación Lean

La fabricación Lean (Lean Manufacturing) se caracteriza por su filosofía de trabajo, organización y diseño de sistemas de producción, basado en las personas, que busca la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de procesos o actividades que usan más recursos de los estrictamente necesario y que no generen valor (Hernández y Vizán, 2013).

Esta metodología de trabajo simple, profunda y efectiva tiene su origen en Japón, al igual que la Ingeniería Kansei, e implanta la filosofía de gestión kaizen (cambio para mejorar) de mejora continua en tiempo, espacio, desperdicios, inventario y defectos involucrando al trabajador y generando en él un sentido de responsabilidad y pertenencia de gran importancia en la propuesta de mejoras. El factor humano se desarrolla en la fabricación Lean es su búsqueda de que el trabajador se sienta comprometido, motivado, confortable, y bien comunicado, valores que encajan dentro de la propuesta de diseño emocional centrado en el trabajador.

Figura 6: Ejemplo de diseño a nivel micro (herramienta de trabajo)



Nota: Diseñado por Jinsoo Cho & Ahjin Choi

Las empresas ponen todos los medios necesarios para cumplir con los criterios de eficacia, eficiencia y productividad, incluyendo las medidas de seguridad y salud. Para ello, un enfoque importante es analizar y diseñar de manera óptima a nivel de planta, mejorando aspectos como la secuencia lógica paso a paso del proceso de desarrollo del producto, analizar los procesos y tareas que no son necesarias, estandarizar tareas y los puestos de trabajo, el control por parte del trabajador para detectar problemas, analizar herramientas que no sean necesarias tener a mano, optimizar los movimientos y tareas evitando paros entre operaciones...etc. Todos estos valores apoyan la propuesta de diseño racional centrado en el trabajador.

Optimizadas tareas y puesto de trabajo del operario, el objetivo es centrarse en la satisfacción de este. Es en este punto donde tiene gran importancia la introducción del diseño kansei para logar una conexión placentera con el trabajador con el objetivo de mejorar la carga emocional y la afectiva en el desarrollo del trabajo y uso de herramientas.

La tarea del ingeniero diseñador será proponer una solución de diseño a nivel de planta industrial, puestos de trabajo y/o máquinas y herramientas (Figura 6) de tal manera que optimicen el trabajo del operario en tiempo y esfuerzo (chisei) adaptándolo a la carga cognitiva y afectiva de este para que el trabajo y el uso de útiles resulte placentero (kansei).

5. Conclusiones

Es necesario que no solo el entorno y sistema de fabricación sea eficaz, limpio y óptimo si no que las personas que forman parte y participan de ese entorno de fabricación posean una calidad de trabajo que les ayude mediante la optimización de los sentimientos psicológicos generados (motivación, confort...) y la propia organización del trabajo, buscando así una calidad en el desarrollo personal del trabajador. Esta calidad personal del trabajador se traducirá en una mejora productiva sobre el sistema de producción. Nagamachi hace referencia a este enfoque y lo denomina como Ergo-TeamWork el cual se basa en la búsqueda de la óptima compatibilidad entre humano y máquina y sistema de trabajo (Nagamachi, 2008).

El objetivo es conseguir un impacto en la motivación, satisfacción, rendimiento y fiabilidad del trabajo, enlazando así con los principios de los sistemas de fabricación Lean.

6. Bibliografía

Aguayo, F., Córdoba, A., Lama, J. (2010). Kansei Engineering: aesthetics design of products. *DYNA, 85(6)*. 489-503.

Chee, E. (2006). Designing Product Character: Strategy to Evaluate Product Preference and Map Design Direction. *Design Research Society. International Conference, Lisbon*.

Davis, L.E., Taylor J.C. (1973.). *Design of jobs*. Penguin Books, London.

González, M., Aguayo, F., Lama, J.R. & Pérez, J. M. (2009). Ingeniería Kansei para un diseño centrado en los usuarios. *Técnica Industrial, 208*, 68-74.

Harada, A. (1998). On the Definition of Kansei. *In Modeling the Evaluation Structure of Kansei Conference. 2*, 22.

Hernández, J.C., Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación*. Fundación EOI.

Ishihara, S., Ishihara, K., Nagamachi, M. (1993). Analysis of Individual Differences in Kansei Evaluation Data Based on Cluster Analysis. *Kansei Engineering International, 1.*1, 49-58.

Kun-Chieh Wang, Jung-Chin Liang, Yu-Cai Lin. (2008). Form Design of CNC Machine Tools using SVM Kansei Engineering Model. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*.

Lee, S., Harada, A., Stappers, P. (2002). Design based upon Kansei. *Pleasure with Products: Beyond Usability (Capítulo 6)*, Taylor and Francis.

Ministry of Economy, Trade and Industry in Japan (2009) Kansei initiative. Obtenido de http://www.meti.go.jp/english/policy/mono_info_service/mono/kansei2009

Nagamachi, M. (1973) Job enrichment design - a system which creates job satisfaction. Tokyo: Diamond, 1973

Nagamachi, M. (1989). *Kansei Engineering*. Kaibundou, Tokyo.

Nagamachi, M. (1992). Kansei Engineering And Its Method. *Management System, 2 (2)*, 97-105.

Nagamachi, M. (2002). Kansei as powerful consumer-oriented technology for product development. Int. J. of Industrial Ergonomics, 33, 289 -294.

Nagamachi, M. (2008). *Ingeniería Kansei y las actividades exitosas del trabajo en equipo*.

Nagamachi, M. (2010a). Kansei / Affective Engineering. CRC Press. Taylor & Francis Group.

Nagamachi, M. (2010b). Innovations of Kansei Engineering. CRC Press. Taylor & Francis Group.

Nagamachi, M., Mohd, A. (2015). Kansei Innovation. Practical Design Applications for Product and Service Development. CRC Press.

Norman, D. (2004). Emotional Design: why we love (or hate) everyday things. Basic Books.

Schütte, S. (2002). Engineering Emotional Values in Product Design. Institute of Technology, Linköping, Linköpings University.

Wstertlin (2012, 3 Noviembre). Cultura Japonesa Lean. Mensaje publicado en http://qtclean.foroactivos.net/t139-aplicacion-de-kansei-chisei-en-la-manufactura-lean

Yoshikawa, A. (2000). Subjective information processing: Its foundation and applications.Biomedical Soft Computing and Human Sciences, 6(1), 75-83.

03-031

DESIGN AND DEVELOPMENT OF SEMANTIC AND PROPERTY SPACES IN KANSEI ENGINEERING WITH NEUROSCIENTIFIC APPROACH FOR LEAN MANUFACTURING PROJECTS

Córdoba Roldán, Antonio [1]; Marcos Bárcena, Mariano [2]; Aguayo González, Francisco [1]; Lama Ruiz, Juan Ramón [1]; Peralta Álvarez, María Estela [1]

[1] Universidad de Sevilla, [2] Universidad de Cádiz

In Kansei Engineering projects semantic space lists and describes the domain of emotions or kanseis and domain of reason or Chisei using terms that appeal to emotion and rationality of the worker in relation to the work environment. The objective is quantify the emotional and cognitive response by applying neuroscience tools. The semantic space in Lean environments must integrate Lean significance and values in the conceptualization and explanation of kansei and chisei terms. The space properties studied the properties and categories domain from the point of view of emotion and reason. For design Lean manufacturing environments, properties refer to attributes or characteristics of the plant, workstation and tools, of which a proposal for obtaining properties centric in worker. The main objective of Kansei-Chisei Engineering is establish the relationship between emotion, reason and properties of Lean environment to use the results to improve the comfort and efficiency of the work environment.

Keywords: *Kansei Chisei Engineering; Lean Manufacturing; Neuroergonomics; Engineering Projects*

DISEÑO Y DESARROLLO DEL ESPACIO SEMÁNTICO Y DE PROPIEDADES EN PROYECTOS DE FABRICACIÓN LEAN POR INGENIERÍA KANSEI CON ENFOQUE NEUROCIENTÍFICO

En los proyectos de Ingeniería Kansei el espacio semántico recoge y describe el dominio de emociones o kanseis y el dominio racional o chisei mediante términos que apelan a los sentimientos y racionalidad del trabajador en relación con el entorno de trabajo. El objetivo es obtener y cuantificar la respuesta emocional y cognitiva mediante la aplicación de herramientas neurocientíficas. El espacio semántico, en entornos Lean, debe integrar la significación y los valores Lean, en la conceptualización y explicitación de términos kansei y chisei. El espacio de propiedades es el dominio en el cual se establecen las propiedades y categorías que se van a estudiar desde el punto de vista de la emoción y la razón. En el caso de diseño de entornos de fabricación Lean, las propiedades hacen referencia a aquellos atributos o características de la planta, puesto de trabajo y herramienta, de las cuales se formulará una propuesta de obtención de propiedades centradas en el trabajador. El objetivo final de la Ingeniería Kansei Chisei es establecer la relación entre emoción, razón y propiedades del entorno Lean de tal manera que los resultados puedan ser utilizados para mejorar el confort y la eficiencia del entorno de trabajo.

Palabras clave: *Ingeniería Kansei Chisei; Fabricación Lean; Neuroergonomía; Proyectos de Ingeniería*

Correspondencia: Antonio Córdoba Roldán acordoba1@us.es

1. Introducción

En el ámbito laboral, por ejemplo para el diseño de un entorno de trabajo, se puede comprobar si alguien está realizando un trabajo con sobreesfuerzo midiendo el estado muscular mediante un electromiógrafo (EMG). Otro ejemplo sería captar el interés de un trabajador por determinadas partes de la interfaz de una máquina a través del movimiento ocular mediante un seguimiento con equipos de eyetracking. Por otro lado, se puede conocer si un puesto de trabajo gusta o no a los trabajadores mediante la expresión facial de la persona y medida por electromiografía facial e incluso mediando el estado de activación neural del trabajador por electroencefalografía (EEG). En base a lo anterior es de interés tener en cuenta la ergonomía del puesto de trabajo en sentido amplio, la carga física base a por ejemplo, al grado de flexión de la cadera, la distancia recorrida..., la carga cognitiva, el gasto energético, incluyendo la motivación del trabajador y el confort del entorno de trabajo.

En los proyectos de Ingeniería Kansei el espacio semántico es la fase que recoge y describe el dominio de emociones o *kanseis* y el dominio racional o *chisei* mediante términos que apelan a los sentimientos y racionalidad de la persona en relación con el entorno de trabajo. El objetivo es obtener y cuantificar la respuesta emocional y cognitiva mediante la aplicación de herramientas neurocientíficas. El espacio semántico debe integrar la significación y los valores Lean, en la conceptualización y explicitación de términos kansei y chisei.

El concepto de kansei está estrechamente relacionado con valores afectivos, emocionales del ser humano, el concepto chisei trabaja para aumentar el conocimiento o entendimiento de las descripciones verbales de hechos lógicos.

La propuesta metodológica por Ingeniería Kansei Chisei hace necesario la definición de un espacio semántico y de un espacio de propiedades desde un enfoque neurocientífico.

El espacio semántico es la fase de la Ingeniería Kansei en la cual se establecen los términos kanseis y chiseis que se van a estudiar desde el punto de vista del diseño del entorno de trabajo. La elección correcta de los kanseis y chiseis es de gran importancia para definir al usuario potencial, ya que este esperará experimentar ciertas emociones con el entorno de trabajo.

El espacio de propiedades es la fase de la Ingeniería Kansei en la cual se establecen las propiedades del entorno de trabajo que se van a estudiar desde el punto de vista del kansei y chisei. No existe una teoría consistente que exponga la forma en la que se debe desarrollar el espacio de propiedades. Para la estructuración de las propiedades del entorno a diseñar se debe seleccionar un conjunto de propiedades superiores o generales y sobre cada una de ellas seleccionar un conjunto de sub-propiedades o categorías. Las categorías representan los diferentes valores que puede tomar la propiedad. Para determinar las categorías se estudian y se analizan las variantes o alternativas posibles de cada propiedad en los productos.

El objetivo final de la Ingeniería Kansei Chisei es establecer la relación entre emoción, razón y propiedades del entorno Lean de tal manera que los resultados puedan ser utilizados como briefing de diseño del entorno. El diseño de entorno de trabajo que se proponga tras la aplicación metodológica está enfocado a conseguir un impacto en la motivación, satisfacción, rendimiento y fiabilidad del trabajo, enlazando así con los principios de los sistemas de manufactura Lean.

El presente artículo se centra en analizar y hacer una propuesta para el desarrollo del espacio semántico y el espacio de propiedades, propios de la Ingeniería Kansei Chisei, enfocados al diseño de entornos de trabajo Lean.

2. Enfoque neurocientífico

El entendimiento acerca de cómo funciona el cerebro para el cumplimiento de ciertas tareas relacionadas con el reconocimiento, aprendizaje, relación con las emociones… permitirá analizar la conexión entre la reacción a nivel neuronal de la persona con respecto a un estímulo.

Dentro de la neurociencia humana han existido dos enfoques diferentes sobre la anatomía de la mente. Por una parte los científicos que defendían la modularidad de especialización del cerebro y quienes por otro lado defendían el procesamiento distribuido.

En la actualidad la modularidad es indiscutible, demostrándose que las funciones mentales raramente involucran a un único módulo (Carretié, 2011). La emoción, la atención, la memoria, el lenguaje, la consciencia, la toma de decisiones o la creatividad activan módulos especializados en distintas zonas del cerebro por lo que la conectividad funcional entre ellos resulta imprescindible para que un proceso mental se desarrolle correctamente. Algunas estructuras intervienen en dos o más procesos distintos, por ejemplo, el núcleo accumbens interviene tanto en situaciones emocionalmente positivas como negativas.

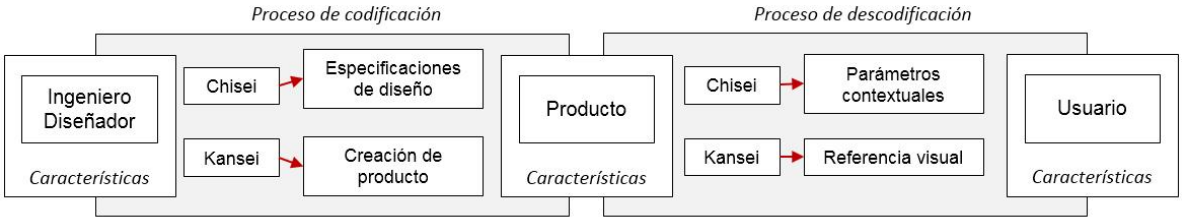
La especialización hemisférica es una forma de modularidad en la que se establece un reparto de funciones mentales entre hemisferios (Soriano et al., 2007). Tradicionalmente se ha establecido que el hemisferio derecho es más artístico y emocional y el izquierdo más analítico y cognitivo. Esta interpretación coincide con el aspecto externo del cerebro ya que este cuenta con dos mitades unidas profusamente por el cuerpo calloso. El cuerpo calloso (CC) es la comisura interhemisférica de mayor tamaño y conecta transversalmente los dos hemisferios. Esta estructura es de gran importancia para el desarrollo y la conectividad cortical, estando su función principal relacionada con la transferencia inmediata y unificada de la información sensorial recibida por los dos hemisferios de manera que los mantiene conscientes de lo que sucede en cada uno de ellos. Desempeña un papel importante en funciones como la memoria, la atención, el nivel de alerta, etc (Quintero-Gallego, 2003).

La interpretación de la especialización hemisférica en la emoción, la creatividad, la atención y la memoria ha ido perdiendo fuerza a medida que van aportándose nuevos datos concluyendo que ambos hemisferios están implicados en todos los procesos de forma relativamente equilibrada.

3. Relación kansei y chisei

Hasta ahora, la práctica de la mayoría de los ingenieros se ha centrado en el chisei. El kansei ha sido considerado como un fenómeno totalmente subjetivo ya que cualquier persona en el mundo tiene su propia forma individual de absorción y de representación de los estímulos externos.

Figura 1: Proceso de codificación kansei y chisei



Nota: Adaptado de (Chee, E. (2006)

El kansei es un efecto del desarrollo de diversos sentimientos en la mente humana que aparecen como emociones individuales. En la historia del diseño de productos, el énfasis en

la producción en masa y la falta de conocimientos de diseño por parte de los ingenieros provocó un desprecio por las preferencias y sentimientos personales, siendo este el principal motivo por lo que ha sido difícil darse cuenta de la relevancia del kansei para el diseño. Hoy en día, la necesidad por la satisfacción emocional está creciendo y las empresas lo saben. Los requisitos funcionales a menudo pueden ser resueltos por el diseño chisei a través del conocimiento lógico y tecnológico. Sin embargo, el cumplimiento de los requisitos emocionales, incluyendo el placer, requiere una especial atención (Lee et al., 2002).

Picard (1997) construyó modelos de interacción entre la razón y la emoción. Por ejemplo, en el ámbito del marketing, los expertos distinguen entre “atracción afectiva” (“feeling appeal”), es decir, aplicar a características del producto cualidades atractivas y subjetivas; y “atracción lógica” (“thinking appeal”), es decir, aplicar a características del producto cualidades lógicas, objetivamente verificables (Liu y Stout, 1987). Lee et al. (2002) se refiere a ese primer concepto expuesto anteriormente como kansei y a su contraparte como chisei.

A diferencia de algunas caracterizaciones subconscientes o irracionales de las emociones, el kansei va más allá de las reacciones viscerales asociadas con cambios en las expresiones faciales, entonación vocal y cambios fisiológicos asociados (fisiológicamente asociadas con el sistema límbico y la amígdala anterior). El énfasis en las emociones a través de palabras kansei se extiende más allá de la emoción por lo que inevitablemente implica cogniciones asociadas con el chisei.

Krippendorff (2006) ha criticado que la Ingeniería Kansei repite el error epistemológico de la teoría estética, en el sentido de que una separación de la cognición y el afecto (chisei y kansei) pierde los beneficios del enfoque holístico, en el que la funciones del cuerpo calloso como mediador interhemisferico pudiera jugar un importante papel (Soriano et al., 2007).

Ambos conceptos, kansei y chisei, tienen en común que se desencadenan por un estímulo sensorial, que se asigna desde ambas perspectivas. El kansei construye afecto, sentimientos y emociones, que a su vez conducen a la creatividad; por otra parte, el chisei construye el razonamiento basado en la lógica, el reconocimiento y la comprensión que posteriormente se convierten en conocimiento (Schütte, 2005). El chisei trabaja para aumentar el conocimiento o entendimiento de hechos lógicos y el kansei trabaja para aumentar la creatividad a través de los sentimientos o emociones.

Al mismo tiempo que el kansei, se construye el chisei por la misma entrada (entrada sensorial), basado en la construcción de conocimientos a través de procesos de aprendizaje. Tanto el kansei como el chisei se procesan en el cerebro cuando este recibe información del mundo externo a través de los sentidos.

La Ingeniería Kansei utiliza ciertos estímulos (generalmente muestras de productos y términos descriptores) que se introducen en el sistema. La salida del sistema se registra por lo general en una forma cuestionario (por ejemplo Diferencial Semántico). Estos datos constituyen de hecho una representación del kansei de la sociedad en el producto.

El uso de técnicas de Ingeniería Kansei no significa necesariamente que la salida del estudio refleje el verdadero kansei que tiene el usuario en mente sobre una determinada alternativa de diseño. Esto sólo representa información tomada en un cierto instante de tiempo bajo unas determinadas circunstancias. Además hay que tener en cuenta que formularios, imágenes, términos de emociones no son réplicas reales de la experiencia, son representaciones simbólicas.

Seung Hee Lee (2002) no pude en duda que tanto el chisei como el kansei tienen el mismo nivel de potencia para estimular los comportamientos humanos.

4. Espacio semántico

El kansei y el chisei, antes de generarse, se componen de vista, oído, olfato, gusto... Las experiencias sensoriales se almacenan junto a la memoria experiencial en el mismo momento, lo cual se traduce en un registro emocional.

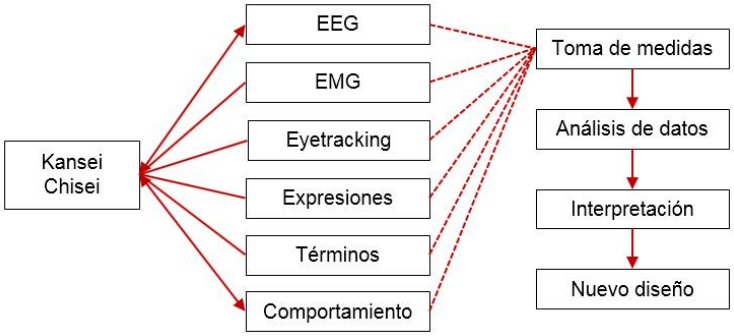
Algo que se ha memorizado, decidido o juzgado previamente con un cierto valor puede resurgir cuando se presenta un estímulo similar o se percibe como similar. Por ejemplo si a una máquina se le enciende un piloto luminoso rojo, puede evocar anteriores usos de otras máquinas y emerger una respuesta de alerta o peligro.

El receptor no siente únicamente como resultado de procesos fisiológicos, el kansei y el chisei se generan en combinación con las experiencias pasadas y la información de memoria (hipocampo) estando íntimamente relacionados con la experiencia previa ante un determinado estímulo. Todas las emociones a través de los sentidos se sienten como emociones apoyadas por las experiencias de la vida diaria del receptor.

Existen emociones compuestas que combinan sensaciones (modalidades sensoriales), especialmente la vista, que domina el 70% -80% de la estimulación sensorial, de gran impacto kansei. Por ejemplo, basta con una imagen de una máquina para hacer sentir lo amistosa o fácil de usar que será.

La figura 2 muestra como el kansei se manifiesta de varias maneras o por varias vías, pudiéndose obtener un dimensionamiento psicológico del estado emocional de la persona. Por ejemplo, este se puede dimensionar o cuantificar a través de las señales neurales usando electroencefalografía, pudiendo conocer cuál es el estado de actividad neural.

Figura 2: Procesamiento de estímulo



Nota: Adaptado de (Nagamachi y Mohd (2015)

Estas nuevas funciones requieren conocer emociones ocultas y kansei profundos de las acciones, expresiones, lenguaje hablado, etc., de los trabadores en sus puestos de trabajo. El personal directivo, de gestión, personal de servicio al cliente, etc., necesita compartir los mismos kanseis y tener la capacidad de leerlos en las personas con las que están tratando.

4.1 Fisiología del kansei y chisei

Aproximadamente, se puede decir que el kansei es una estructura de la mente subordinada, que conecta los estímulos exteriores a las emociones. La mayoría de las emociones se generan en el cerebro en un área denominada sistema límbico. Desde una perspectiva evolutiva, el sistema límbico es mucho mayor que el resto del cerebro humano. Incluye funciones básicas tales como la regulación de la respiración, la presión arterial, etc., y controla la forma en que reaccionamos emocionalmente a los estímulos externos (Damaiso, 1996). Todos estos procesos se llevan a cabo inconscientemente ya que la conciencia se ubica en las partes más nuevas del cerebro como son los lóbulos frontales.

Los seres humanos pueden controlar sus emociones a un cierto grado conscientemente, pero no completamente (Damaiso, 1996). Para el kansei esto significa que el sistema límbico es el indicado para medir las emociones en el cerebro.

4.2 Medición del kansei y chisei

El kansei representa una estructura individual mental. Comprender los kansei no es fácil e implica una gran cantidad de empatía y experiencia. Tradicionalmente, los sentimientos y las emociones han sido tratados por ciencias de análisis comportamental como la psicología y la sociología. Los precursores de la Ingeniería Kansei y otras metodologías para el desarrollo de productos afectivos se dieron cuenta del problema de cuantificar el kansei, y se propuso el desarrollo de un modelo estadístico matemático correcto para la predicción del comportamiento de los usuarios. El objetivo era eliminar la predicción comportamental basada en interpretaciones cualitativas.

Por otro lado es de vital importancia conocer cómo y dónde se origina el kansei y cómo este puede ser captado y convertido en información útil para el diseño y desarrollo de entornos. El kansei como tal es un sensación interna, pero en la actualidad sólo se puede medir utilizando métodos basados en la externalización.

Nagamachi hace diferencia ente dos tipos de medidas principalmente:

1. Medidas psicológicas (psicométricas): haciendo referencia a medidas obtenidas mediantes encuestas, test… haciendo referencia principalmente a la técnica de Diferencial Semántico.
2. Medidas fisiológicas (biomédicas): medidas de respuestas fisiológicas, comportamientos y expresiones corporales generadas por 'estimulación externa' como la medición del ritmo cardíaco, EMG y EEG.

Todos los métodos mencionados anteriormente se han aplicado con éxito en diferentes áreas de aplicación kansei. Sin embargo, los sentimientos y las impresiones son estructuras complejas, que requieren instrumentos de medición sensibles. Por desgracia, incluso el más poderoso de los métodos de medición no es capaz de revelar el kansei completo de alguien, sólo pequeñas partes de él. Se ha demostrado que como medida adicional que complementa a las descripciones semánticas, el EMG y el EEG pueden ser útiles (Picard, 1997). De las distintas técnicas biométricas se expone a continuación una propuesta de integrar la EEG en la Ingeniería Kansei, para abordar problemas del espacio semántico.

4.3 Electroencefalografía e Ingeniería Kansei

El EEG es la señal eléctrica detectable en la superficie del cuero cabelludo. Se trata de una señal con máxima resolución temporal, puesto que discrimina y sitúa en el tiempo, de forma adecuada, distintas respuestas cerebrales. Gracias al desarrollo de algoritmos matemáticos capaces de calcular qué áreas de la corteza cerebral originan la actividad registrada en el exterior, el EEG puede proporcionar información espacial de baja resolución pues discrimina y sitúa en el espacio de forma orientativa las respuestas cerebrales.

La electroencefalografía en la Ingeniería Kansei como técnica de análisis y medición fue utilizada por el profesor Tomoyuki Yoshida (1990); el cuál medió la frecuencia y la cantidad de las fluctuaciones de ondas alfa (de 8 a 13 Hz) en el lóbulo frontal (Fp1, Fp2) dando a conocer la relación entre ellos y la comodidad o sensación de relajación (se conoce que las bandas de frecuencia alfa en el EEG aumentan durante el reposo tranquilo.)

Yoshida, tras la realización de múltiples experimentos, descubrió que un gradiente en el dominio de las frecuencias bajas está fuertemente asociado con la comodidad y la sensación de relajación. Y por otro lado, que un gradiente más pronunciado en el dominio de frecuencias altas, está fuertemente asociado con la sensación de confort subjetivo (Yoshida

& Iwaki, 2000). De sus muchos resultados de investigación, él construyó un modelo básico de emoción compuesto de dos ejes, la activación del sentimiento (excitante / calma) y el confort (cómodo/incómodo). Además de esto, Yoshida, encontró asociaciones de fluctuación de ondas alfa no sólo con la comodidad, sino también con el disfrute, que representa la emoción de la comodidad.

4.4 Metodología y diseño experimental

El registro EEG requiere en primer lugar la colocación de electrodos en el cuero cabelludo al sujeto de prueba. El empleo de numerosos electrodos ha extendido el uso de gorros de registro, que incorporan ya los electrodos, sin necesidad de colocarlos uno a uno.

Nagamachi considera que los estímulos que pasan a través del globo ocular se convierten en señales que se propagan al lóbulo occipital y pasan a través de otras regiones hasta que son procesadas como kansei por la corteza prefontal (Nagamachi y Mohd, 2015).Estos nos indica que se debe prestar atención a la información recibida por los electros ubicados en dicha zona, en concreto, como se expuso anteriormente en los electrodos Fp1 y Fp2.

Por tratarse de una señal muy débil es necesario someterla a una amplificación para poder tratarla y analizarla. El primer problema que plantea este tipo de equipos es que la no discrimina entre señal y ruido, por lo que se debe utilizar filtros que lo atenúen. Las interferencias más dañinas para el EEG son las oculares, que son de origen interno y que consisten en el registro de los movimientos oculares y parpadeos. Su mayor inconveniente es que pueden tener una frecuencia similar a la del EEG siendo en ese caso imposibles de filtrar. Además, su amplitud es normalmente muy superior a la propia señal EEG y pueden afectar a cualquier electrodo. Este tipo de interferencias se denominan artefactos y en muchas ocasiones pueden ser eliminados mediante análisis visual de la señal.

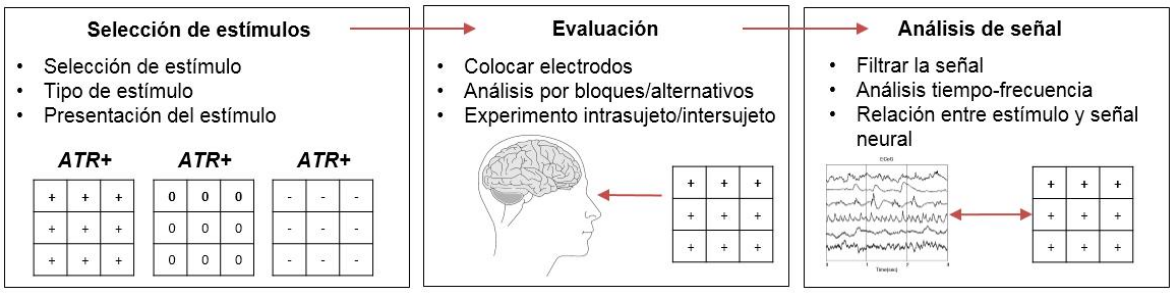
En este estudio se desea conocer qué circuitos cerebrales se activan ante una alternativa de diseño de entorno de trabajo que resulte atractivo. Para ello se puede plantear diseñar una tarea con tres tipos de estímulos: 15 representaciones de entornos muy atractivos (ATR+), 15 de entornos de atractivo intermedio (ATR0) y 15 poco atractivos (ATR-).

Seleccionados los estímulos el siguiente paso es definir la manera de presentarlos. En el diseño de bloques se recurriría a presentar las alternativas de diseño en series de la misma categoría experimental: los 15 entornos ATR+ se presentarían seguidas (con su correspondiente intervalo entre alternativa y alternativa), en otro bloque se presentarían todas las ATR0 y en otro las ATR-. En general los diseños de bloques potencian el efecto de cada categoría experimental (por ejemplo, ATR+, ATR0, ATR-) y por tanto permiten mejorar la razón S/R. En cambio el diseño de bloques tiene el inconveniente de que el sujeto puede predecir con facilidad qué tipo de estímulo vendrá a continuación, lo que puede constituir un problema en algunos estudios, además puede producir habituación más fácilmente que en los diseños alternativos (Carretié, 2011).

La siguiente decisión será analizar que estímulos se van a presentar. En los diseños de experimentos intersujetos, las condiciones experimentales se aplican a muestras diferentes. En este caso un grupo de sujetos se le presentarían los entornos ATR+, a otro grupo los ATR0 y a otro los ATR-. En los intrasujetos se presentan todas las condiciones experimentales a todos los sujetos. El principal problema de los diseños intersujetos es que, en caso de que se observen diferencias significativas en la respuesta a los distintos tipos de entornos, no es posible saber si el grupo que percibió los entornos ATR+ produjo respuestas distintas al que percibió ATR0 o al que percibió ATR-, debido a la manipulación experimental (diseño del entorno). En los estudios intrasujetos, estos factores se convierten en constantes, es decir, cesan de afectar diferencialmente ya que van a influir en todas las categorías experimentales dentro de cada sujeto.

Para el análisis y la interpretación de señales se requiere una ejecución en varias fases. En primer lugar, debe procederse a la extracción del parámetro más informativo de la señal, y su cuantificación en función del tratamiento experimental, en este caso las condiciones ATR+, ATR0, ATR-). En segundo lugar, debe comprobarse si esas condiciones producen un efecto significativo en el parámetro que se ha cuantificad, por ejemplo, si el patrón de respuestas es ATR+ > ATR0 > ATR-, a través de contrastes estadísticos (Carretié, 2011). Por último, se debe interpretar los resultados estadísticos obtenidos, por ejemplo, qué estructuras cerebrales están en la base de la percepción, en qué momento se activan, etc.

Figura 3: Fases de análisis del Espacio semántico



Por otro lado también será de interés disponer de datos espaciales. Para ello se realiza una cuantificación de la distribución topográfica de la señal consiste en representar en un mapa del cuero cabelludo, qué amplitud o frecuencia presenta cada punto del cuero cabelludo en un momento dado. La distribución topográfica muestra información de sobre cómo se manifiesta espacialmente la actividad cerebral en cada condición experimental. Por ejemplo, permite explorar si las condiciones ATR+, ATR0 y ATR-, producen patrones espaciales diferentes. Si la distribución topográfica varía de una condición a otra, puede inferirse que cada condición activa de manera diferente el cerebro.

5. Espacio de propiedades

Desde que los juicios de calidad sobre los entornos de trabajo y útiles de trabajo están más vinculados a las emociones, modificando decisiones de uso, es crucial para el éxito del sistema de fabricación desarrollar entornos de trabajo que atraigan al trabajador y evoquen emociones positivas, diseñando desde los niveles hedonistas de la pirámide de Maslow (Shütte, 2006).

Especialmente la impresión visual influye en la evaluación de los productos y de los entornos debido a que casi el 80 por ciento de toda la información es recogida por el ojo (Berghaus, 2005). Para que la calidad percibida del entorno provoque una emoción positiva, se debe influir activamente en la percepción del entorno, lo que significa basar las decisiones de diseño en datos válidos sobre la atención del trabajador (Köhler & Schmitt, 2012). Extraer datos cuantitativos válidos plantea un gran reto durante el proceso de desarrollo de productos (PDP), ya que esto plantea la medición de requisitos conscientes e impresiones inconscientes de las emociones del grupo objetivo y la recopilación de datos válidos sobre las impresiones visuales de los trabajadores mediante la comparación visual de alternativas de diseño.

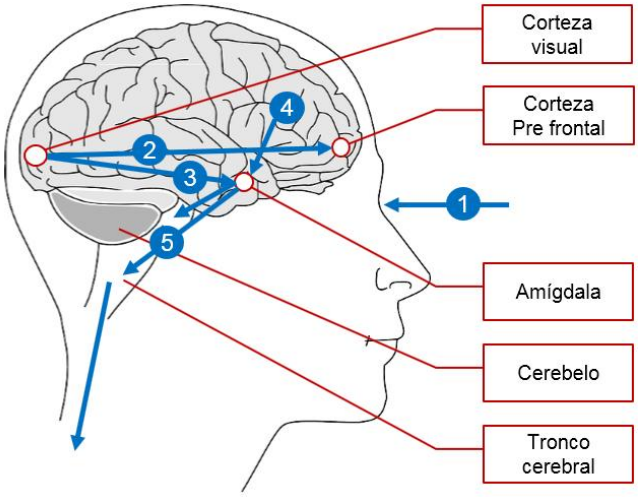
Se propone que para determinar los datos y parámetros de la impresión visual así como de otras modalidades sensoriales y evaluación emocional de diferentes alternativas de diseño, aplicar técnicas de seguimiento ocular como los sistemas de eyetracking, robusteciendo así la toma de decisiones del Espacio de propiedades. La incorporación del análisis de la impresión visual mediante eyetracking en la Ingeniería Kansei apoyará las decisiones del

equipo de diseño para obtener entornos de trabajo de alta calidad percibida y entender los diferentes niveles de percepción (Köhler, Falk, & Schmitt; 2014).

5.1 Fisiología de la percepción visual

La percepción de un estímulo, como por ejemplo la visión de un piloto luminoso rojo, pasa de la corteza visual, en la parte posterior del cerebro, a la corteza prefrontal y a la amígdala, estructura cerebral que interviene en la memoria emocional. La corteza prefrontal envía señales sensoriales a la amígadala, que a su vez las envía al tronco cerebral y a otras regiones del cerebro, que controlan la reacción del cuerpo ante la emoción generada por la visión del luminoso rojo. Al mismo tiempo, la amígdala facilita el almacenamiento de memoria, las cuales pueden provocar una reacción emocional similar en el futuro con estímulos similares. En la figura 4 se representa el procesamiento de un estímulo visual (1).

Figura 4: Procesamiento de estímulo visual



5.2 Percepción de propiedades del entorno

El concepto de calidad percibida se define como la comparación emocional y cognitiva entre las características del entorno y los requisitos y necesidades del grupo objetivo. La comparación se basa en el consciente y la percepción en el inconsciente, vinculado a las experiencias y expectativas del trabajador (Schmitt, Quattelbaum y Lieb, 2008).

De este modo, la percepción del entorno de trabajo por parte del trabajador es compleja y puede ser estructurada en diferentes niveles de percepción que difieren en su nivel de detalle desde la impresión general al análisis de parámetros técnicos.

La percepción emocional del trabajador comienza con una impresión general del entorno de trabajo, que es esencial para una evaluación posterior de diseño, a menudo sobre la base de aspectos armónicos. En un nivel más detallado, las agrupaciones perceptuales (clústeres) se conforman por diferentes atributos de calidad. Por lo tanto, uno o varios descriptores son los que determinan la identidad y estructura del entorno. La correlación de un descriptor con propiedades y parámetros técnicos del entorno, conducirá a detectar las propiedades del entorno que aseguren un aspecto armónico del concepto de diseño a proponer.

5.2 Medición de la atención visual

En cuanto a la medición de la atención visual, el enfoque más antiguo y sencillo es detectar los movimientos de los ojos de una persona objetivo mediante la observación directa por

parte de un experto. En la actualidad, los sistemas de seguimiento ocular son capaces de aportar información acerca de la atención evocada por los componentes y propiedades del entorno con el objetivo de evaluar diferentes alternativas de diseño. De este modo, los conceptos claves más importantes para registrar como los datos de entrada válidos para el diseño y desarrollo de entornos de trabajo serán los movimientos sacádicos, los tiempos de fijación y las trayectorias de exploración.

Las fijaciones son los intervalos de tiempo en los que el ojo se mantiene en una posición especial, centrado la atención en una zona o punto. El movimiento sacádico es un movimiento rápido del ojo. Los humanos no miran una escena de forma estática por lo general, en vez de esto, los ojos se mueven buscando zonas o partes de interés y construyendo un mapa mental de lo observado. La existencia de las sacadas se debe a la parte central de la retina, la fóvea, la cual tiene una alta concentración de células fotorreceptoras sensibles al color, los conos. La dinámica del movimiento sacádico da cuenta de la complejidad del mecanismo que controla el movimiento del ojo. La velocidad angular máxima que se da durante un movimiento sacádico puede ser de hasta 1000 grados/s. Una sacada típica dura entre 20 y 200 milisegundos. La trayectoria representa el historial o secuencia de fijaciones y movimientos sacádicos.

Las evaluaciones de diseño que usan métodos directos suelen estar influenciadas por el diseño del estudio, el investigador o el hecho de que el usuario no sepa o no desee expresar sentimientos verdaderos. Además, los usuarios pueden tener problemas para decidir entre alternativas debido a la alta complejidad de los entornos, máquinas y productos o debido a que las diferencias son muy leves o muy técnicas. Existen investigaciones que han analizado las interdependencias entre los parámetros de seguimiento ocular y la percepción, así como las evaluaciones de diseño y preferencias (Kukkonen, 2005; Koivunen et al, 2004; Hammer & Lengyel, 1991). Estas investigaciones señalan la necesidad de continuar investigando acerca de las características del producto, en concreto de aquellas características que crean imagen de empresa o marca.

El análisis de la atención visual aporta información sobre zonas o puntos de interés del entorno de trabajo evaluado obteniendo un peso de propiedades o componentes del entorno con lo que acotar el problema de diseño. Esta información se puede complementar con la información extraída del espacio semántico de tal manera que se establezca una relación entre el kansei o chisei evocado por el entorno y las principales características o propiedades del entorno que han provocado dicha evocación.

5.3 Metodología y diseño experimental

El sistema de eyetracking se aplicará en la propuesta metodológica que venimos haciendo para comparar varias alternativas de diseño ya que este sistema es capaz de reunir datos objetivos sobre la impresión visual del entorno de trabajo con el fin de interpretar las necesidades implícitas y latentes de los trabajadores.

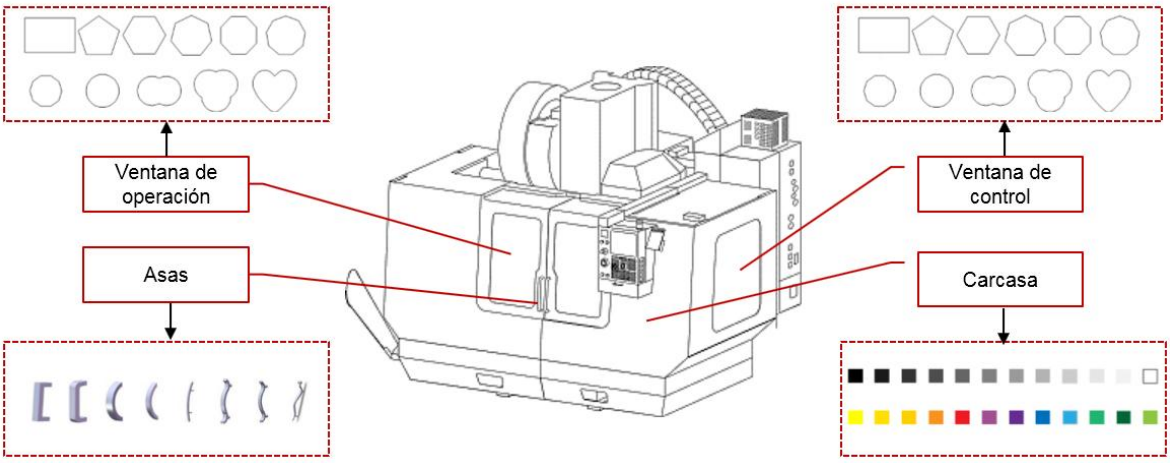
En primer lugar, se llevará a cabo un estudio previo para generar una visión general de los conceptos semánticos kansei y chisei que están asociados con el entorno de diseño.

Partiendo de esta información, el siguiente paso es determinar la estructura del entorno, puesto de trabajo, máquina y/o herramienta. Este tipo de estudio de detalle requiere un conocimiento preciso de la estructura del entorno y el producto con el fin de alinear el nivel de percepción de los clientes a nivel de parámetros de diseño y técnicos. Por lo tanto es indispensable contar con un enfoque estructurado de la percepción de calidad para dividir el entorno y el producto en clústeres visuales de percepción (Figura 5).

En la siguiente fase se debe diseñar el experimento a realizar y preparar el equipo de medición. Por razones de diseño del estudio y con el fin de reducir al mínimo las influencias

sistemáticas, las comparaciones de entornos y productos deben ser presentadas de la misma manera, por ejemplo, mismo tipo de representación, mismo tamaño, mismo ángulo visual, mismo fondo. Para el análisis de entornos y puestos de trabajo se puede proceder con un sistema de eyetracking o de seguimiento ocular basado en vídeo usando imágenes o secuencia de estas del entorno y demás objetos de interés para el estudio. En base a otros estudios anteriores, se recomienda que la duración que cada estímulo (imagen) debe ser mostrado a los sujetos de prueba depende del tipo de entorno o de producto y de la complejidad de la estructura de este. Los tiempos manejados suelen estar en torno a los 10 segundos para productos industriales de uso doméstico (Köhler, Falk, & Schmitt, 2014).

Figura 5: Ejemplo de definición de propiedades y sub-propiedades de interés



Nota: basado en (Wang, Liang & Lin, 2008)

Después de generar el espacio semántico y de determinar la estructura del producto, se organiza el equipo de eyetracking. Tras calibrar el equipo y el entorno de estudio para lograr un buen reconocimiento ocular por parte del equipo, se procederá a realizar el estudio, el cual se dividirá en varias fases.

La primera fase es de interacción libre, es decir, se mostrará una representación de varias alternativas de diseño de entornos de trabajo (estímulos visuales), las cuales se mostrarán por separado durante unos 15 segundos aproximadamente (dependiendo de lo representado y su nivel de detalle, el tiempo de exposición del estímulo podría variar) para obtener un valor de referencia e información acerca de los componentes y propiedades relevantes para el sujeto de prueba tras ver un entorno por primera vez. Puesto que los efectos iniciales de emoción y aprendizaje pueden influir en los resultados, se recomienda que los estímulos sean presentados en un orden aleatorio a cada sujeto de prueba.

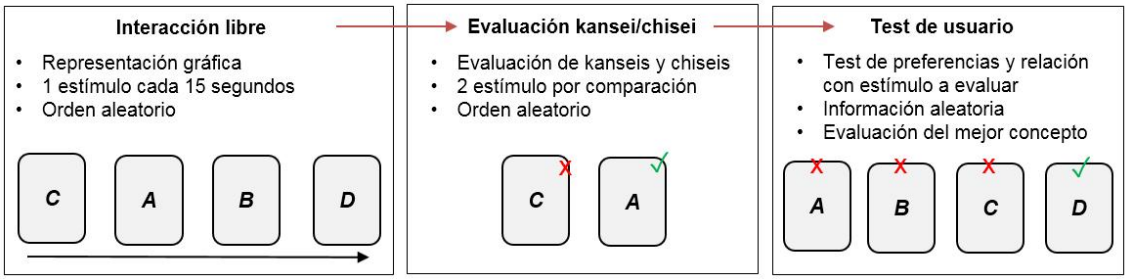
Posteriormente se realizará una comparación por pares, para lo cual se pedirá a los sujetos que comparen visualmente dos alternativas de diseño con respecto a un concepto semántico, tanto para términos kanseis como chiseis, durante un tiempo levemente superior al tiempo de la primer exposición. Durante esta fase, para cada concepto kansei y chisei a evaluar, se presenta el par de alternativas a la vez. Debido a los efectos de aprendizaje y al efecto del agotamiento, el orden de los conceptos semánticos y el del par de alternativas a comparar debe ser aleatorio.

Tras esto, como última fase del estudio se puede realizar un breve test al trabajador sobre su relación con el entorno, gustos y deseos.

Posteriormente se realizará un análisis estadístico, partiendo de un análisis de Pareto para identificar los componentes más relevantes durante la interacción libre. Tras esto se realizará una comparación de las diferentes alternativas de diseño en base a los conceptos

semánticos de evaluación. En esta fase se podría aplicar un análisis ANOVA y un análisis de comparaciones pareadas con el objetivo de conocer que estímulo difiere significativamente de acuerdo con un concepto semántico específico (Köhler, Falk, & Schmitt, 2014).

Figura 6: Fases de análisis del Espacio de propiedades



Nota: basado en (Köhler, Falk, & Schmitt; 2014)

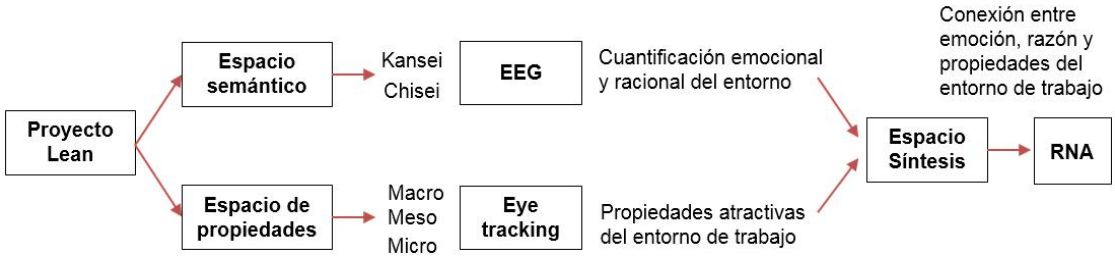
Otro tipo de estudio que se plantea es considerar las trayectorias oculares como un sistema dinámico considerando como variables exógenas los componentes y propiedades de las alternativas de diseño. Esta consideración permitiría estudiar puntos de equilibrio, en este caso puntos de interés de la alternativa de diseño, ligados a la estabilidad de las trayectorias oculares, pues por ejemplo los entornos pueden tener características atractivos y atraer a las trayectorias.

Finalmente, los datos extraídos serán de gran interés para elaborar el briefing de del diseño conceptual a realizar.

6. Conclusión

Definido el espacio semántico y el espacio de propiedades y tras realizar las pruebas por electromiografía y eyetracking el siguiente paso será realizar un modelo matemático-estadístico con base en modelos conexionistas. Se propone utilizar una red neuronal artificial con base en algoritmos genéticos capaz de simular el procesamiento hemisférico y la función del cuerpo calloso como conexión entre hemisferios (kansei y chisei).

Figura 7: Resumen metodológico propuesto



El objetivo es establecer la relación entre la emoción y la razón con las propiedades de diseño del entorno de tal manera que se puedan predecir los valores emocionales y racionales en las propuestas de diseño de puestos de trabajo que se plantean. Con ello se podrán seleccionar las propiedades de diseño del entorno que mejor satisfacen al trabajador y realizar una propuesta con enfoque Lean.

7. Bibliografía

Berghaus, N. (2005). *Eye-Tracking im stationären Einzelhandel. Eine empirische Analyse der Wahrnehmung von Kunden am Point of Purchase*. Dissertation. University of Duisburg-Essen, Germany.

Carretié, L. (2011). *Anatomía de la mente: emoción, cognición y cerebro*. Editorial Pirámide.

Chee, E. (2006). Designing Product Character: Strategy to Evaluate Product Preference and Map Design Direction. Design Research Society. International Conference in Lisbon.

Damaiso, A.R. (1996). *El error de Descartes*. Papermac, London

Hammer, N. & Lengyel, S. (1991). *Identifying Semantic Markers in Design Products: The Use of Eye-Movement Recordings in Industrial Design*. Elsevier Science.

Köhler, M., & Schmitt, R. (2012). Systematic Consumer Evaluation Measurement for Objectified Integration into the Product Development Process. *Advances in Affective and Pleasurable Design*. CRC Press, 503-512.

Köhler, M., Falk, B., & Schmitt, R. (2014). Applying Eye-Tracking in Kansei Engineering Methodology for Design Evaluations in Product Development. KEER2014, International Conference on Kansei Engineering and Emotion Research.

Koivunen, K., Kukkonen, S., Lahtinen, S., Rantala, H. & Sharmin S. (2004). Towards Deeper Understnading of How People Perceive Design in Products. *Proceedings of the Computer in Art and Design Education (CADE)*.

Krippendorff, K. (2006*). The Semantic Turn: A New Foundation for Design*. CRC.

Kukkonen, S. (2005). Exploring Eye Tracking in Design Evaluation. *Proceedings of Joining Forces, International Conference on Design Research*, Helsinki.

Kun-Chieh Wang, Jung-Chin Liang & Yu-Cai Lin (2008). Form Design of CNC Machine Tools using SVM-Kansei Engineering Model Systems. *Man and Cybernetics*.

Lee, S., Harada, A. & Stappers, P. (2002). Design based upon Kansei. *Pleasure with Products: Beyond Usability* (Capítulo 6), Taylor and Francis.

Liu, S.S., & Stout, P.A. (1987). Effects of Message Modality and Appeal on Advertising Acceptance. *Psychology & Marketing, 4*, 167-187.

Nagamachi, M. & Mohd, A. (2015). *Kansei Innovation. Practical Design Applications for Product and Service Development*. CRC.

Picard, R. (1997). *Affective Computing*. Massachusetts Institute of Technology.

Quintero-Gallego, E., Manaut, E., Rodríguez E., Pérez-Santamaria, J. & Gómez, C.M. (2003). Desarrollo diferencial del cuerpo calloso en relación con el hemisferio cerebral. Revista Española de Neuripsicología, 5, 49-64.

Schmitt, R., Quattelbaum, B., & Lieb, H. (2008). Perceived quality as a key factor for strategic change in product development. *IEEE International Engineering Management Conference*, 311-316

Shütte S. (2005). *Engineering Emotional Values in Product Design. Kansei Engineering in Development*. Linköpings Universitet Institute of Technology.

Shütte S. (2006). Developing the Space of Product Properties Supporting Kansei Engineering Procedure. Linköpings Universitet Institute of Technology. *Kansei Engineering International, 5,* 11-19.

Soriano, C., Guillazo, G., Redolar, D.A., Torras, M. & Vale, A. (2007). Fundamentos de Neurociencia. *Editorial UOC*.

Yoshida, T. (1990). The measurement of EEG frequency flctuation and evaluation of comfortableness, Journal of the Acoustical Society of Japan, 46(11), 914–919.

Yoshida, T., & Iwaki, T. (2000). The study of early emotion processing in the frontal area using a two-dipole source model. *Japanese Psychological Research, 42*, 54–68.

03-032

MULTICRITERIA VALUE ANALYSIS FOR POLYMER COMPOSITES SELECTION IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS.

Carod de Arriba, Xavier [1]; González Benítez, María Margarita [2]
[1] Universitat Politècnica de Catalunya, [2] Universitat Politècnica de Catalunya

This study presents a tool for decision making called Multicriteria Value Analysis, used for selection of polymeric materials applied in automotive parts and components. The tool is built from the methodological framework of Analytical Hierarchy Process (AHP), to define a hierarchical structure of criteria based on the concept of value, and then establish the existing preferences among alternatives. Assuming that all possible alternatives should be polymers and composites which meet the preset quality specifications, sure there are differences between these alternatives, like: the rate of weight reduction, mechanical properties, costs material, environmental impacts, etc. Certainly, Multicriteria Decision Analysis methods are the most suitable in this case, because they provide us a holistic point of view of the decision problem. In the present study the methodological framework of Multicriteria Value Analysis is presented. The proposed criteria structure is validated by weighting them for a hypothetical case study.

Keywords: *Multi-Criteria Analysis; Value Analysis; Automotive; Composites; Light weighting.*

ANÁLISIS DE VALOR MULTICRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE COMPUESTOS POLIMÉRICOS EN APLICACIONES DE AUTOMOCIÓN.

En este estudio se plantea una herramienta de ayuda a la toma de decisión a la que denominamos Análisis de Valor Multicriterio, que sirve para la selección de materiales poliméricos aplicados en componentes de automoción. La herramienta aprovecha el marco metodológico del Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP) para establecer una estructura de criterios basada en el concepto de valor, y así establecer preferencias existentes entre las distintas alternativas. Partiendo de la base que todas las posibles alternativas deben ser materiales y compuestos poliméricos que cumplan con las especificaciones de calidad mínimas prestablecidas, seguro que existen diferencias entre dichas alternativas, en cuanto a: la tasa de reducción de peso, sus propiedades mecánicas, los costes del material, los impactos ambientales, etc. Sin duda, los métodos de Análisis Multicriterio son muy indicados, ya que nos proporcionan una visión holística del problema de decisión. En el presente estudio se presenta el marco metodológico de la herramienta de Análisis de Valor Multicriterio. Se procede a la validación de la estructura de criterios mediante la ponderación de los mismos para un hipotético caso de estudio.

Palabras clave: *Análisis Multicriterio; Análisis de Valor; Automoción; Compuestos; Reducción de peso*

Correspondencia: Xavier Carod de Arriba xavier.carod@upc.edu

1. Introducción

La industria de la automoción está dedicando muchos esfuerzos a la reducción de peso en los componentes de sus futuros modelos, siempre tratando de mantener (y, si se puede) mejorar las prestaciones y la calidad de los mismos. Reducir peso es una estrategia de diseño que aporta claramente beneficios en el ciclo de vida del producto (Sharma & Agarwal, 2011; Viñoles Cebolla, et al. 2003), básicamente porque un menor peso significa menos consumo del vehículo y por tanto menores emisiones en la etapa de uso. Actualmente existen varias estrategias para la reducción de peso usando compuestos poliméricos, como pueden ser: la adición de nanopartículas (Wallner et al., 2010), el espumado de las piezas (Hayashi et al, 2010), el uso de mezclas de polímeros (Phiriyawirut, Limwongwatthananan, & Kaemram, 2013), entre otras.

Pese a que todas las posibles soluciones deben satisfacer las especificaciones mínimas marcadas por el decisor para poder ser definidas como alternativas reales, existen diferencias desde un punto de vista funcional entre alternativas, cuando unas satisfacen mejor algunas necesidades que otras y /o aportan algún tipo de valor añadido.

La investigación en nuevos compuestos poliméricos es incesante, y en la actualidad existe un gran sector de crecimiento en el ámbito de la nanotecnología: los denominados nanocompuestos, que son materiales de matriz polimérica que incorporan nanopartículas embebidas en su interior. Según la agencia de estudios de mercado MarketsandMarkets (2015), se estima que el volumen de mercado para los nanocompuestos sea de unos 5.100 millones de dólares en 2020. Por otro lado, la agencia Transparency Markets Research (2013) proyectó unos números similares y además remarcó que, ya en 2011, el 12,8% del mercado de nanocompuestos tenía como uso final la industria de la automoción, y las previsiones apuntan a un crecimiento del uso de nanocompuestos en este sector.

Usar un nuevo compuesto o nanocompuesto en piezas del automóvil puede traducirse en reducciones de peso más o menos importantes, pero no siempre conlleva beneficios desde el punto de vista económico. Medioambientalmente, la reducción de peso suele ser favorable, pero hay que ponderar los otros aspectos que afectan al impacto ambiental de cada alternativa en todo su ciclo de vida, y por lo tanto, en toda su cadena de valor. Particularmente, los nanocompuestos poliméricos presentan un elevado grado de incertidumbre en este sentido, ya sea por falta de datos o incluso por el desconocimiento del metabolismo de las nanopartículas en los seres vivos y su entorno (Luther & Zweck, 2013).

Ante dicha incertidumbre, y con la necesidad de ponderar los aspectos económicos, funcionales y ambientales de cada alternativa, usar métodos de análisis multi-criterio (en adelante MCDA, por sus siglas en inglés) es, a priori, una buena manera de afrontar este problema, ya que en el fondo es un problema de toma de decisión. Se han usado métodos MCDA para propósitos muy distintos dentro del sector de la automoción, incluso se han desarrollado herramientas para la toma de decisión en la adquisición de vehículos (Byun, 2001). También se han desarrollado aplicaciones de métodos MCDA para lo que aquí concierne, que es la selección de materiales (Jeya Girubha & Vinodh, 2012). Justifican el uso de herramientas MCDA para esta finalidad debido a su mayor alcance sobre otros métodos de selección de materiales, como el conocido método Ashby o herramientas como el ACV.

La aproximación preferencial es uno de los métodos MCDA más usados actualmente (Giner-Santonja, Aragonés-Beltrán, & Niclós-Ferragut, 2012) y constituye la base del presente estudio. No obstante, los estudios existentes que usan AHP para la selección de materiales en automoción tienen un marco de actuación muy específico (Hambali et al., 2010; Mansor et al., 2013), y lo que se desarrolla en el presente estudio pretende ser una herramienta con una aplicación más amplia dentro del sector.

2. Objetivos y alcance del estudio

El objetivo principal es el desarrollo de una herramienta de ayuda a la toma de decisión que sea de utilidad para priorizar nuevas alternativas/soluciones que se plantean para futuros proyectos de automoción En concreto, para priorizar entre distintos compuestos y nanocompuestos poliméricos para su aplicación en alguna pieza o componente del vehículo. Se pretende desarrollar una herramienta suficientemente abierta para que pueda ser aplicada en la toma de decisión de distintas piezas o conjuntos, siempre que se trate de materiales poliméricos, compuestos o nanocompuestos.

Poner en la balanza, además de la reducción de peso, los otros criterios funcionales, ambientales y económicos, es crucial para entender de manera holística las repercusiones que puede tener la selección de un compuesto u otro. Cabe destacar que la finalidad de esta herramienta no es tomar una decisión, sino ordenar toda la información i el “know-how” para ayudar a que el individuo o grupo decisor la tome. La herramienta presentada pretende a su vez concienciar al decisor de aspectos determinantes en otros eslabones de la cadena de valor, donde el decisor no interviene directamente, pero donde sus decisiones pueden tener consecuencias para otros actores.

En el presente trabajo se elabora un marco metodológico para el desarrollo de la herramienta, basado en métodos de análisis multicriterio de tipo preferencial e incorporando aspectos relacionados con el valor. Una vez el marco metodológico está establecido, se estructuran y definen los criterios, así como la manera de valorar las alternativas en relación a dichos criterios. Posteriormente se valida la estructura de criterios mediante su ponderación para un caso de estudio hipotético, en el que se quiere comparar entre varios compuestos poliméricos para su aplicación en paneles de puerta. No se analizan alternativas, simplemente se ponderan los criterios para tal fin. El ejercicio de ponderación de criterios permite darse cuenta de deficiencias o incongruencias en la estructuración de criterios y también permite matizar más detalladamente los aspectos que debe contemplar cada criterio definido. Mediante la práctica iterativa de este ejercicio se llega a consensuar la estructura de criterios definitiva, que es la que se presenta en los resultados de este trabajo.

Los actores que toman parte en este análisis son expertos del sector del automóvil, concretamente ingenieros e ingenieras en áreas como calidad, acabados internos y medio ambiente de producto. Dichos actores han participado de la definición y estructuración de criterios, pero sobre todo han contribuido a la validación final de los mismos.

3. Metodología propuesta

La metodología que se presenta se define como Análisis de Valor Multicriterio (en adelante AVM), ya que se trata en realidad de un método de análisis multicriterio que incorpora en su estructura el concepto de valor, como veremos más adelante.

Cabe empezar diciendo que el AVM, tiene sus raíces en la metodología preferencial de Proceso de Jerarquías Analíticas (AHP), desarrollada y evolucionada por T. Saaty (1990) Así que los criterios para la evaluación de alternativas se estructuran jerárquicamente en consecutivos niveles dónde los criterios de nivel inferior dependen de criterios definidos en un nivel superior. Tanto la priorización de los criterios como la evaluación de alternativas se establecen mediante comparación por pares, usando la escala de preferencias propuesta por el mismo Saaty y representada en la figura 1.

Se justifica el uso de la metodología AHP por varios motivos. En primer lugar porque las matrices de comparación por pares se consideran la forma más parecida a como las personas tomamos decisiones en la realidad (Parodi, 2013). Además, la estructuración jerárquica de los criterios permite una fácil comprensión de los aspectos asociados al problema planteado y de las relaciones que existen entre dichos aspectos o criterios.

Figura 1: Escala de preferencia propuesta por T.Saaty (elaboración propia)

Igual de preferente		moderadamente más preferente		Fuertemente más preferente		Muy fuertemente más preferente		Extremadamente más preferente
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Nota: Escala usada en la comparación por pares: entre criterios para valorar su importancia relativa respecto al criterio superior, y entre alternativas para valorar la preferencia sobre un criterio concreto.

Posiblemente, el uso del método de Proceso de Redes Analíticas (ANP), también desarrollado por Thomas Saaty (2004), podría ser una buena alternativa al AHP y ayudar aún más a la comprensión del problema de decisión. No obstante, en este caso se ha desestimado por el contexto en el que se realiza el estudio. Los profesionales del sector de la automoción que han tomado parte en la definición y validación de criterios y que harán uso de la herramienta para la ayuda a la toma de decisiones, no son expertos en métodos de análisis multicriterio. En este contexto el ANP puede resultar bastante complejo, haciendo que la herramienta sea menos atractiva y funcional.

También se ha constatado en estos últimos años, que las metodologías de jerarquías y redes analíticas son las más usadas en problemas de análisis multicriterio. Estudios como el publicado por Kabir, Sadiq, & Tesfamariam (2013), muestran claramente que la publicación de estudios basados en AHP y ANP es muy superior desde inicios del presente siglo, en comparación con otros métodos, como los multiobjetivo o lo los de sobrecalificación.

La estructuración de criterios presentada en este estudio no es cerrada para una toma de decisión concreta. Los criterios definidos pueden adaptarse al análisis de alternativas para cualquier pieza/conjunto cuya composición sea de naturaleza polimérica. Simplemente, en cada caso variará la priorización de criterios debido a la naturaleza del problema y al contexto en el que se tome la decisión, pero en cualquier caso, la definición de los criterios se puede considerar independiente a las alternativas.

Como se indica al inicio del apartado, la metodología propuesta se define como Análisis de Valor Multicriterio debido a la consideración del concepto de valor en dos etapas clave del análisis:

- **En la definición de los criterios de nivel más bajo**, que se realiza teniendo en cuenta los aspectos asociados a lo largo de la cadena de valor del producto, dando lugar, en algunos casos, a criterios compuestos de varios términos, que se valorarán

mediante calificaciones. Esto permite al decisor comprender las consecuencias que su decisión pueda tener sobre otros actores de la cadena de valor.
- En la matriz de ponderación referente al primer nivel de criterios, donde se ponderan los criterios funcionales respecto a los económicos y los ambientales. En este punto se están confrontando los tres términos de la ecuación de valor, mediante los conceptos de valor (función/coste) y de valor ambiental (función/coste + Imp. Ambiental).

Esta perspectiva de cadena de valor del producto ayuda a entender, de forma general, si el valor de una alternativa se transmite y es aceptada por los distintos actores que la componen. Esto se considera crucial para la entrada al mercado de las compuestos y nanocompuestos funcionales de última generación (Wang & Guan, 2012).

4. Definición de criterios

La estructura de criterios aquí presentada es la versión final acordada después de contrastar y refinar con los expertos varias versiones previas de dicha estructuración. A continuación se definen los criterios siguiendo el orden jerárquico, empezando por los del primer nivel, posteriormente los del segundo y finalmente los de tercer nivel. Para los criterios de éste último nivel también se detallará el método de valoración, ya que sobre ellos se van a priorizar las alternativas.

En la figura 2 se puede apreciar la estructura jerárquica de los criterios, en forma de "clusters" y nodos tal y como se ha introducido en el software SuperDecisions®, comúnmente usado para las metodologías AHP y ANP y perfectamente útil en nuestro caso para el AVM. En el escalón más alto de la jerarquía se encuentra el objetivo principal. En nuestro caso se trata de la selección de un compuesto polimérico para paneles puerta de automóvil. Tal como se ha indicado en el apartado anterior, los criterios de primer nivel son tres, y conforman lo que denominamos *matriz de priorización del valor*. Definido de forma más concreta tenemos:

- Criterios Ambientales (A): Grupo de criterios para valorar los efectos sobre el medio ambiente atribuibles a cada alternativa.
- Criterios Económicos (E): Grupo de criterios que contempla todo lo referente al precio de la alternativa y otros aspectos económicos que se pueden ver afectados por la toma de decisión.
- Criterios Funcionales (F): Grupo de criterios cuyo objetivo es sobrevalorar los aspectos funcionales de cada alternativa, tratando de plasmar el valor añadido que puede aportar cada una de ellas.

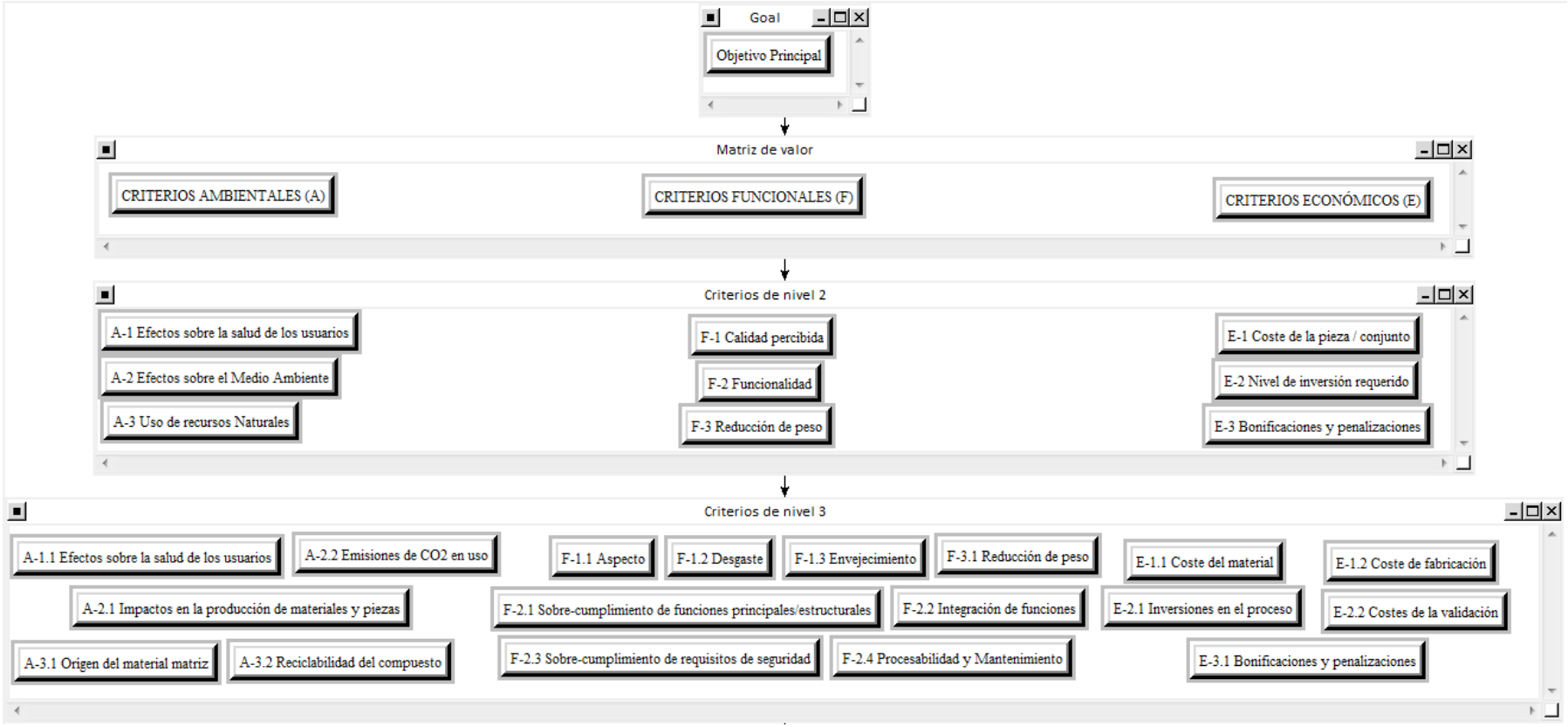
A partir de aquí, los criterios y subcriterios que forman cada uno de estos grupos de criterios han sido definidos con la colaboración de ingenieros del Centro Técnico de SEAT y apelando al conocimiento intercambiado con expertos profesionales de empresas proveedoras, como FAURECIA Automotive Systems o RAVAGO Plásticos, predecesoras en la cadena de valor del producto.

CRITERIOS AMBIENTALES (A)

A-1: Efectos sobre la salud de los usuarios: criterio que valora el posible efecto sobre los usuarios de sustancias nocivas.

Especial énfasis en el caso de nanopartículas y sustancias cuya toxicidad presente algún grado de incertidumbre o falten datos empíricos contrastados al respecto. Todo el peso de este criterio se aplica a un único sub-criterio en el tercer nivel:

Figura 2: Estructuración de criterios del Análisis de Valor Multi-criterio.



Nota: Esta es la estructura jerárquica tal como se ha introducido en el software Superdecisions®, en forma de nodos y “clusters”, para su posterior ejercicio de ponderación.

- *A-1.1: Efectos sobre la salud de los usuarios:* La valoración de alternativas respecto a este criterio, es uno de los puntos más críticos por su incertidumbre. Es posible que para compuestos comúnmente usados en el sector se puedan conocer datos concretos sobre su composición y la toxicidad de los componentes, pero no es así para los materiales de nueva generación entre ellos los nanocompuestos. Por este motivo se propone hacer uso de herramientas de Prevención de Riesgos Laborales (PRL), de tipo cualitativo cuando estos datos no se conozcan o no sean contrastados. Las herramientas desarrolladas estos últimos años como "Stoffenmanager" (Duuren-Stuurman et al., 2012), o "Control Banding Nano-tool" (Zalk, Paik, & Swuste, 2009), pueden ser de gran ayuda para clasificar las alternativas en distintos niveles de riesgo.

A-2: Efectos sobre el Medio Ambiente: Criterio que valora de forma global los efectos ambientales derivados de la aplicación de una alternativa u otra. En este criterio se definen dos subcriterios:

- *A-2.1: Impactos en la producción de materiales y piezas:* valoración de impactos ambientales de las etapas previas a la fase de uso. En caso no disponer de datos fiables para la evaluación, se puede comparar el potencial de reducción del consumo energético en fases productivas debido a los requisitos de procesado propios de cada compuesto.
- *A-2.2: Emisiones de CO2:* Comparativa de las emisiones de CO2 en la vida útil del vehículo (150.000 km) atribuibles al peso de la pieza/conjunto, en función del compuesto del que esté formado.

A-3: Uso de recursos Naturales: conjunto de criterios que valoran el origen y el destino de la materia usada.

- *A-3.1: Origen del material matriz:* Valora positivamente aquellos compuestos cuya matriz se compone (parcial o totalmente) de algún polímero de origen renovable o bien sea de polímero reciclado
- *A-3.2: Posibilidad de Reciclaje del compuesto:* Valora positivamente aquellos compuestos cuya matriz es reciclable, así como la facilidad de separación de la pieza para su procesado en los VFU.

CRITERIOS ECONÓMICOS (E)

E-1: Coste de la pieza / conjunto: Grupo de criterios que valora los costes directos asociados a la pieza /conjunto. Obviamente, se priorizan las alterativas que minimicen los costes.

- *E-1.1: Coste del material*: Coste (€/kg) del material.
- *E-1.2: Coste de fabricación:* Coste atribuible a los procesos de transformación por kg producido o por pieza. Uno de los parámetros que puede ayudar en la comparación de alternativas es el tiempo del ciclo de inyección de la pieza. Considerar también el coste del procesado / reciclado al final de la vida útil.

E-2: Nivel de inversión requerido: Grupo de criterios que valora el nivel de inversión requerido para la obtención de la Pieza / conjunto

- *E-2.1: Inversiones en el proceso:* Necesidad de inversiones en equipos nuevos o modificaciones de los procesos productivos (nuevos procesos, aplicación de medidas

de PRL,…) para garantizar: la correcta producción del compuesto, la correcta producción de piezas y el correcto procesado al fin de su vida útil.
- *E-2.2: Costes de Validación del material:* Inversión requeridas para la realización de ensayos de caracterización, validación y liberación del material por parte del departamento de calidad del fabricante.

E-3: Bonificaciones y penalizaciones: Grupo de criterios que valora los aspectos económicos asociados al cumplimiento o al incumplimiento de estándares legales y/o normativas internas. Todo el peso de este criterio se aplica a un único sub-criterio en el tercer nivel:

- *E-3.1: Bonificaciones y penalizaciones:* Si los hay, hay que contemplar posibles costes de sanciones por el incumplimiento de normativas. Del mismo modo que, si existen, los ingresos adicionales por el cumplimiento de objetivos u otro tipo de bonificaciones pueden jugar un papel importante a la hora de preferir una alternativa a otra.

CRITERIOS FUNCIONALES (F)

Para la valoración de alternativas respecto los criterios funcionales, habrá que pensar en la pregunta: ¿cuánto mejor son las prestaciones respecto al mínimo establecido por el decisor? En el sector de la automoción, como en muchos otros, una posible solución debe cumplir unas especificaciones mínimas de funcionalidad para que se pueda considerar una alternativa real. Por tanto todas las alternativas a comparar responden a estas necesidades mínimas establecidas por el decisor, de modo que se tratará de sobrevalorar las alternativas respecto a los criterios que se describen a continuación.

F-1: Calidad percibida: Grupo de criterios para priorizar por sobrevaloración lo relacionado con la percepción de calidad de la pieza / conjunto, y que se deba a la naturaleza del propio material. Se pueden relacionar fácilmente los términos que componen estos criterios con propiedades y características medibles del material, cosa que podría llevarnos a asumir una preferencia lineal de las alternativas en función del valor medido de las propiedades físico-químicas. No obstante, como los criterios se componen de más de una característica, se recomienda usar calificaciones para la comparación.

- *F-1.1: Aspecto:* Calidad aparente del producto entregado en cada eslabón de la cadena de valor. Eso incluye: calidad de la granza del compuesto (especialmente en temas de ajustes de color) y la calidad aparente de las piezas inyectadas con el compuesto (concordancia en color, brillo y grabado respecto lo deseado). También contempla la aparición de deformaciones, errores de franquicias y tolerancias durante la fase de montaje.
- *F-1.2: Desgaste:* Resistencia al desgaste y a la abrasión producida por fricciones, así como la resistencia a sustancias químicas.
- *F-1.3: Envejecimiento:* Este criterio valora la correcta estabilización del compuesto en su síntesis, cosa que previene el envejecimiento prematuro y las degradaciones del material debido a los procesos transformación. Otro aspecto muy importante que incluye este criterio es el envejecimiento del material por acción de la humedad, la temperatura y la radiación solar, que en algunos casos puede provocar la pérdida de calidad percibida o funcionalidad con el tiempo.

F-2: Funcionalidad: Grupo de criterios que sobrevalora la funcionalidad de cada alternativa. Partiendo de la base que todas las alternativas bajo estudio cumplen las prestaciones

mínimas establecidas por el decisor, cabe priorizar las alternativas respecto al sobre-cumplimiento de los siguientes criterios:

- *F-2.1: Sobrecumplimiento de funciones principales / estructurales*: Satisfacción de necesidades estructurales y mecánicas de la alternativa. Se priorizarán las alternativas con mejores propiedades mecánicas.
- *F-2.2: Integración de funciones:* Satisfacción de funciones secundarias o complementarias por parte de cada alternativa. Existen muchas funciones, como puedan ser: confort, aislamiento, elegancia, mayor usabilidad,… que aportan valor añadido a una alternativa. Por tanto se priorizarán aquellos compuestos que integren mayor cantidad de funciones en su aplicación.
- *F-2.3: Sobrecumplimiento de requisitos de seguridad:* Se valoran las aportaciones de cada alternativa en aspectos de seguridad (activa o pasiva), más allá del mínimo obligado por ley. Se priorizarán aquellos compuestos con mejores propiedades de resistencia a impacto. Otro aspecto que se debe tener en cuenta al hablar de seguridad y compuestos poliméricos es su capacidad de resistencia a la combustión, medible mediante ensayos específicos. En este sentido, una menor propagación de llama se traduce en una mayor prioridad.
- *F-2.4: Procesabilidad y Mantenimiento:* Este criterio valora, por un lado, la amabilidad del compuesto con el método de fabricación. Esto se estipula considerando la complejidad que ofrece cada compuesto para un mismo proceso de transformación en la producción de piezas. Por otro lado, el mantenimiento juega un papel importante a lo largo de la cadena de valor. Cabe considerar la influencia de cada material en la degradación de moldes u otros equipos. Pero también las necesidades de mantenimiento, recambio e incluso la facilidad de limpieza durante el uso del vehículo.

F-3: Reducción de peso: Criterio establecido para valorar la reducción de peso de la pieza o conjunto para cada alternativa. Todo el peso de este criterio se aplica a un único sub-criterio en el tercer nivel:

- *F-3.1: Reducción de peso:* Reducción de peso de la alternativa (masa reducida o % de reducción de peso) respecto a la solución análoga aplicada en el último modelo en producción. Este criterio sí se puede valorar de una forma directa, ya sea mediante la masa reducida por pieza o bien comparando las densidades de cada compuesto polimérico.

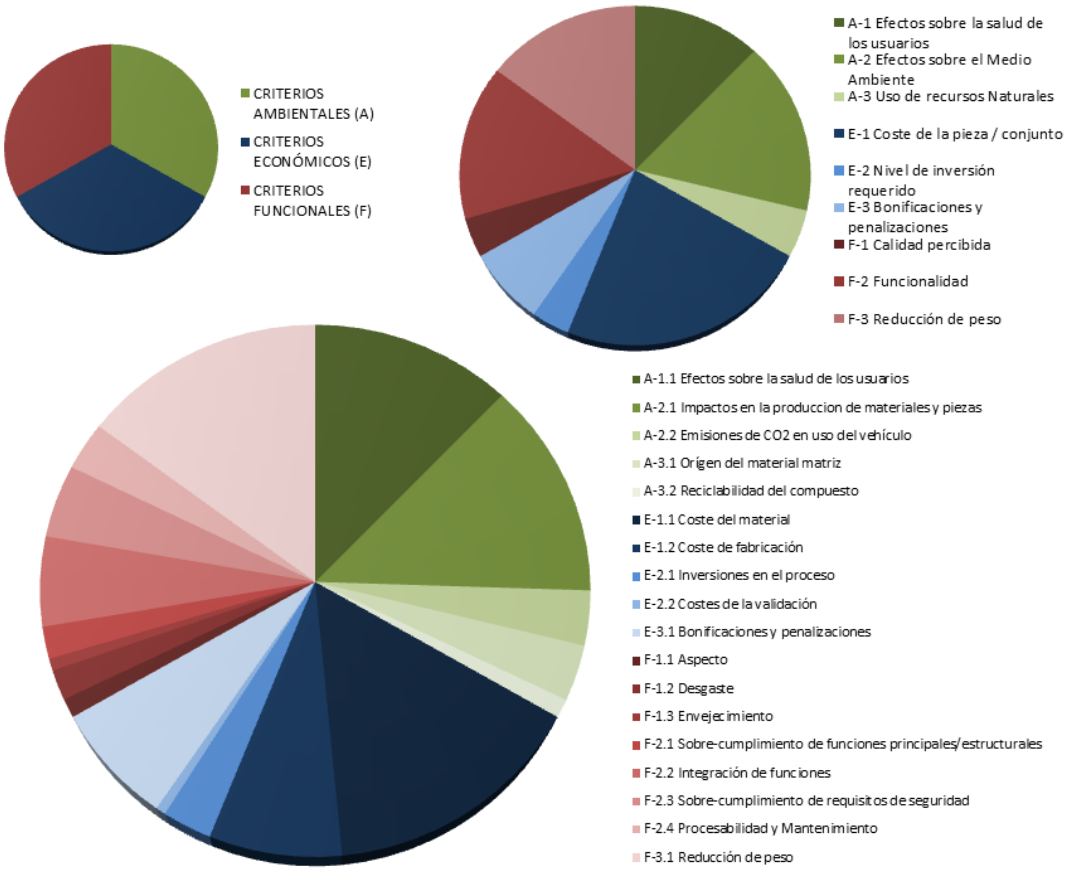
5. Validación y ponderación de criterios

Como se ha indicado en el alcance de este estudio, la estructura de criterios presentada en el apartado anterior ha sido validada por un grupo de expertos del sector de la automoción. Para tal fin, se ha procedido a la ponderación de los criterios para la selección de compuesto polimérico en paneles puerta del vehículo. El procedimiento seguido ha sido el de decisión por consenso, realizando el ejercicio de ponderación con todos los actores presentes, discutiendo y argumentado cada opinión personal para llegar a consensuar las preferencias del grupo. Las preferencias consensuadas se han introducido en el software SuperDecisions®, usando la estructura de criterios presentada en la figura 2, y los resultados de la ponderación se presentan gráficamente en la figura 3.

Se puede observar que, en este caso, el grupo decisor ha optado por dar la misma preferencia a los tres componentes de la matriz de priorización del valor (criterios de primer nivel). De modo que los aspectos funcionales, los ambientales y los económicos tienen el

mismo peso. Dentro de cada grupo, el reparto de pesos en los criterios del segundo y el tercer nivel jerárquico sigue una cierta lógica teniendo en cuenta que el caso hipotético de estudio es la selección de compuesto polimérico para la producción de paneles puerta. Dado que los paneles puerta son piezas grandes y, en la actualidad, con un peso superior a los 2 kg, tanto el potencial de reducción de peso (fruto de la densidad del compuesto alternativa) como el precio del material son los dos criterios que más peso tienen.

Figura 3: Resultado de ponderación de la estructura de criterios AVM para la selección de un compuesto pasa su aplicación en paneles puerta de vehículos.



Nota: Arriba a la izquierda, preferencias en la matriz de valor. Arriba a la derecha, ponderación de criterios del segundo nivel. Abajo, ponderación de criterios del tercer nivel. Todos ponderados respecto al objetivo principal.

En lo referente a criterios funcionales, después de la reducción de peso, el criterio que tiene más preferencia es el de integración de funciones, ya que es lo que históricamente ha aportado valor añadido al uso de compuestos poliméricos en automoción. Con las actuales y avanzadas técnicas de transformación y con el uso creciente de nanopartículas, todavía se prevé que dicha integración de funciones siga siendo un pilar fundamental en el crecimiento de mercado de materiales poliméricos. Por contrapartida, este uso de nuevos aditivos poco conocidos y cuya toxicidad todavía está en proceso de estudio, hace que desde una perspectiva ambiental, criterios como los efectos sobre la salud de los usuarios y los efectos sobre el medio ambiente en general, asuman un peso importante (28,8% del total).

En este caso de estudio, otros criterios, como los referentes al sobrecumplimiento de funciones o a los procesos de fabricación no tienen tanto peso, dado que la diferencia entre las posibles alternativas en este sentido tampoco es muy determinante.

6. Conclusiones y trabajos futuros.

El marco metodológico del Análisis de Valor Multicriterio presentado en este trabajo es exactamente el mismo que en el caso de la metodología preferencial del proceso de jerarquías analíticas (AHP). La incorporación del concepto de valor en el análisis tal como se ha descrito permite, por un lado, la comprensión holística de los efectos que puede tener la decisión a tomar sobre los actores decisores pero también sobre otros actores de la cadena de valor. Por otro lado, el decisor puede aportar su subjetividad a la hora de entender el valor, jugando con la preferencia de sus tres componentes (función, coste y medio ambiente), cuando tiene que ponderar los criterios del primer nivel.

La estructura de criterios propuesta ha sido finalmente validada por expertos cuyos puntos de vista han sido consensuados durante varios encuentros. Esto da valor a la herramienta, que ha resultado interesante para los propios expertos, que aseguran que es la manera cómo deberían decidirse las cosas. Decir también que los objetivos iniciales contemplaban el desarrollo de una herramienta abierta que pudiera ser aplicable a la selección de materiales en distintas piezas o componentes, y realmente es así. La estructura propuesta es válida para cualquier aplicación, simplemente hay que realizar la ponderación de criterios que sea oportuna en cada caso. Es más, posiblemente la herramienta pueda ser extrapolable a otro tipo de materiales no poliméricos, simplemente modificando ligeramente la definición de algunos criterios.

Para concluir la validación de la herramienta AVM, ésta debe aplicarse a un caso de estudio real. Esto significa aplicar el AVM para la comparación de distintos compuestos poliméricos para una pieza concreta, y que la herramienta sea usada por el Set de ingenieros responsables de dicha pieza. Este trabajo ya se está planificando con los grupos de ingenieros en el departamento de Acabados Internos del Centro Técnico de SEAT, y se espera tener los resultados y la validación final en los próximos meses.

7. Agradecimientos

Agradecer a todos los ingenieros e ingenieras del Centro Técnico de SEAT y del departamento de Calidad de SEAT que han contribuido con sus conocimientos y valoraciones al desarrollo de este estudio, y por consecuencia a la validación de la herramienta de Análisis de Valor Multicriterio aquí presentada.

8. Referencias

Byun, D. H. (2001). The AHP approach for selecting an automobile purchase model. *Information and Management*, *38*, 289–297. doi:10.1016/S0378-7206(00)00071-9

Duuren-Stuurman, B. Van, Vink, S. R., Verbist, K. J. M., Heussen, H. G. a, Brouwer, D. H., Kroese, D. E. D., … Fransman, W. (2012). Stoffenmanager nano version 1.0: Aweb-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects. In *Annals of Occupational Hygiene* (Vol. 56, pp. 525–541). doi:10.1093/annhyg/mer113

Giner-Santonja, G., Aragonés-Beltrán, P., & Niclós-Ferragut, J. (2012). The application of the analytic network process to the assessment of best available techniques. *Journal of Cleaner Production*, *25*, 86–95. doi:10.1016/j.jclepro.2011.12.012

Hambali, A., Sapuan, S. M., Ismail, N., & Nukman, Y. (2010). Material selection of polymeric composite automotive bumper beam using analytical hierarchy process. *Journal of Central South University of Technology*. doi:10.1007/s11771-010-0038-y

Hayashi, H., Mori, T., Okamoto, M., Yamasaki, S., & Hayami, H. (2010). Polyethylene ionomer-based nano-composite foams prepared by a batch process and MuCell® injection molding. *Materials Science and Engineering C*, *30*(1), 62–70. doi:10.1016/j.msec.2009.08.009

Jeya Girubha, R., & Vinodh, S. (2012). Application of fuzzy VIKOR and environmental impact analysis for material selection of an automotive component. *Materials and Design*, *37*, 478–486. doi:10.1016/j.matdes.2012.01.022

Kabir, G., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2013). A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering*, *10*(November), 1176–1210. doi:10.1080/15732479.2013.795978

Luther, W., & Zweck, A. (2013). *Safety Aspects of Engineered Nanomaterials*. Pan Stanford. Retrieved from http://books.google.es/books?id=FZsAAAAAQBAJ

Mansor, M. R., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S., Nuraini, a. a., & Hambali, a. (2013). Hybrid natural and glass fibers reinforced polymer composites material selection using Analytical Hierarchy Process for automotive brake lever design. *Materials and Design*, *51*, 484–492. doi:10.1016/j.matdes.2013.04.072

MarketsandMarkets. (2015). Polymer Nanocomposites Market by Type, by Application, and by Region - Trends. Retrieved from http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/polymer-nanocomposites-market-228956069.html

Parodi, V. (2013). *Propuesta metodológica para la evaluación integral de proyectos del sector energético*. Universidad Politécnica de Valencia.

Phiriyawirut, M., Limwongwatthananan, T., & Kaemram, S. (2013). Natural Rubber / Fluoro Elastomer Blends : Effect of Third Component on Cure Characteristics , Morphology , Mechanical Properties , and Automotive Fuel Swelling, *2013*(November), 79–85.

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, *48*(1), 9–26. doi:10.1016/0377-2217(90)90057-I

Saaty, T. L. (2004). Fundamentals of the analytic network process — multiple networks with benefits, costs, opportunities and risks. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*. doi:10.1007/s11518-006-0171-1

Sharma, V., & Agarwal, V. (2011). Polymer composites sustainability: environmental perspective, future trends and minimization of health risk. In IPCBEE vol.4 (Ed.), *2nd International Conference on Environmental Science and Development* (Vol. 4, pp. 259–261). Singapore: IACSIT Press, Singapore. Retrieved from http://www.ipcbee.com/vol4/56-ICESD2011D30009.pdf

Transparency Markets Research. (2013). Nanocomposites (Carbon Nanotubes, Polymer Metal Fiber, Nanofibers, Graphene, Nanoplatelet and Others) Market for Automotive, Aviation, Electronics, Energy, Construction, Healthcare, Plastics, Military, Consumer Goods and Other Applications - Global Indust. Retrieved from http://www.transparencymarketresearch.com/nanocomposites-market.html

Viñoles Cebolla, R., Bastante Ceca, M. J., López García, R., Vivancos Bono, J. L., & Capuz Rizo, S. (2003). ANÁLISIS DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE UN AUTOMÓVIL, A LO LARGO DE SU CICLO DE VIDA. In AEIPRO (Ed.), *International congres on Project Engineering* (pp. 557–565). Pamplona: AEIPRO. Retrieved from http://aeipro.com/files/congresos/2003pamplona/ciip03_0557_0565.2207.pdf

Wallner, E., Sarma, D. H. R., Myers, B., Shah, S., Ihms, D., Chengalva, S., … Dykstra, C. (2010). Nanotechnology Applications in Future Automobiles. *SAE International*. doi:10.4271/2010-01-1149

Wang, G., & Guan, J. (2012). Value chain of nanotechnology: a comparative study of some major players. *Journal of Nanoparticle Research*, *14*(2), 702. doi:10.1007/s11051-011-0702-7

Zalk, D. M., Paik, S. Y., & Swuste, P. (2009). Evaluating the Control Banding Nanotool: A qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures. *Journal of Nanoparticle Research*, *11*(7), 1685–1704. doi:10.1007/s11051-009-9678-y

03-033

STATE OF THE ART OF SUSTAINABLE LCA OF PRODUCTS WITH STEP PERSPECTIVE

de Las Heras García de Vinuesa, Ana [1]; Marcos Bárcena, Mariano [2]; Aguayo González, Francisco [1]; Lama Ruíz, Juan Ramón [1]; Ávila Gutiérrez, María Jesús [1]

[1] Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla, [2] Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Cádiz

In this paper, a literature review about the Sustainability Life Cycle Analysis (SLCA) Product is done seamlessly on the Social Dimension, Economy Dimension and Environment Dimension and its projection in the Standard IS0 10303. Starting on the concept of sustainability and how it influences into the SLCA of products, the study is performed articulating the state of art of synergy of both concepts and how the triple E addresses the aspects necessary for global sustainability of products in the process of design and product development. Given the amount of information generated and transmitted in the process of design and product development, ISO 13030 sets the standard STEP for the exchange of product model data. This standard is divided into different protocols as at different stages. That is why we propose to analyze the interest and establish an overview of the research and models related to the integration of SLCA and STEP.

Keywords: *SLCA; Sustainability; STEP; design and product development;*

ESTADO DEL ARTE DEL ACV SOSTENIBLE DE LOS PRODUCTOS BAJO LA PERSPECTIVA STEP

En el presente trabajo se realiza un estudio bibliográfico referido al Análisis de la Sostenibilidad del Ciclo de Vida (ASCV) del producto de forma integrada en las dimensiones Social, Economía y Ambiental y de su proyección en la Norma IS0 10303. Partiendo del concepto de sostenibilidad y cómo ésta influye en el ASCV de los productos, se realiza el estudio articulando el estado del arte de la sinergia de ambos conceptos y cómo la triple E aborda los aspectos necesarios para una sostenibilidad global de productos en el proceso de diseño y desarrollo. Dada la cantidad de información que se genera e intercambia en el proceso de diseño y desarrollo de productos, la ISO 13030 establece el estándar STEP para el intercambio de datos del modelo del producto. Este estándar se articula en diferentes protocolos referidos a distintas etapas del proceso. Es por esto, que se propone analizar el interés y establecer una perspectiva de las investigaciones y modelos referentes que integre ASCV y STEP.

Palabras clave: *ASCV; Sostenibilidad; STEP; diseño y desarrollo de productos;*

Correspondencia: Ana de las Heras García de Vinuesa adelasheras@us.es anahgv@gmail.com

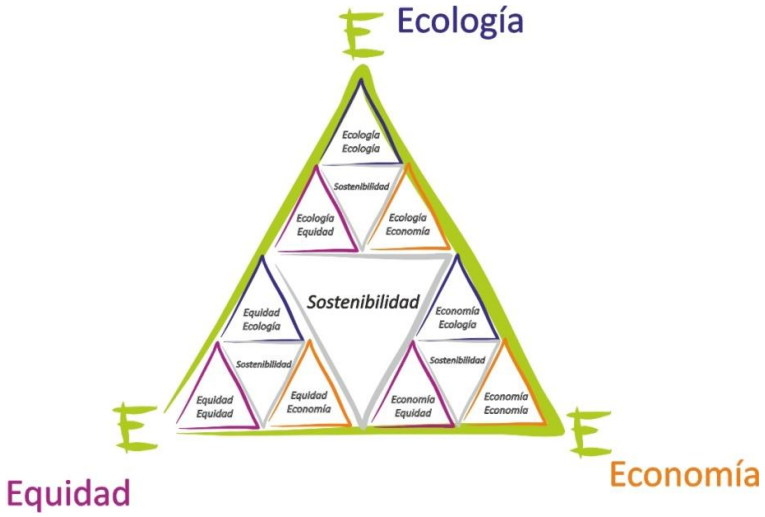
1. Introducción

La expansión industrial y la fabricación ha alterado profundamente los sistemas sociales, creando nuevos bienes, dinamizando los sistemas de fabricación y las tecnologías asociadas, diversificando los patrones de consumo, introduciendo nuevas necesidades, alterando las estructuras económicas, sociales y políticas y, fundamentalmente, acelerando el proceso de expansión económica a nivel mundial (Rodríguez 2008).

En la naturesfera se ha instaurado una dinámica de aporte de contaminantes cada vez mayor que, no es capaz de absorber lo que ha estimulado el nacimiento de la política ambiental (Eliceche, Corvalán 2007), y por lo tanto el desarrollo de metodologías de evaluación ambiental con el fin de reducir la huella ambiental del producto en todo su ciclo de vida (Jolliet et al. 2003, Jolliet et al. 2005, Telenko et al. 2008). Esta conciencia de preocupaciones ambientales ha llevado a la industria de fabricación a ser proactivo en el diseño de nuevos productos, mejorar los ya existentes y desarrollar procesos de fabricación más limpios (Harold, Ogunnaike 2005) orientado bajo el desarrollo sostenible..

La definición actual de sostenibilidad data del 1987 cuando se formalizó en el Informe Brundtland (Graedel, Allenby 2009, Bermejo 2001)) por parte de una comisión encabezada por la doctora G.H. Brundtland con participación de las distintas naciones para la ONU. “La sostenibilidad o desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones”. Este giro del desarrollo implica un cambio muy importante en cuanto a la idea de sostenibilidad ya que enfatiza en la dimensión Ecológica, introduciendo las nuevas dos dimensiones, Economía y Equidad (social) que crearán la triada más significativa y sobre la que se formulan nuevos conceptos conocida como la triple botton line donde se atiende por igual a las tres dimensiones. La representación de este concepto tiene un carácter fractalizado, focalizando la relación entre los tres conceptos en cada uno de los ejes (figura 1).

Figura 1: Gráfico de la Sostenibilidad. Triple E.



Nota: Elaboración propia.

Tras el giro del objetivo central de la sostenibilidad donde la forma de materializar el concepto versa alrededor de los tres ejes de forma equitativa, van surgiendo una serie de metodologías orientadas a la minimización de impactos sobre el medioambiente cuyo punto más representativo es el Análisis del Ciclo de Vida. Es una herramienta metodológica que

sirve para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida).

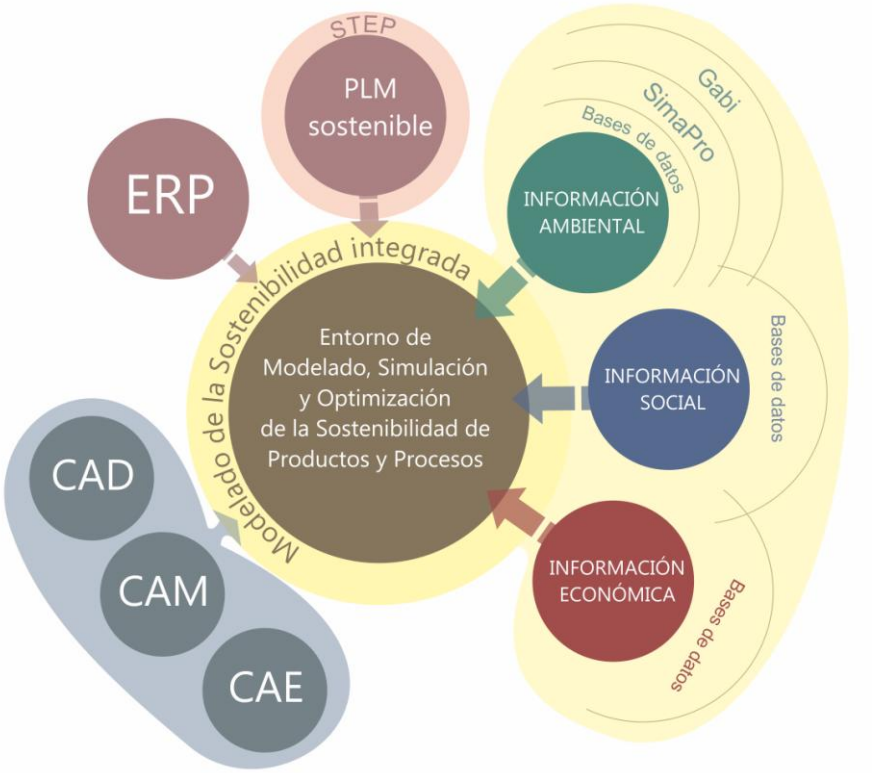
Se basa en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del sistema para obtener unos resultados que muestren sus impactos ambientales potenciales, con el objetivo de poder determinar estrategias para la reducción de los mismos.

2. Objetivos

El objetivo principal de la presente comunicación se incardina en el contexto la creación de un *Entorno de Modelado, Simulación y Optimización de la Sostenibilidad en Productos y Procesos*. El objeto del modelo es formular un entorno de trabajo donde modelar la sostenibilidad integrada en los productos y procesos de fabricación teniendo como base la información arrojada por el análisis del ciclo de vida desde un enfoque integrado bajo el marco de la triple E donde se identifican los impactos de los tres ejes de la sostenibilidad.

El proceso de diseño y desarrollo de productos se lleva a cabo a través de softwares de diseño CAD/CAE/CAM. En dicho proceso existe un intercambio regulado por la normativa ISO 10303, concretamente con las AP203, 214, 224, 240 y 238 que componen el área de aplicación de protocolos de transferencia de datos en todo el proceso de diseño y manufactura de piezas, respaldado por la gestión de un sistema PLM (ingeniería concurrente) (Ye, Zhang 2013) por lo que, la unión de todos los componentes se observa la interacción entre ellos y el punto de partida para un planteamiento preliminar de modelo.

Figura 2: Entorno de Modelado, Simulación y Optimización de la Sostenibilidad.



Nota: Elaboración propia.

Debido a los diferentes actores que intervienen en el planteamiento del modelo, se parte del estado del arte de cada uno de ellos, es decir, un estudio bibliográfico articulando la sinergia que existe entre el ACV, la triple E, el proceso de diseño y desarrollo de productos con la aplicación de la norma ISO 10303 y aplicaciones de ACV y sostenibilidad que están incorporando los entornos de CAD/CAE/CAM.

3. Desarrollo

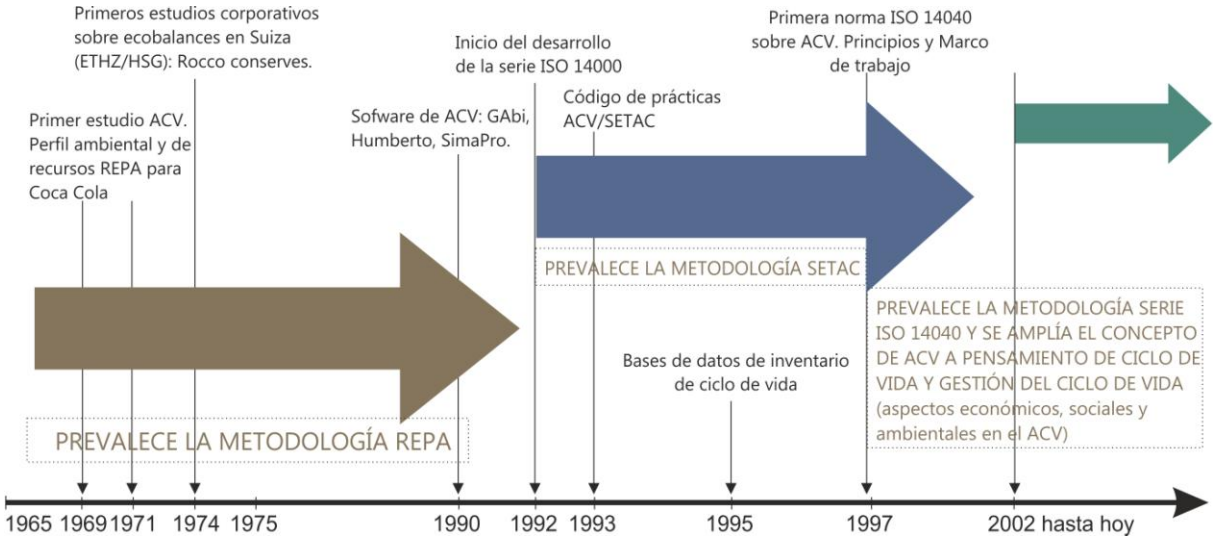
Para abarcar con mayor precisión el panorama actual de las investigaciones y los recursos disponibles en las áreas que se proponen como escenario de modelado, se dividen en dos análisis bibliográfico y técnico con lo que, poder dibujar un mapa de oportunidades de investigación donde desarrollar la propuesta preliminar de trabajo. Como primer bloque se encuentra el estado del arte del ACV y, como segundo bloque, se analizan las herramientas CAD/CAE/CAM que poseen mayor inclusión en la industria de fabricación y cómo éstas están preparadas para el intercambio de datos a nivel analítico y en aspectos de sostenibilidad, siempre bajo la perspectiva ISO 13030 para el intercambio de datos.

3.1 ACV

El concepto de ecología industrial (EI) (Seager, Theis 2002) representa una visión integrada del impacto ambiental de los sistemas industriales, donde una planta industrial no es analizada aisladamente, sino como parte de un conjunto de manera análoga a como una especie es estudiada por los ecólogos como parte de un ecosistema (Graedel, Allenby 2009). No obstante, a veces es necesario considerar el ciclo de vida completo (dimensión temporal) de un producto o una actividad, frente a una perspectiva más centrada en el control de las fuentes de emisión. Esta filosofía de ciclo de vida considera que todas las etapas involucradas en el ciclo de vida de un producto/actividad tienen una responsabilidad en las consecuencias ambientales del mismo y, por lo tanto, un papel que jugar (UNEP 2013).

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) está formado por 4 fases: Definición de objetivos y alcance del estudio, Análisis de inventario, Evaluación de impacto e Interpretación de resultados (Baumann, Tillman 2004). Desde que en 1969 se publica el primer ACV de un producto con perfil ambiental y de recursos ha sufrido una transformación en cuanto a la orientación y finalidad de éste. Mientras que en su primera fase, hasta los años 90, prevalece la metodología REPA (Resources and Environmental Profile Analysis) (Ayres 2005) donde se cuantificaban los recursos y las descargas ambientales de los productos, hasta que aparecen los softwares de ACV que hoy en día se utilizan, SimaPro, Humberto, GAbi o TEAM, y que supusieron el mayor avance en este tipo de análisis gracias a la conexión con las primera bases de datos de los impactos y sus categorías que estandarizaban y agilizaban el trabajo así como facilitaban los cálculos de todos los elementos. Tras este desarrollo, se comienza una etapa donde prevalece el "cómo hacer un ACV" gracias al desarrollo de la metodología SETAC (SETAC 1993) y por ello se inicia el desarrollo de la serie ISO 14000 que comienza con los Sistemas de Gestión Ambiental y, posteriormente saldrá a la luz la ISO 14040 de los principios y marco de trabajo del ACV.

Figura 3: ACV en el tiempo



Nota: Fuente: Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV). Chacón Vargas, Jairo.

En cuanto a las metodologías de ACV, pueden incluir modelos de puntos medios y/o de puntos finales (Hauschild et al. 2009). Los modelos de puntos medios "mindpoint" analizan los efectos intermedios al planeta, es decir, todas aquellas categorías de impacto ambiental más cercanas a la intervención ambiental pero que no analizan el daño que provocan a los "habitantes o elementos" del planeta siendo la metodología CML2001 (Guinée et al. 2009) la más representativa y utilizada en la evaluación de ciclo de vida de productos y fabricación. En cambio, los modelos de "endpoint" analizan los efectos finales que provocan sobre los habitantes/elementos del planeta la fabricación del producto. Su metodología por excelencia es Ecoindicador ´99 (Goedkoop et al. 2001, Goedkoop et al. 2000). Éstos indicadores son los más utilizados en las investigaciones de ACV ya que su interpretación es muy sencilla: cuanto mayor sea el indicador, mayor es el impacto asociado. Cabe destacar la metodología RECIPE, que agrupa amabas perspectivas y cuyo estudio está extendido en muchos sectores: químico, mecánico,.. (Dreyer et al 2003).

Numerosos trabajos se apoyan en esta metodología que convierte el ACV de producto en pensamiento ampliando la perspectiva más allá de los aspectos ambientales (Heijungs 2009, Jogesen et al. 2013, Segun, Kara 2014, Alblas, Wortmann 2012, Van der Giesen et al 2013). Se trata de la conciencia donde el diseño, desarrollo y fabricación del producto adquiere la perspectiva de la sostenibilidad albergada en los tres pilares: Ecología, Economía y Equidad (Dimensión Social). La prioridad comienza a verse reflejada en que estos tres ejes deben tratarse con igual peso en los análisis ya que aportan una perspectiva global y fractalizada en cada uno de ellos (Aguayo et al. 2011). Desde el punto de vista de la dimensión ambiental del ACV lo que más predominan son metodologías de aplicación de este análisis a técnicas de mejora energética en el proceso de fabricación. Así mismo, centrados en el mecanizado existen algunos métodos desarrollados que influyen en el rediseño de los fluidos utilizados en las máquinas de corte o en el impacto y reciclaje del material utilizado para la fabricación (Despeisse et al. 2013).

En los últimos años, alrededor de la unión de éstos dos conceptos: ACV y Triple E (Sostenibilidad) surgen los primeros trabajos donde de lleva a cabo el S-ACV (Análisis Social del Ciclo de Vida) o el E-ACV (Análisis Económico del Ciclo de Vida) sin aparentemente relación, es decir, no incluyen ambos análisis integrados aunque en una lectura algo más profunda de los estudios, la salud ocupacional, la prevención de riesgos o la organización en una planta hacen que exista una relación entre ellos a través del

concepto de sistemas de sistemas integrados de gestión ISO 14001, ISO 9001, OHSA 18001. En el primero de ellos, se adquieren unas categorías de impacto relacionadas con: trabajadores, comunidad local, consumidores y cadena del valor (Macombe 2011, Jorgesen et al. 2008, Reianger et al. 2011, UNEP/SETAC 2009, UNEP/SETAC 2009). Se tienen en cuenta impactos que afectan a las personas que fabrican, consumen o distribuyen los productos. Existen varios métodos de implementación de este modelo (Weidema 2005, Norris 2014, Oki, Sasaki 2000, Santana et al. 2010) que trabajan en la relación social de los sistemas de fabricación. Catalogan los stakeholders de donde obtienen la información y los datos así como los impactos en referencia a la guía elaborada por la SETAC de 2009 pero no tienen una base de impactos tipificados y estandarizados que puedan estar conectados con un software en la misma línea que el ACV ambiental y que, por tanto, que reflejen el estado social del ACV del producto.

De la misma manera, el E-ACV adquiere categorías de impacto relacionadas con la inversión, beneficios y fabricación de los productos (Norris 2005, Weidema 2006). En cuanto a la integración de los aspectos económicos con el ambientales supone uno proceso con mayor proyección en la investigación en la actualidad ya que existen métodos de fabricación que evalúan los riesgos ambientales y económicos obteniendo resultados integrados estimando los costes de los daños ambientales asociados a la fabricación de los productos, obteniendo líneas de actuación en ambas perspectivas (De Felice et al. 2013, Earles et al. 2013, Nakamura 2007, Palousis et al. 2008, Schultmann et al. 2001, Kin et al. 2011)

3.2 Herramientas CAD/CAE/CAM. Intercambio de datos en el ciclo de vida del producto. PLM/STEP

El diseño y desarrollo de productos tiene un significado amplio y técnico: el desarrollo del producto, la relación entre el producto y su usuario, el estudio de su proceso de producción, considerando su ciclo de vida. Por consiguiente, el diseño de un producto es el resultado del análisis de todas las características de diseño que definen el producto en sí.

Hoy en día el diseño y desarrollo de nuevos productos o la modificación de los existentes se ha convertido en un elemento clave y fundamental para la mejora de la capacidad de innovación y competitividad de las empresas industriales.

Cada vez más el “diseño” de los productos es el único elemento que diferencia a un producto innovador de otro que no lo es. Hasta hace poco tiempo, el proveedor fabricaba bajo plano para sus clientes, por ejemplo en sectores tales como automoción o aeronáutica, mientras que en la actualidad, son más comunes los casos en los que el proveedor debe responsabilizarse del diseño e ingeniería de conjuntos completos y módulos que agrupan diferentes funciones.

Dado que actualmente resulta necesario ofrecer productos de mayor valor añadido, es prácticamente imprescindible adquirir, desarrollar y aplicar eficazmente tecnologías de apoyo a la función de diseño e ingeniería.

Son las herramientas CAD/CAE/CAM/PLM las que soportan todo el ciclo de vida de producto en el diseño, estructura, intercambio de datos, creación de planos. experiencias de producción, simulaciones, prototipos, render,... y todos los elementos necesarios para que una necesidad de la que parte la creación de un producto, pueda ser concebida, diseñada, desarrollada, producida, distribuida y usada con el cliente final.

Cada una de las fases de diseño y desarrollo del producto implica unas herramientas concretas que ayudan y dan soporte a las necesidades de éstas. Es, por tanto, necesario destacar los softwares más destacados y usados que en la actualidad realizan la traducción de necesidades en funciones realizables por el usuario que desarrolla o fabrica el producto.

Dependiendo el uso final del software varían su estructura y sus funciones. Para hacer más inteligible esta división, se introducen cuáles son las áreas de aplicación de los sistemas CAD:

1. AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE
2. ARTES GRÁFICAS
3. ARQUITECTURA E INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
4. CALZADO
5. DISEÑO GRÁFICO Y DIBUJO ARTÍSTICO
6. ELECTRICIDAD
7. ELECTRÓNICA
8. **INGENIERÍA MECÁNICA Y DISEÑO INDUSTRIAL**
9. PUBLICIDAD E IMAGEN
10. REDES DE SERVICIO
11. ROBÓTICA
12. TEXTIL
13. TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA

Existen muchas áreas de aplicación de los sistemas CAD que tienen cada una de ellas softwares específicos pero, en este caso, se desarrollaran los softwares más destacados del área de ingeniería mecánica y diseño industrial o áreas relacionadas con ésta ciñéndose al objeto de la comunicación: Catia, SolidWorks, Creo/Proengineer, Autodesk y Solid Edge.

Unido al análisis del estado del arte actual de la inclusión de la sostenibilidad en los softwares específicos señalados, es necesario incluir el concepto de PLM. PLM (Product Life Management) supone el paso de una metodología de diseño tradicional, basado en planos realizados a mano y con una conexión con los demás departamentos mucho más compleja y con poca posibilidad de una gestión de datos del proyecto de manera global, a una metodología de trabajo basado en la ingeniería concurrente de forma que posibilita un soporte de ayuda para controlar la elevada cantidad de información y documentación generado durante el proceso de desarrollo de un producto.

Un sistema PLM (Ye, Zhang 2013) posee una arquitectura disponible para todos los miembros del grupo de diseño y desarrollo del producto, un sistema compartido donde en cualquier punto del ciclo de vida del producto puede accederse a toda la información a generada de manera que se creen un espacio de trabajo común y en donde todas las fases tengan coherencia con lo anteriormente desarrollado y donde cada documento generado se encuentre activo y accesible. Cada usuario puede acceder, compartir, registrar, copiar, recuperar, validar y guardar datos gracias a una aplicación informática. En la figura se puede observar el esquema básico en el que se apoyan los sistemas PDM/PLM pudiendo sufrir modificaciones o especificaciones concretas en cada uno de los softwares.

Por tanto, se arroja un análisis de los diferentes softwares que amplían el mapa de interacción entre los sistemas CAD/CAE, la posibilidad de cambio hacia un sistema PLM sostenible y la utilización de un canal de transmisión de datos con las APs de la normativa STEP.

Tabla 1: Tabla de softwares con herramientas, aplicación PLM y módulo Sostenibilidad

SOTFWARE	EMPRESA	USO	HERRAMIENTAS	PLM / PDM	ACV /MODULO SOSTENIBILIDAD
CATIA	Dassault-Systemes	Sector aeroespacial, transportes, diseño de piezas mecánicas, ergonomía y industria automotriz.	CATIA for Shape Desig CATIA for Mechanical Design & Engineering CATIA for Systems Engineering CATIA for Equipment Design CATIA Knowledge CATIA Analysis CATIA Ergonomics Design and Analysis CATIA Digital Process for Manufacturing	3DS Experiencie ENOVIA	EDW
SOLID WORKS	Dassault-Systemes	Diseño de piezas mecánicas (3D + gestión de planos).	SolidWorks Premium. Solid Works Enterprise PDM. SolidWorks Simulation. Solid Works Composer. SolidWorks Sustainability.	3DS Experiencie Solid Works Enterprise	Sustainability
CREO	PTC	Diseño de piezas mecánicas (3D + gestión de planos).	Creo Simulate. Creo Options Modeler. Creo Illustrate.	WindChill PLM	WindChill Product Analytics

AUTODESK	Autodesk	Diseño arquitectónico, gestión de planos, 3D para uso de render, sector industrial en general.	AutoCAD Civil 3D. Autodesk Inventor. Autodesk Alias. Autodesk Algor Simulation.	Autodesk PLM360	Módulos: Autodesk Alias. Autodesk Algor Simulation.
SOLID EDGE	Siemens PLM Software	Diseño de piezas mecánicas de maquinaria, Instalaciones industriales, Productos de consumo, Mobiliario, etc.	Solid Edge Simulation. Solid EdgeManufacturing Solid Edge SP. Solid Edge Drafting and Viewer.	Siemens PLM Teamcenter	

Nota: Elaboración propia.

Tras el análisis de los sotfwares de diseño y su incidencia en la sostenibilidad y el PLM, se observa que todos ellos se encuentran inmersos en un proceso de inclusión y continua mejora de su desarrollo tecnológico. Al mismo tiempo, aflora un handicap importante en el momento en el que es necesario intercambiar datos entre los softwares o incluso, intentar utilizar los datos arrojados para realizar un ACV del producto o cualquier proceso de anális de la sostenibilidad y es que existe una falta de estandarización y uniformidad en los datos arrojados.

4. Propuesta preliminar del modelo

Pudiendo transformar las debilidades encontradas en oportunidades de investigación, se desarrollar una propuesta preliminar de modelo donde entran en juego los diferentes aspectos analizados.

Para comenzar, es necesario apuntar que se trata de un modelo que integra toda la cadena de proveedores y todo el proceso de diseño y fabricación del producto, es decir, todo su ciclo de vida (desde su concepción hasta su eliminación). Se habla de tres niveles diferentes: Macro, Messo y Micro/Nano donde se desarrollan estrategias de sostenibilidad y de integración de las tres dimensiones de la sostenibilidad en su nivel correspondiente y, con las características específicas de éstos.

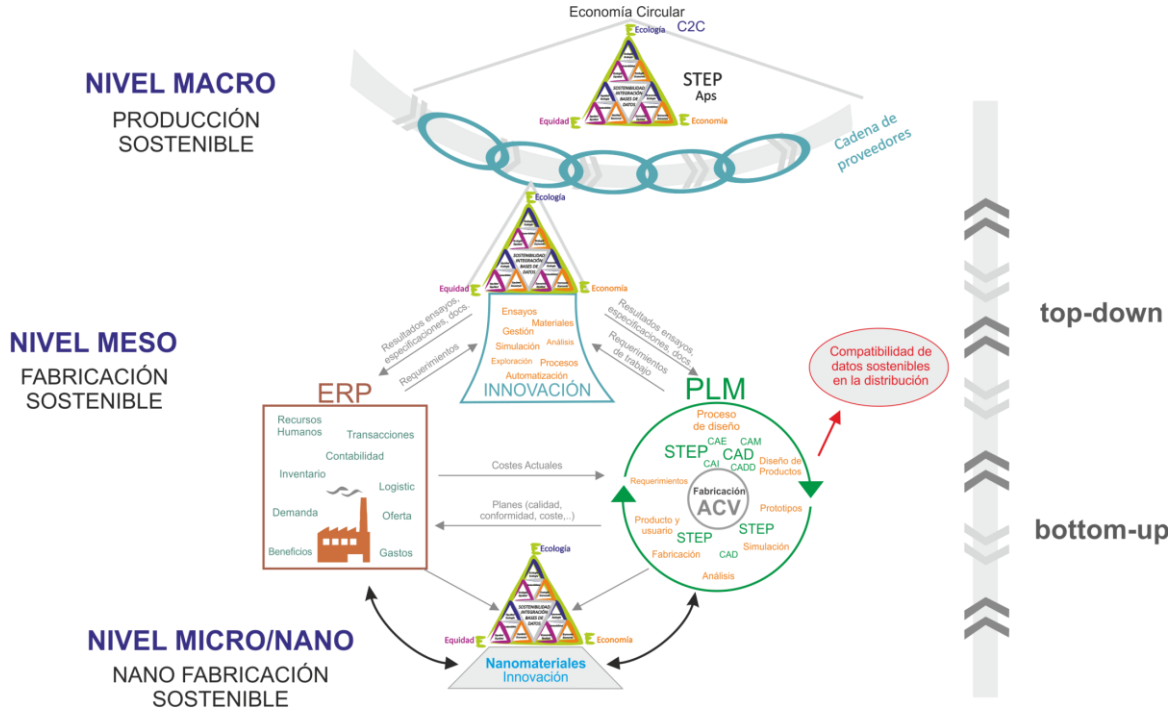
Bajo la triple E de la sostenibilidad, que es donde se arraiga la base del modelo, comienza el nivel Macro, que, partiendo del producto en general, se tiene en cuenta la transferencias de materiales y/o archivos en la distribución del producto siempre bajo el amparo de la

normativa de transferencia y normalización STEP. Para ello, se tienen en cuenta las APs específicas de cada proceso productivo. En ese nivel se habla de Producción Sostenible.

Si se continua el análisis del siguiente nivel, siempre bajo la triple E, se agrega en este punto la integración del sistema integrado de ERP-PLM sostenible donde el ACV, los sistemas CAD y la normalización de las bases de datos (y su compatibilidad) hacen que se cree en la empresa un solo núcleo sostenible, integrado por diferentes actores pero siempre normalizado y compatible. En este nivel, Meso, se habla de Fabricación Sostenible.

Como último nivel, Micro/Nano, se apuntan a las investigaciones y utilización de nanomateriales que afecten a la fabricación del producto. En el nivel anterior, meso, se hacía hincapié en la Innovación que, será en este nivel donde existe un potencial mayor, pero como durante todo el modelo se habla de una filosofía Top-Down y Bottom-Up donde la información y la transferencia de datos es un canal en ambas direcciones, el núcleo central de Innovación Sostenible afecta a todos los niveles ya que será la empresa gracias a su gestión y análisis la que extraiga y distribuya dichas propuestas.

Figura 4:Propuesta preliminar



Nota: Elaboración propia.

5. Conclusiones

Como conclusiones a este trabajo, se observan la oportunidad de desarrollo de la investigación en diferentes aspectos que intensifiquen la validez de la propuesta preliminar esbozada.

La primera de las mejoras aportadas por la propuesta preliminar es la integración de las bases de datos de ACV. Dentro de las bases de datos que gestionan los datos del ACV existen bases de datos específicas para los datos Ambientales, otras de ellas que gestionan los datos Económicos y, por último, existen algunas que arrojan datos Sociales pero siempre

por separado. La Sostenibilidad es descrita como la integración de estos tres pilares en las mimas proporciones de actuación y en constante transferencia de datos entre ellos, es decir, la fractalización de las dimensiones de la sostenibilidad. Es por ello que, con el apoyo de la representación de la sostenibilidad, se plantea la potencialidad de una integración de las tres tipologías de bases de datos que cree un escenario de intercambio de datos y de normalización de datos. Así mismo, en esta integración, se ve necesario otras bases de datos adyacentes que posean especificaciones de diferentes procesos de fabricación, de técnicas de tratamiento superficiales, técnicas de mecanizado,... para una fabricación integrada y sostenible.

Partiendo de la base de la integración de las tres dimensiones de la sostenibilidad, existe un potencial de trabajo e investigación en la integración de los sotwares concretos de desarrollo de ACV social, ambiental o económico softwares en uno solo o en la propuesta de la gestión de los datos que se deriven de la utilización de estos softwares de manera unificada.

En la potencialidad de esta línea de investigación habita la estandarización de los formatos de distribución gracias a la normativa STEP creando un PLM integrado y sostenible gracias al intercambio de información entre los análisis.

Derivado de dicha integración y bajo la norma de intercambio de información y archivos y los protocolos específicos de cada sector y proceso de fabricación, puede comenzar el desarrollo de unas traducciones normalizadas y estandarizadas de los resultados del análisis de los diferentes softwares, así como la adaptación en el propio desarrollo de estos a dichas unidades universales de manera que los impactos bajo cualquiera de las dimensiones de la sostenibilidad puedan ser interpretados e incluso representados para su comparación y confrontación.

6. Bibliografía

Aguayo, F., Peralta, E., Lama, J.R., Soltero, V.M. (2011). *Ecodiseño: Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna*. RC Libros. Madrid.

Alblas, A. & Wortmann, H. (2012). Impact of product platforms on lean production systems: evidence from industrial machinerymanufacturing. *International Journal Of Technology Management,* vol 57. p.110-131.

Bermejo, R. (2011). *Manual para la economía sostenible*. Ed. Catarata. Madrid.

De Felice, F., Campagiorni, F. & Petrillo, A. (2013). Economic and environmental evaluation via an integrated method based on LCA and MCDA*. Proceedings of 9th International Strategic Management Conference, 99, 1-10.*

Despeisse, M., Oates, M. R., & Ball, P.D.(2013).Sustainable manufacturing tactics and cross--functional factory modelling. *Journal of Cleaner Production*, 42, 31–41.

Dreyer, L. C., niemann, A. L. & Hauschild, M. Z. (2003). Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99 - Does it matter which one you choose? *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8, 191-200.

Eliceche, A. M., S. M. Corvalán & P. Martínez. (2007) Environmental life cycle impact as a tool for process optimisation of a utility plant. *Comput. Chem. Eng*. 31(5-6): 648-656.

Goedkoop, M. Hofsteletter, P., Müller-Wenk, R. (2000). The ecoindicator 98 Explained. *Internationa Jorunal of Life Cycle Assessment*, 3(6), 352-360.

Goedkoop, M. Sriensma, R. (2001). *The eco-indicator 99. A damage oriented method fot life cycle assessment*. Amesfoot, The Netherlands. Pre-consultants..

Graedel, T. & Allenby, E. (2009). *Industrial Ecology and Sustainable Engineering*. Pearson. New York.

Guinée, J. et al. (2009). *Handbook LCA-CML*.

Harold, M. P. & B. A. Ogunnaike. (2005). Process engineering in the evolving chemical industry. *AIChE J*. 46(11): 2123-2127.

Hauschild M., Goedkoop M., Guinée J.B., Heijungs R., et al (2009). Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment (LCA). *International Reference Life Cycle Data Sysem (ILCD). Background document.*

Heijungs, R. et al. (2009). "Life cycle assesment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle anlysis". *Polymer Degradation And Stability*, 95. p.422-428.

Jolliet, O., M. Margni, R. Charles, S. Humbert, J. Payet, G. Rebitzer & R. Rosenbaum. 2003. IMPACT (2003). A new life cycle impact assessment methodology. *Int. J. Life Cycle Assess*. 8(6): 324-330.

Jolliet, O., M. Saadé & P. Crettaz. (2005). Analyse du cycle de vie, comprendre et réaliser un écobilan. *Life Cycle Assessment: understand and perform an Eco-balance..* Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.

Jorgesen, A. et al (2013). Analysis of the link between a definition of sustainability and the life cycle methodologies. *International Journal Of Life Cycle Assessment*, vol 18. p.1440-1449.

Kim, Y.-D., Cha, H., Kim, K. & Shin, D. (2011). Evaluation Method of Green Construction Technologies Using Integrated LCC and LCA Analysis. *Korean Journal of Construction Engineering and Management,* 12, 91-100.

Macombe, Catherine. (2011). Recent developments in assessing the social impacts of the product's life cycles. Social LCA seminar, 5-6th May 2011, Montpellier, France.

Nakamura, S. (2007). Evaluating eco-efficiency of appliances by integrated use of hybrid LCA and LCC tools. advances in life cycle engineering for sustainable manufacturing businesses, 445-448.

Norris, C. B. (2014). Data for social LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 261-265.

Norris, G. (2005) Integrating Economic Analysis into LCA. *International Journal LCA*.

Oki, Y. & Sasaki, H. (2000). Social and environmental impacts of packaging (LCA and assessment of packaging functions). *Packaging Technology and Science*, 13, 45-53.

Palousis, N., Luong, L. & Abhary, K. (2008). An integrated LCA/LCC framework for assessing product sustainability risk. Risk Analysis Vi: *Simulation and Hazard Mitigation*, 121-128.

Rodríguez Jiménez, J.J. (2008). *Hacia un uso sostenible de los recursos naturales. Universidad Internacional de Andalucía*. Sevilla. ISBN: 978-84-7993-048-6.

Santana, F. S., Barberato, C. & Saraiva, A. M. (2010). A Reference Process to Design Information Systems for Sustainable Design Based on LCA, PSS, Social and Economic Aspects. *What Kind of Information Society? Governance, Virtuality, Surveillance, Sustainability, Resilience*, 328, 269-280

Schultmann, F., Jochum, R. & RentZ, O. (2001). A methodological approach for the economic assessment of best available techniques - Demonstrated for a case study from the steel industry. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 19-27.

Seager, P. & Theis, T. L. (2002). A uniform definition and quantitative basis for industrial ecology. *Journal of Cleaner Production*, 10, 225-235.

Segun, K. &Kara, S. (2014). Analysis of the impact of technology changes on the economic and environmental influence of product life-cycle design. *International Journal Of Computer Integrated Manufacturing*, vol 27. p.422-433.

SETAC. (1993). Guidelines *for Life Cycle Assessment: A 'Code of Practice'*. P, Sesimbra, Portugal.

Telenko, C., C. C. Seepersad & M. E. Webber. (2008). A compilation of design for environment principles and guidelines. *International Design Engineering Technical*

Conferences & Computers an Information in Engineering Conference, 3-6 August, New York.

UNE-EN-ISO 14000, Directrices para la implantación de un sistema de gestión medioambiental, Asociación Española de normalización y certificación (AENOR), Madrid, 2004.

UNEP "Evaluation of Environmental Impacts in Life Cycle Assessment". United Nations Environment Programme (UNEP). Division of Technology, Industry and Economics (DTIE), Paris (2013)

UNEP/SETAC (2013) The Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA). United Nations Environment Programme and SETAC.

UNEP/SETAC. (2009). Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. Accessed on December, 2014. Available at: h:p://www.unep.fr/shared/publicaAons/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf.

Van der Giesen, R. et al. (2013). Towards application of life cycle sustainability analysis. *Metallurgical Research & Technology*, Vol 110. p.29-36..

Weidema, B. (2005). ISO 14044 also applies to social LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 10, 381-381.

Ye, X. & Zhang, X. (2013). "PLM for multiple lifecycle product". Master Thesis. KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo.

03-035

CHARACTERIZATION OF PRODUCT-SERVICE SYSTEM. ANALYSIS OF CASES OF STUDY

García Sáez, Elisa; Capuz Rizo, Salvador
Universitat Politècnica de València

Product-Service Systems represent a proposal to contribute to sustainability in certain economic activities. Its starting point is based on the existence of several cases in which it is possible fulfill a need by a service instead of purchasing an object. In the present work, different approaches of “Product-Service System” concept, its appearance in the late nineties, its evolution during the last years, goals to achieve, typologies, benefits and problems that make difficult its implementation are analyzed. For that purpose four real experiences of Product-Service System establishment are given and analyzed, detecting the problems that have arisen and evaluating its impact and contribution to sustainability in each economic cycle.

Keywords: *PSS; Product-Service Systems; functional economy; dematerialization*

CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCTO-SERVICIO. ANÁLISIS DE CASOS DE ESTUDIO

Los sistemas de producto-servicio representan una propuesta para contribuir a la sostenibilidad de determinadas actividades económicas. Su punto de partida se basa en que existen numerosos casos en los que para satisfacer una necesidad es posible hacerlo mediante la prestación de un servicio en lugar de adquiriendo la propiedad de un objeto. En el presente trabajo se analizan los diferentes enfoques que ha recibido el concepto de “Sistema de Producto-Servicio”, su aparición a finales de los años 90 y posterior evolución, los objetivos que pretenden alcanzar, las tipologías que se pueden identificar, las ventajas que ofrecen y los problemas que dificultan su implantación. Para ello se presentan y analizan cuatro experiencias reales de implantación de Sistemas de Producto-Servicio, detectando los problemas surgidos y evaluando su impacto y/o contribución a la sostenibilidad de los respectivos ciclos económicos.

Palabras clave: *PSS; Sistemas de Producto-Servicio; economía funcional; desmaterialización*

Correspondencia: Elisa García Sáez elisagarciasaez@gmail.com

1. Introducción y objetivos

El presente estudio se adentra en el concepto y contexto de los PSS (Product-Service Systems, en español Sistemas de Producto-Servicio). El tejido industrial actual debe responder a numerosos cambios. Una enorme competencia, un mercado ya saturado de productos y unos recursos naturales que se agotan están forzando a las empresas a idear nuevas maneras de satisfacer las necesidades de mercado. A esto se le suma un consumidor cada vez más exigente e interesado en diferenciarse del resto. Por ello, se necesita un nuevo modelo de empresa más sostenible y competitivo. Una estrategia para conseguirlo sería a través de los servicios, que por sí mismos o en conjunto con otros productos fueran capaces de satisfacer las necesidades del consumidor. Kotler y Bloom (1997) definían un servicio como cualquier actividad que ofrece una parte, que aporta valor, que es esencialmente intangible y que no da lugar a la propiedad de algo. Con los PSS se evoluciona de un sistema basado en productos o servicios independientes, a otro basado en productos y servicios que funcionan conjuntamente. El concepto principal en el que se basa un PSS es el cambio en la manera de satisfacer las necesidades del consumidor, pasando, en mayor o menor medida, de lo material a lo inmaterial. Se abarca el concepto de 'producción y consumo' o 'producto y uso/servicio' (Mylan, 2014).

Existen varios tipos de PSS, y por tanto distintas clasificaciones dependiendo del autor y del punto de vista utilizado. La más común y utilizada por los investigadores es la que clasifica el PSS según su orientación, resultando así PSS orientado a producto, PSS orientado a uso y PSS orientado a resultado (Tukker & Tischner, 2006).

Se analizarán distintos casos de estudio para cada uno de los tipos de PSS. Para los PSS orientados a producto se analizará el fabricante de mobiliario de oficina Wilkhahn. Para los PSS orientados a uso se estudiará el caso de Polyplank: núcleos para bobinas de papel. Como caso para los PSS de resultado se analizará el caso de AMG y su venta de calor solar.

El objetivo del presente estudio es obtener conclusiones sobre este nuevo modelo, su aplicación a la industria y su potencial contribución a la sostenibilidad de nuestra sociedad.

2. Antecedentes de los PSS

Como apunta Tan (2010) siempre ha habido servicios y ofertas integradas de producto más servicio, pero es ahora cuando hay un interés en un acercamiento sistemático desarrollando productos y servicios integrados. El interés por el estudio de los sistemas que engloban productos y servicios ha surgido desde varias áreas independientes: el medioambiente, el marketing y la experiencia de usuario, cada una con sus intereses. Así, Pawar et al. (2009) identificaban estas tres corrientes:

- **Sistemas de Producto-Servicio.** Esta corriente se basa en una serie de informes destinados a los responsables políticos convencidos de los beneficios ambientales del 'servicizing'[1] (White et al. 1999): combinar productos y servicios para reducir el impacto ambiental nocivo del consumo. Esta corriente defiende que centrarse en los servicios significaría utilizar menos recursos, resultando así una mayor sostenibilidad ambiental. Fue al final de los noventa cuando investigadores comenzaron a trabajar en ideas sobre la desmaterialización y la orientación al servicio.

[1] Servicizing: La aparición de servicios basados en productos que difuminan la distinción entre la fabricación y las actividades tradicionales del sector de servicios (White, Stoughton y Feng, 1999).

- **Soluciones integradas.** Esta segunda corriente se basa en la sostenibilidad financiera que los fabricantes pueden obtener añadiendo servicios, luchando así con la disminución de márgenes en la fabricación. Con un sistema optimizado se puede llegar a ahorrar costes y aumentar beneficios (optimización de maquinaria, ciclos cerrados de material, etc.). Esta corriente se empezó a estudiar a finales de los ochenta.
- **Servicios de experiencia.** En esta corriente se toma la perspectiva del consumidor como centro y la fabricación del servicio como un paso hacia el objetivo de crear experiencias memorables. Aquí aparece como oportunidad de negocio, normalmente basada en una mayor y de más calidad relación con el usuario.

Son distintas corrientes, desde el punto de vista medioambiental, de marketing y del usuario respectivamente, que se han desarrollado en paralelo y que presentan distintas motivaciones que animan a las empresas para que den ese paso desde la fabricación de productos a la oferta de producto-servicio.

En 1997 Stahel ya empezó a hablar de la "economía funcional". El término "servicing" surgió en el informe para la US Environment Protection Agency por White, Stoughton y Feng en 1999, y lo utilizaban para describir "la aparición de servicios basados en productos que difuminan la distinción entre la fabricación y las actividades tradicionales del sector de servicios". Pero según dicen Vandermerwe y Rada (1988) ya en los años ochenta se reconocía la transición de la fabricación de productos al suministro de servicios, llamando a esto, inicialmente en el campo del marketing, "servitisation". Otros autores como Goedkoop (1999), Manizini y Vezzoli (2002), McAloone y Andreasen (2002), Behrendt et al. (2003), Wong (2004), Mont (2004), Tukker y Tischner (2006), Vezzoli (2007), Baines et al. (2007) y Vezzoli et al. (2014) han contribuido al estudio de los PSS.

3. PSS

El objetivo principal de los PSS es conseguir satisfacer una necesidad mediante un sistema de productos y servicios en lugar de crear un producto para satisfacer dicha necesidad. Manzini y Vezzoli (2002) realizaban la siguiente definición: "Un Sistema Producto-Servicio se puede definir como el resultado de una innovación estratégica, cambiando el enfoque del mercado desde diseñar y vender únicamente productos físicos, a vender un sistema de productos y servicios capaces de satisfacer las demandas específicas del cliente." A continuación se muestran algunos ejemplos de empresas que ya han implantado este enfoque:

Tabla 1. Ejemplos de PSS en la industria (Tan, 2010)

Empresa	De productos…	… a servicios y soluciones totales
Caterpillar	Construcción y equipos de minería	Financiación, aseguradora, equipamiento, mantenimiento, soporte, formación, etc.
Danfoss	Refrigeración de controles y sensores	"Refrigeración para alimentos al por menor" – diseño y especificaciones, integración del sistema, monitoreo, gestión de la energía, mantenimiento, etc.
Dupont	Pintura	"Gestión de servicios químicos" – pintura de calidad de superficies, etc.
Sara Lee / Douwe Egberts	Café	"Soluciones para el café" – arrendamiento de máquinas de café, venta de café, operaciones y mantenimiento

Electrolux	Máquinas de lavado profesionales	"Sistemas de lavandería" – ayuda a empresarios a establecer nuevas lavanderías o a actualizar las antiguas, instalación, formación, financiación, etc.
JCDecaux	Bicicletas	Autoservicio de alquiler de bicicletas
IBM	Hardware de ordenador	Consultoría de empresas y software
Rolls Royce	Ingeniería de aviones	"Power-by-the-hour" – servicio de mantenimiento, mantenimiento predictivo, gestión de partes, etc.
SKF	Rodamientos	"Servicios de consultoría de ingeniería" – monitoreo, sellado industrial, lubricación y análisis de vibración, etc.

En un PSS se centra la importancia en cómo satisfacer las necesidades del consumidor y crear valor para él (Lindhal & Ölundh, 2001). Lo que el usuario compra en un PSS son los beneficios que los productos y los servicios ofrecen, no el producto en sí mismo. Por lo que se da un cambio en la propiedad del objeto, un factor fundamental dentro de los PSS. En la mayoría de los casos, con un PSS la propiedad del producto es retenida por el fabricante, lo que le incentiva a optimizar la utilidad de los bienes físicos (Tan, 2010). Así, un producto involucrado en un PSS debería estar diseñado para ello, teniendo en cuenta las propiedades necesarias que ello exige (largo ciclo de vida, fácil reparación, uso especializado, recuperación de elementos, etc.).

Tabla 2. Diferencias entre vender un producto y vender una función (Adaptado de Stahel, 2001)

Venta del producto (economía industrial)	Venta de la función (economía de servicios)
El objetivo de la venta es el producto	El objetivo de la venta es la función, la satisfacción del cliente, el resultado
El vendedor es el responsable de la calidad de la fabricación (defectos)	El vendedor es responsable de la calidad de la acción vendida (usabilidad)
El pago es consecuencia de la transferencia de los derechos de la propiedad	El pago es consecuencia de la realización de la acción
El trabajo se puede producir de forma centralizada o de forma global; los productos se pueden almacenar, vender otra vez o ser intercambiados	El trabajo tiene que ser producido in situ (servicio), el almacenamiento o el intercambio no es posible
Los derechos de la propiedad y la responsabilidad son transferidas al comprador	Los derechos de la propiedad y la responsabilidad permanecen en el proveedor
Ventajas para el comprador: protección frente a un posible incremento del precio	Ventajas para el usuario: gran flexibilidad en el uso, no es necesario un gran conocimiento, coste por unidad de servicio, riesgo cero
Desventajas para el comprador: cero flexibilidad en la utilización, se necesitan conocimientos (por ej. carné de conducir), ninguna garantía de coste, se asume todo el riesgo para el funcionamiento y para la eliminación del producto	Desventajas para el usuario: no tiene derecho a un posible aumento de valor del producto
Estrategia de marketing: publicidad, patrocinio	Estrategia de marketing: servicio al cliente
Valor central: alto intercambio a corto plazo en el punto de venta	Valor central: uso constante en período de utilización a largo plazo

Como la propiedad del producto permanece en el fabricante y será utilizado por varios usuarios, a éste le interesa que el producto dure lo máximo y que sea lo más eficiente posible. De ahí que otro de los cambios que los PSS conllevan es el de una sociedad 'de reparación' en lugar de una sociedad 'de desecho' (Mont, 2002). Sin embargo, en otro tipo de productos, en los que su mayor impacto reside en su etapa de uso (especialmente aquellos que consumen energía), las medidas a tomar pueden ser distintas, intentando alcanzar siempre la mayor eficiencia del sistema.

4. Clasificación

Existen diversas clasificaciones de PSS dependiendo del autor y de los aspectos tenidos en cuenta. La más común es la que divide los PSS según su orientación, que ha sido estudiada por diversos autores como Tischner (2002), Tukker y van Halen (2003), Sundin (2009), Tan (2010) o Vezzoli et al. (2014). De este estudio resulta:

PSS orientado a producto. Este modelo sigue siendo muy similar al modelo de producto tradicional, siendo el protagonista un producto que es complementado por determinados servicios extra ofrecidos. Por ello, en este caso la propiedad del producto sigue siendo del usuario. Un PSS es orientado a producto cuando hay un producto complementado por servicios como mantenimiento, sustitución, actualización, financiación, asesoramiento o reciclaje que mejora su ciclo de vida o su utilidad.

Se puede subdividir a su vez en dos subcategorías (Tukker, 2004):

- **Integración de Servicios o Servicios Relacionados con el Producto**. En esta modalidad el proveedor vende el producto y además ofrece servicios adicionales para garantizar el éxito en el ciclo de vida del producto. En esta tipología encontramos, por ejemplo, contratos de mantenimiento, financiación, suministro de consumibles y acuerdos de recuperación cuando el producto llegue al final de su vida.
- **Asesoramiento y consultoría.** En este caso, el proveedor ofrece asesoramiento para un uso más eficiente del producto vendido. Esto puede incluir, por ejemplo, asesoramiento para la organización estructural del equipo que usa el producto u optimizar la logística en una fábrica donde el producto se usa como unidad de producción.

Un caso de PSS orientado a producto sería el analizado por Manzini y Vezzoli (2002) en el que cuentan como Küber, una empresa proveedora de lubricantes para distintos tipos de maquinaria, con el fin de disminuir el impacto ambiental y aumentar la relación con el cliente y eficiencia de su producto, además de vender el lubricante, ofrece también el servicio de analizar su impacto. Un laboratorio químico móvil instalado en una camioneta analiza la maquinaria de los clientes que utilizan su lubricante, controlando así ruidos, vibraciones, humos y muchos otros efectos industriales no deseados. Así los clientes obtienen mejoras en términos de eficiencia y protección del medio ambiente, de funcionalidad y de durabilidad. El cliente se libera de los costes y problemas asociados en el seguimiento y análisis de los equipos, mejora la producción y la vida de las máquinas y el proveedor consigue una relación más estrecha con el cliente.

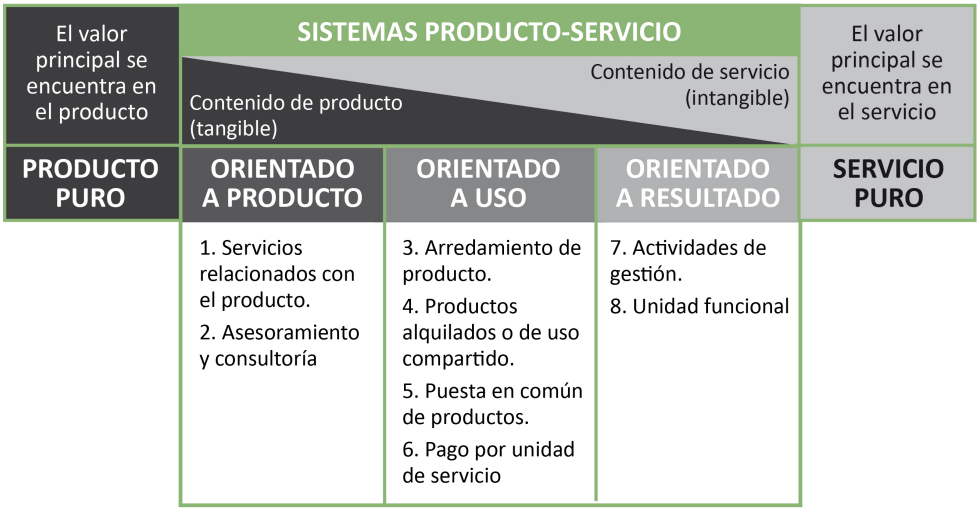
PSS orientado a uso. En esta segunda categoría el producto sigue manteniendo gran importancia pero el sistema de negocio no se basa en su venta. En este modelo la propiedad del producto es del proveedor y el consumidor paga por su uso. Se vende la función en lugar del producto y el cliente paga por unidad de servicio. Dentro de esta categoría encontramos (Tukker, 2004):

- **Productos arrendados**. El proveedor posee la propiedad del producto y es responsable de su mantenimiento, reparación y control. El cliente paga una tarifa regular y obtiene un acceso individual e ilimitado del producto arrendado. Por ejemplo un arrendamiento de un vehículo o un electrodoméstico.
- **Productos alquilados o productos de uso compartido.** En este modelo la propiedad también es del proveedor, quien también es responsable de su mantenimiento, reparación y control. El usuario paga por el uso del producto. La principal diferencia con los productos arrendados es que en este caso el usuario no tiene un acceso individual e ilimitado del producto, otros usuarios pueden usar el producto en otras ocasiones. El mismo producto se usa secuencialmente por diferentes usuarios. Por ejemplo el alquiler herramientas de bricolaje o los servicios de bicicletas compartidas (conocido como "bicing" en Barcelona, "valenbici" en Valencia o "sevici" en Sevilla).
- **Products Pooling (puesta en común de productos).** Este modelo es similar al de productos alquilados o productos de uso compartido pero añadiendo la característica de uso simultáneo entre diversos usuarios. Por ejemplo, un 'car sharing' donde un usuario comparte su coche con más personas que viajan al mismo lugar.
- **Pago por unidad de servicio**. En esta categoría todavía es el producto la base principal del sistema, aunque le usuario no llega a comprarlo. Por lo que paga el usuario es el resultado del uso de ese producto. Un ejemplo bastante común son las fórmulas de pago por impresión que están adoptando muchos productores de fotocopiadoras: el productor se encarga de todas las actividades necesarias para al funcionamiento del producto (p. ej. suministro de papel y tinta, mantenimiento, reparación y reemplazo de la fotocopiadora cuando fuese apropiado) y el usuario paga por unidad de servicio (fotocopia realizada).

PSS orientado a resultado. Este es el sistema de productos y servicios más cercano al servicio puro de los tres. En esta ocasión el producto físico es prácticamente sustituido por un servicio. Se define como toda actividad que ofrezca un servicio (p. ej. limpieza de oficinas y catering) o un resultado funcional (p. ej. mantener las pérdidas de una cosecha en un mínimo acordado). El productor posee la propiedad del producto (o productos), estos producen un resultado, y es por ese resultado por el que el cliente paga. Así, la venta del producto se sustituye por la venta de un nuevo servicio. Este tipo de servicios viene normalmente fomentado por la aparición de una nueva tecnología, p. ej. contestadores virtuales en lugar de máquinas en casa o servicios de control de plagas en lugar de pesticidas. Ya que la propiedad pertenece al productor, a éste le convendrá disponer de productos y sistemas lo más eficientes posible, ya que un mayor rendimiento supondrá mayores ingresos. Dentro de esta modalidad se encuentran (Tukker, 2004):

- **Actividades de gestión y externalización.** En este caso una parte de la actividad de la compañía es subcontratada a una tercera parte (por lo tanto la empresa deja de comprar los productos y compra el resultado). Por ejemplo, algunas actividades tan comunes hoy en día como la subcontratación de un catering o el servicio de limpieza de una oficina.
- **Unidad funcional**. Esta categoría es muy similar a la primera de actividades de gestión y externalización, se diferencia en que en este caso el resultado tiene un sentido más abstracto, que no está directamente relacionado a una sistema tecnológico específico. El proveedor tiene total libertad para llegar al resultado ofrecido al usuario. Un ejemplo típico de este tipo de PSS serían las empresas que venden el servicio de un 'clima agradable' en lugar de equipos de gas o refrigeración.

Figura 1. Tipologías de PSS desde la orientación a producto a la orientación a servicio (Tukker y Tischner, 2006)



5. Revisión de casos prácticos

5.1. Caso de PSS orientado a producto: Wilkhahn (mobiliario de oficina)

Wilkhahn es un fabricante de mobiliario de oficina con sede central en Alemania, país donde se fundó. Entre sus servicios ofrece la refabricación del mobiliario que vende. Previamente ofrece un servicio de mantenimiento, donde ofrecen al cliente tres visitas en cinco años para asegurar el buen estado del producto. En el momento en el que el cliente quiera deshacerse del producto, ya sea por un desgaste general o por una rotura, Wilkhahn le ofrece reparar el producto o refabricarlo. Refabricarlo supone devolverle al producto las especificaciones iniciales, repararlo incluye sólo el tratamiento de las partes dañadas. Si por el contrario el cliente ya no necesita más el producto, Wilkhahn recupera las piezas.

El producto se desensambla en las plantas de producción del fabricante, donde se limpian y se reparan cuando es necesario y se vuelven a ensamblar para obtener el producto refabricado. Las partes que no sirven para reutilizarse se separan y se reciclan. Todo este proceso es más sencillo ya que se ha tenido en cuenta en la fase de diseño (facilidad para desmontar, materiales reciclables, etc.). El potencial medioambiental reside en la prolongación del ciclo de vida del producto.

Generalmente el cliente tiene una apreciación negativa de los productos refabricados, ya que tienen la percepción de no tener la calidad suficiente. Por ello, en lugar de ofrecer productos refabricados, lo que Wilkhahn ofrece es prolongar el ciclo de vida del producto que el cliente ha adquirido, alargar la vida de 'su' producto.

El número de piezas que se refabrica es limitado ya que no siempre pueden cumplir los niveles de calidad exigidos, pero se espera que progresivamente se pueda realizar en más ocasiones.

5.2. Caso de PSS orientado a uso: Polyplank (núcleos para fábricas de papel)

Mattias Lindahl, Erik Sundin y Tomohiko Sakao (2013), en el documento *Environmental and economic benefits of Integrated Product Service Offerings quantified with real business cases* (Las ventajas ambientales y económicas de Ofertas Integradas de Servicio Producto Integrados cuantificados con casos empresariales reales) analizan el beneficio ambiental y

económico de casos reales de PSS desde la perspectiva del ciclo de vida, y lo hace a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV; ISO 14040, 1999) y del Coste de Ciclo de Vida (CCV). Para el primero de ellos utiliza el Eco-Indicator 99 versión 2.06.

Comparan tres escenarios distintos: uno de ellos es el producto tradicional (lo nombran como Caso A), y los otros dos (Caso B y Caso C) son PSS. De estos dos últimos, el Caso C está disponible en el mercado, mientras que el Caso B es un escenario ficticio, para así identificar los factores que contribuyen en mayor medida a la diferencia entre el Caso A y C.

Polyplank AB ha desarrollado un proceso en el que a partir de desechos de plástico y fibras de madera consigue un composite (Polyplank®) que resulta económico, reciclable y resistente a la humedad. Además de otras aplicaciones, se utiliza en los núcleos de las bobinas utilizadas en las fábricas de papel (Larson, 2009; Sundin et al. 2013) que los fabricantes envían a sus clientes.

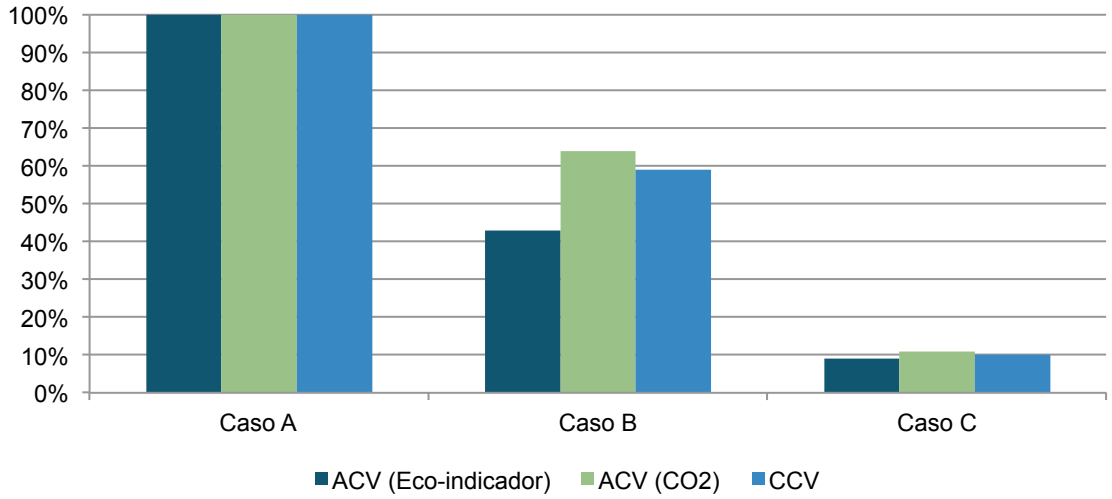
El funcionamiento de este PSS consiste en que los núcleos van del fabricante de papel al cliente y éste los devuelve al fabricante, que a su vez los reutiliza para otro envío a otro cliente. Antes de enviarlo a otro cliente el núcleo se limpia y se somete a controles de calidad, una vez superados es cuando se vuelve a utilizar con el próximo pedido. Los núcleos realizan este recorrido varias veces mientras que el núcleo supere los controles de calidad, una vez que el núcleo no los supera, se vuelve a enviar Polyplank donde se recicla: se reduce y se vuelve a enviar al molde de inyección para fabricar nuevos núcleos. Prácticamente el 100% del material se recicla, una cantidad muy pequeña de núcleos (0,5%) desaparecen o se tiran.

Así que según esto los escenarios son:

- **Caso A:** producción del núcleo tradicional con plástico virgen. Corresponde al modelo de la competencia de Polyplank.
- **Caso B:** núcleo fabricado con el material reciclado de Polyplank y utilizado una sola vez.
- **Caso C:** núcleo fabricado con el material de Polyplank y utilizado cuatro veces antes de ser repuesto. Se supone que una vez utilizado cuatro veces se recicla y se utiliza para fabricar un núcleo nuevo. Aunque en realidad se puede reciclar más veces, se asume que cada núcleo se recicla dos.

Los resultados del ACV (Análisis del Ciclo de Vida) y del CCV (Costes del Ciclo de Vida) aparecen en la siguiente gráfica: Resumen ACV y CCV del caso Polyplank (Lindhal et al. 2013).

Figura 2. Resumen ACV y CCV del caso Polyplank (Lindhal et al. 2013)



Como se puede apreciar en la figura 2, hay una clara relación económica y ambiental entre la elección de materiales, reciclaje y reutilización del núcleo.

Desde el punto de vista medioambiental, comparando los casos A y B, en los que en ambos el núcleo es utilizado una sola vez, la disminución de impacto lo determina el material con el que se han fabricado los núcleos. Entre el los casos B y C, en los que el producto es el mismo, la disminución de impacto es debida a la reutilización y la reciclabilidad de los núcleos. Cuanto más se reutilizan los núcleos mayor es el beneficio ambiental, sin embargo, esa reutilización implica mayores controles de calidad del producto.

Desde el punto de vista del CCV, el uso de material reciclado reduce el CCV, siendo mayor esa reducción en los ciclos en los que se reutiliza el núcleo. Los autores añaden que se podría suponer que la reutilización del núcleo es negativa para los beneficios económicos de Polyplank, ya que cada vez habrá menos demanda de núcleos. Sin embargo, como ha conseguido núcleos con menor coste, han logrado aumentar su mercado.

5.3. Caso de PSS orientado a resultado: AMG (venta de calor solar)

Manzini y Vezzoli (2002) describen el caso de la empresa AMG. Este PSS consiste en vender calor como un producto final. El cliente paga por unidad funcional, en este caso por litro de agua caliente. El agua caliente se produce a través de un sistema que combina energía solar y metano. El metano no es vendido al cliente, sino el agua caliente. AMG vende calor y calcula los kilovatios de calor consumidos, por ejemplo, un litro de agua caliente cuesta 0,05 €. El cliente paga por todo el servicio, sin intervenir en los costes fijos de la instalación, los medidores de energía térmica y el transporte del metano a las calderas (equipamiento y mantenimiento incluido). Así, lo que se compra es el resultado final de todo ese proceso.

En las plantas solares se trabaja para conseguir la mayor eficiencia posible e investigan para que el porcentaje de energía solar utilizada aumente, ya que eso significaría que el uso de metano disminuye y por tanto el gasto que éste supone para la empresa, lo que se traduce en un aumento de beneficios para ésta y una reducción del impacto ambiental.

6. Conclusiones

Tras el análisis de la bibliografía se ha llegado a la conclusión de que los PSS son una buena alternativa hacia la sostenibilidad, ya que pueden contribuir a la disminución de

recursos consumidos, a un ahorro económico y a una mayor satisfacción de las necesidades del usuario. En la tabla 3 se muestra una recopilación realizada por Beuren et al. (2013) de beneficios de los PSS según varios autores.

Tabla 3. Recopilación de los beneficios de los PSS (Beuren et al. 2013)

	Beneficios PSS	Referencias
Consumidor	Servicio personalizado y flexible; ventajas en la calidad de productos y servicios; satisfacción continua	Aurich et al. (2010)
	Recolección de datos durante el uso para mejorar los productos en diferentes etapas	Sundin et al. (2009)
Proveedor	Mayor fidelidad y confianza del consumidor	Aurich et al. (2010)
	Innovación potencial gracias a la monitorización del producto y servicios mientras se utilizan	Tukker and Tischner (2006)
	Reducción de costes y recursos; maximización de resultados; creación de conocimientos durante el proceso de desarrollo que son posteriormente vendidos como servicios de consultoría o formación; productos reutilizados en combinación con distintos servicios	Mittermeyer et al. (2010)
Medioambiente	Reducción en el consumo a través de usos alternativos del producto	Li et al. (2010)
	El proveedor es el responsable de los productos y servicios a través de la recuperación, reciclaje y refabricación, reduciendo el desperdicio de la vida del producto; los servicios son planificados con el ciclo de vida del producto	Baines et al. (2007)
Sociedad	La presión pública sobre las cuestiones ambientales aumenta	Baines et al. (2007)
	Al aumentar la oferta de servicios se crean nuevos puestos de trabajo	Baines et al. (2007); Gao et al. (2009)

Con todo lo estudiado se puede concluir que las variables más importantes dentro de un PSS son:

- **Propiedad[2].** La propiedad del producto es determinante para el estudio del PSS y para su planteamiento y desarrollo, ya que el poseer o no la propiedad puede modificar la importancia que cada actor le da a determinadas características del producto dentro del sistema.
- **Responsabilidad del mantenimiento del producto.** Otra variable muy importante dentro del sistema derivada de la propiedad del producto. Las acciones de mantenimiento, actualización y disposición final son cruciales a la hora de diseñar el producto y el sistema en su conjunto, y por tanto variarán dependiendo de quién sea responsable de dichas acciones.
- **Por qué paga el usuario.** El usuario puede pagar por el producto en sí, por su uso momentáneo, por su uso por un determinado tiempo, por su uso compartido, por el resultado específico que ese producto ofrece, etc. Es decir, por qué cosa o acción

[2] Cuando hablamos de *propiedad* nos referimos al momento en el que ya se ha realizado la acción contratada por el usuario al fabricante o proveedor.

paga el usuario. Dentro de esta característica se podría diferenciar si paga por un uso individual o compartido.

A pesar de sus beneficios y su potencial sostenible, todavía se necesita un mayor conocimiento en cuanto a su coste económico e impacto ambiental, sus ventajas y desventajas, sus limitaciones a la hora de su implementación y la metodología para llevarlos a cabo. Si bien es cierto que poseen un gran potencial sostenible, dependerá del diseño y desarrollo de cada uno. Son necesarios análisis cuantitativos que muestren objetivamente su impacto en la industria y el camino a seguir para hallar un modelo más sostenible.

7. Referencias

Akao, T. & Lindhal, M. (2009). *Introduction to Product/Service-System Design.* Londres: Springer.

Barquet A.; Oliveira M.; Amigo C.; Cunha V. & Rozenfeld H. Employing the business model concept to support the adoption of product–service systems (PSS). *Industrial Marketing Management*, *42*, *693-704*.

Besch, K. (2004). *Product Service Systems for Office Furniture Barriers and Opportunities on the European Market.* Suecia: IIIEE, Lund University.

Beuren, F.; Gomes, M. & Cauchick, M. (2013). Product-service systems: a literature review on integrated products and services. *Journal of Cleaner Production*, *47*, *222-231*.

Goedkoop, M.; Van Halen, C.; Te Riele, H. & Rommens, P. (1999). *Product Systems Service systems, Ecological and Economical Basics.* Países Bajos: PRé consultants.

Lindahl, M.; Sundin, E. & Sakao, T. (2013). Environmental and economic benefits of Integrated Product Service Offerings quantified with real business cases. *Journal of Cleaner Production*, *1-9*.

Manzini, E. & Vezzoli, C. (2002). *Product-Service Systems and Sustainability.* París; Milán: UNEP.

Manzini, E. & Vezzoli, C. (2003). A strategic design approach to develop sustainable product service systems: examples taken from the 'environmentally friendly innovation' Italian prize. *Journal of Cleaner Production*, *11*, *851-857*.

Mont, O. (2002). Clarifying the concept of Product-Service system. *Journal of Cleaner Production, 14*, *1-9*.

Mylan, J. (2014). Understanding the diffusion of Sustainable Product-Service Systems: Insights from the sociology of consumption and practice theory. *Journal of Cleaner Production*, *1-8*.

Pawar, K.; Beltagui, A. & Riedel, J. (2009). The PSO triangle: designing product, service and organisation to create value. *International Journal of Operations & Production Management*, *29*, *468-493*.

Tan, A. (2010). *Service-oriented product development strategies.* PhD thesis. Lyngby: Technical University of Denmark (DTU).

Tukker, A. (2004). *Eight types of Product-Service System: eight ways to sustainability? Experiences from Suspronet.* Delft: John Wiley & Sons.

Tukker, A. & Tischner, U. (2006). *New Business for Old Europe. Product-Service Development, Competitive and Sustainability.* Sheffield: Greenleag Publishing.

Tukker, A. & Tischner, U. (2006). Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research. *Journal of Cleaner Production, 14*, *1552-1556*.

Vezzoli, C.; Kothala C.; Srinivasan, A. (2014). *Product-Service System Design for Sustainability.* Sheffield: Greenleaf Publishing Limited.

03-038

STUDY OF ECO-EFFICIENCY IN PRODUCT-SERVICE SYSTEM (PSS). IMPLEMENTATION TO WASHING MACHINES.

García Sáez, Elisa; Capuz Rizo, Salvador
Universitat Politècnica de València

Product-Service Systems (PSS) intend satisfy consumer needs by supplying a service instead of the purchase of the product. It has consequences in the final cost for the consumer and in the environmental impact produced in the products/services life cycle. The present study analyzes how to evaluate the eco-efficiency of a PSS, being this understood as the ratio between the environmental impact and the total cost of a product or service during its entire life cycle, with the objective of comparing if the introduction of a PSS represents an improvement in relation to the product replaced. The application case of washing clothes has been analyzed taking into account the electric washing machine purchase for domestic use and two different PSS scenarios.

Keywords: *Product-Service System; eco-efficiency; washing machine*

ESTUDIO DE LA ECOEFICIENCIA EN LOS SISTEMAS DE PRODUCTO-SERVICIO (PSS). APLICACIÓN A LAS MÁQUINAS DE LAVADO

Los sistemas de producto-servicio (PSS) pretenden satisfacer las necesidades de los consumidores proporcionando un servicio en lugar de la adquisición de un producto. Ello tiene implicaciones en el coste afrontado por los consumidores y en el impacto ambiental generado en el ciclo de vida de los productos/servicios. El presente trabajo se analiza cómo evaluar la ecoeficiencia de un PSS, entendida como el ratio entre el impacto ambiental y el coste total de un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida, con objeto de poder comparar hasta qué punto la introducción de un PSS supone una mejora respecto el producto sustituido. Como caso de aplicación se ha analizado el lavado de ropa considerando la adquisición de una lavadora eléctrica de uso doméstico y dos escenarios alternativos de tipo sistema de producto-servicio.

Palabras clave: *Sistemas Producto-Servicio; ecoeficiencia; máquinas de lavado*

Correspondencia: Elisa García Sáez elisagarciasaez@gmail.com

1. Introducción y objetivo

Los Sistemas de Producto-Servicio (PSS) se proponen como una herramienta para contribuir al desarrollo sostenible. El concepto principal en el que se basan es el cambio de lo material por lo inmaterial, satisfaciendo las necesidades del usuario no únicamente con productos, sino con productos y servicios que trabajan conjuntamente.

Como dice Tan (2010), los PSS pueden ser un camino hacia un consumo y producción más responsable, desde del punto de vista empresarial (supone más beneficios, una mayor relación con el consumidor y más competitividad en el mercado), del consumidor (obtiene un mayor rendimiento, más utilidades y una satisfacción directa) y desde el punto de vista de la sostenibilidad (es una oportunidad para una mayor eficiencia y suficiencia).

El objetivo del presente estudio es analizar la ecoeficiencia de los PSS, a través de su coste económico y su impacto ambiental. Se tomará como caso práctico el lavado de ropa. Se analizarán tres escenarios, uno corresponde a un sistema de producto tradicional y las otras dos alternativas son PSS. Se estudian tres escenarios, el primero se refiere a una lavadora doméstica en casa, el segundo a un centro de lavado compartido en una comunidad de vecinos (compra y uso común) y el tercero una lavandería de autoservicio (pago a una empresa por el uso de la máquina).

2. PSS

Según Manzini y Vezzoli (2002) un Sistema Producto-Servicio se puede definir como el resultado de una innovación estratégica, cambiando el enfoque del mercado de diseñar y vender únicamente productos físicos, a vender un sistema de productos y servicios los cuales son capaces de satisfacer las demandas específicas del cliente. En 2007 Baines et al. decían: “un PSS es una oferta integrada de producto y servicio que proporciona el valor en el uso. Un PSS ofrece la oportunidad de desacoplar el éxito económico del consumo de material y, por tanto, reducir el impacto ambiental de la actividad económica”. Se abarca el concepto de ‘producción y consumo’ o ‘producto y uso/servicio’ (Mylan, 2014).

Estudiada por algunos autores como Tischner (2002), Tukker (2004), Sundin (2009) o Tan (2010), unas de las clasificaciones de PSS más comunes es según su orientación. Resumiendo lo dicho por ellos se clasifican en:

- **PSS orientados a producto:** donde una serie de servicios complementan al producto que es vendido. Dichos servicios pueden ser mantenimiento, sustitución, actualización, financiación, asesoramiento o reciclaje que mejoran su ciclo de vida o su utilidad.
- **PSS orientados a uso:** la propiedad del producto pertenece proveedor y el consumidor paga por su uso. El consumidor paga por unidad de servicio. El producto puede ser arrendado, alquilado, usado conjuntamente por varios usuarios, puesto en común o existe la posibilidad de pagar por unidad de servicio.
- **PSS orientados a resultado:** el producto físico es prácticamente sustituido por un servicio o resultado funcional. El cliente paga por el resultado que previamente han producido determinados productos, que son propiedad del proveedor. Este posee la libertad para utilizar la tecnología o productos que desee.

3. Presentación de los escenarios

Para el presente estudio se han establecido tres escenarios que serán analizados desde un punto de vista económico y ambiental. Todos ellos tienen la misma función a cumplir: lavar la ropa. Cada uno lo hará con unos productos o servicios distintos.

Tabla 1. Resumen de las principales características de los tres escenarios

ESCENARIO 1: LAVADORA DOMÉSTICA	ESCENARIO 2: CENTRO DE LAVADO COMPARTIDO	ESCENARIO 3: LAVANDERÍA DE AUTOSERVICIO
Sistema de producto tradicional	PSS orientado a uso (uso compartido)	PSS orientado a uso (pago por unidad de servicio)
El usuario compra la lavadora y pasa a ser de su propiedad	El usuario comparte la compra y la propiedad de la lavadora	El proveedor es el que posee la propiedad de la lavadora y el usuario paga por su uso puntual
El usuario es el responsable del mantenimiento de la lavadora	El usuario comparte la responsabilidad del mantenimiento de la lavadora	El proveedor se encarga del mantenimiento de la lavadora
El usuario realiza una gran inversión económica al inicio y luego se encarga de los costes de electricidad y agua	La inversión inicial es menor ya que se divide entre todas las viviendas del edificio, así como los gastos de electricidad y agua	No existe una inversión económica inicial ni costes de electricidad y agua, solo el pago por uso
El usuario solo tiene acceso a una máquina, si se avería, el usuario no puede satisfacer su necesidad	El usuario tiene acceso a 3 máquinas, si alguna se avería, el usuario puede utilizar otra	El usuario tiene acceso a varias máquinas, si alguna se avería puede utilizar otra
Alargan al máximo su vida útil	Al compartir los costes de compra, es más accesible la sustitución por nuevos modelos más ecoeficientes	Al tener un uso más intenso, el proveedor puede ofrecer lavadoras más modernas y ecoeficientes
Por el esfuerzo económico que supone, se suelen comprar lavadoras de nivel bajo-medio	Existe mayor accesibilidad a modelos de una mayor calidad	Lavadoras profesionales de alta gama con tecnologías más avanzadas
Ocupación de espacio en la vivienda	No ocupa espacio en la vivienda	No ocupa espacio en la vivienda
No requiere desplazamiento del usuario	Requiere un desplazamiento bajo del usuario	Requiere un desplazamiento medio del usuario

Escenario 1: lavadora doméstica

El consumidor afronta el coste inicial de la máquina que pasa a ser de su propiedad, será quien la utilizará en exclusiva en su hogar y se encargará de su funcionamiento y mantenimiento durante todo su ciclo de vida.

Escenario 2: centro de lavado compartido en comunidad de vecinos

Centro de lavado compartido en un edificio de viviendas que es usado por todos los inquilinos. Este caso se trata de un PSS ya que el producto ya no es el único actor del sistema, sino que entran en juego otros agentes como la compra común, el uso compartido, etc. En este caso las lavadoras tienen un uso más intenso, por lo que su deterioro será mayor y por consiguiente se tendrán que sustituir con más frecuencia, más concretamente cada cinco años[1]. El coste de sustitución será compartido por todas las viviendas del edificio, así como los costes de mantenimiento asociados.

Escenario 3: lavandería de autoservicio

El usuario se desplaza hasta el punto de lavado y paga por el uso de una lavadora, en este caso paga por ciclo de lavado realizado. Se utilizarán lavadoras industriales de mayor capacidad, por lo que serán necesarios menos ciclos de lavado suponiendo que se lava la misma cantidad de ropa y que el usuario está interesado en optimizar los lavados. Los costes de adquisición y mantenimiento corresponden al proveedor (propietario del negocio).

[1] Rüdenauer et al. (2005) afirman que los ciclos tecnológicos de las lavadoras (el período en el que aparecen avances tecnológicos y se producen lavadoras más eficientes) es de cinco años.

4. Metodología en la que se basa el estudio

4.1. Unidad funcional y uso del producto

Como unidad funcional se establece el cumplimiento de la función de lavado de ropa de 24 viviendas (las equivalentes a un edificio) durante quince años, periodo que equivale a la vida útil (incluyendo reparaciones) de una lavadora según IHOBE (2010), utilizando programas de lavado a 30ºC, 40ºC, 60ºC y 90ºC en sus porcentajes de uso correspondientes. Se establece que cada vivienda realiza unos 220 ciclos de lavado por año utilizando una lavadora doméstica, que es el valor que emplea la Etiqueta Energética Europea para lavadoras, como estándar a la hora de informar sobre su consumo. En base a esa cifra, en una lavadora industrial se realizarán 100 ciclos ya que poseen mayor capacidad y se supone que se lava la misma cantidad de ropa y se intenta optimizar los ciclos de lavado. El periodo de quince años que es analizado corresponde desde el año 2000 hasta el año 2014 ambos incluidos ya que el objetivo final es la comparación del consumo e impacto ambiental de una lavadora doméstica funcionando durante esos quince años (a la que se le aplican dos reparaciones) y otros escenarios donde se va sustituyendo por tecnologías más eficientes que van apareciendo en el mercado o se utiliza otro tipo de método de pago. El año 2000 es el año base para dicha comparación.

Así, el primer escenario lo componen 24 lavadoras en total. El centro de lavado compartido del segundo escenario está compuesto por 3 lavadoras para las 24 viviendas. La lavandería de autoservicio está formada por varias lavadoras industriales pero sólo se considerará la parte proporcional de uso de las 24 viviendas.

4.2. Metodología para el análisis económico

Para el análisis económico se utilizará el Total Cost Ownership o TCO (Coste Total de la Propiedad), que reúne todos los costes asociados al ciclo de vida del producto y, en este caso, al sistema de productos y servicios, afrontados por el usuario. Según Lisa Ellram (1995) el TCO es una metodología y filosofía que va más allá del precio de compra, incluyendo cualquier otro coste relacionado con la compra del producto. Según EDUCASE (2004), en un TCO podemos identificar 5 etapas: adquisición, implementación, operaciones, mantenimiento y sustitución. En el caso de este análisis, los costes asociados son el coste de adquisición del producto, de transporte, el coste de energía consumida durante toda la vida de la lavadora, el coste del agua consumida en ese mismo periodo, el coste de detergente y suavizante, los costes de reparación (mantenimiento) y el coste de eliminación del producto.

Debido a la *Directiva Europea 2002/96/CE sobre residuos de aparatos eléctricos*, se le incluye en el precio de compra los costes referentes a la eliminación del producto de la que los productores están obligados a hacerse cargo. No se tendrá en cuenta el gasto de detergente y suavizante, ya que para cada uno de los tres escenarios su uso sería el mismo y depende del comportamiento del usuario. Así que dada la dificultad de medida, el mínimo impacto sobre el resultado, y la finalidad de este estudio, que está orientado a la comparación de los escenarios alternativos, no se tendrá en cuenta.

Por lo tanto el TCO es:

$$TCO = C_{compra} + C_{uso\ 2000\text{-}2014} + C_{reparación\ 2000\text{-}2014}\ ^{2}; \quad (1)$$

donde el coste de uso es la suma del coste de la electricidad, del agua y del precio de lavado durante los 15 años. El coste de la electricidad se obtiene multiplicando el consumo de electricidad (kWh/kg), el número de ciclos de lavado por año, el número de viviendas del caso de estudio, la capacidad de la lavadora (kg/ciclo) y el precio de la electricidad (€/kWh). Por su lado, el coste del agua utilizada se obtiene multiplicando el consumo de agua (l/kg), el número de ciclos, el número

[2] C_{compra} = coste de compra; $C_{uso\ 2000\text{-}2014}$ = coste de uso durante los 15 años; $C_{reparación}$ = coste de reparación. El coste de reparación se podría incluir en los costes de uso, pero se calcula independientemente para facilitar el proceso de cálculo.

de viviendas, la capacidad de la lavadora (kg) y el precio del agua (€/l). El precio de lavado se aplica en el escenario 3 donde se paga por cada lavado.

Para hacer un balance general se calcula el VAN (Valor Actual Neto). Para poder hacer una comparación de los costes producidos cada año, todo el flujo económico se lleva al año base de comparación, en este caso el año 2000, descontando el efecto la inflación y considerando el coste de oportunidad. Siendo así:

$$VAN = \sum_{t=1}^{n} \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (2)$$

donde I_o es la inversión, V_t es el flujo de caja del año n, k es el coste de oportunidad o tasa de interés con la que estamos comparando y N el número de años de la inversión.

Los costes de reparación corresponden a un porcentaje del valor de compra. Para el análisis se supondrá que en el escenario en el que sea necesario, se deberá realizar una reparación a los 5 años, que supondrá un 10% del valor de compra, y otra a los 10 años, que será un 20%.

4.3. Metodología para el análisis ambiental

Para el análisis ambiental se utilizará un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), herramienta objetiva y cuantitativa. Definida en la UNE-EN ISO 14040:2006, “el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto”. Para la medición se utilizará el Ecoindicador’99. Los ecoindicadores son valores que expresan la carga ambiental total de un producto o proceso (Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment, 2000). El Ecoindicador´99 es una herramienta elaborada por Mark Goedkoop, Suzanne Effting y Marcel Collignon para PRé Consultants B.V., en Holanda y fue creada principalmente para que los diseñadores puedan valorar globalmente el impacto de un producto o servicio. Estos valores se expresan en una unidad propia llamada ‘punto Eco-indicador’ (Pt).

El impacto ambiental (IA) de una lavadora será:

$$IA_{lavadora} = IA_{fabricación} + IA_{distribución} + IA_{uso} + IA_{reparación} + IA_{fin\ de\ vida} \quad (3)$$

El impacto dentro de cada caso dependerá del número de lavadoras que se necesiten, de su frecuencia de uso, de su año de fabricación y de su consumo. Se tendrá en cuenta el impacto de fabricación, de distribución y de uso. El impacto de mantenimiento se suponen dos reparaciones por lavadora, a los 5 años y a los 10 años, suponiendo un impacto del 5% sobre el impacto de fabricación la primera y un 10% la segunda. No se tendrá en cuenta el impacto de fin de vida ya que no se poseen los datos necesarios para su cálculo y la repercusión de éste es mínima (-2% según IHOBE, 2010).

4.4. Ecoeficiencia

Según el Programa Ambiental de las Naciones Unidas y el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (PNUMA / WBCSD, 1998), ‘la ecoeficiencia’ se logra mediante la entrega de bienes y servicios que satisfagan las necesidades humanas a precios competitivos y mantengan la calidad de vida, al tiempo que reduce progresivamente el impacto ecológico y la intensidad de recursos a lo largo del ciclo de vida. Conseguir productos y sistemas más ecoeficientes es beneficioso tanto desde el punto de vista ambiental como desde el punto de vista económico. La ecoeficiencia es la suma de la economía y la ecología.

El potencial de ecoeficiencia de un PSS depende de la optimización del ciclo de vida, la extensión de la vida de los materiales, la minimización del consumo de recursos, la facilidad para adoptar nuevas tecnologías y la facilidad de sustitución de productos obsoletos por otros más ecoeficientes (Vezzoli, Kohtala y Srinivasan, 2014).

La comparación de la ecoeficiencia de los tres escenarios se representará mediante el método de BASF. El objetivo del análisis de ecoeficiencia de BASF es cuantificar la sostenibilidad de productos o procesos (Saling et al. 2002). Este método es una extensión del ACV ya que ayuda a

interpretar los datos obtenidos de este. El impacto total ambiental y económico de cada alternativa se representan en una gráfica donde el eje de las abscisas representa el coste económico y el eje de ordenadas el impacto ambiental (Charlene et al. 2004). Los productos que se sitúan por encima de la diagonal se consideran de alta ecoeficiencia y los que se sitúan por debajo de esta se consideran de baja ecoeficiencia.

4.5. Datos en los que se basa el estudio

Costes de adquisición

Para los escenarios 1 y 2 se ha supuesto que se utilizan lavadoras domésticas de carga frontal de un nivel de calidad medio, con 5 kg de carga, y se les supone un precio de 471 €[3]. Los costes de transporte y eliminación del producto se supone que van incluidos en este precio. En el escenario 2 en el que se adquieren varias lavadoras a lo largo del tiempo, se contabilizará siempre el mismo precio de compra, ya que calculando el VAN se supone que el valor del bien se mantiene, y por tanto el precio será el mismo. En el escenario 3 el precio de compra y cuántas lavadoras es necesario comprar no afecta al usuario, ya que es el proveedor el que se hace cargo de ese coste. Lo que deberá pagar el usuario es el precio por lavado, que será de 4 €[4].

Consumo eléctrico

Dependiendo del escenario se utilizan lavadoras fabricadas en distinto año con un consumo distinto. El consumo también variará dependiendo de si se trata de una lavadora doméstica o una lavadora industrial de autoservicio. En este estudio se contemplan lavadoras fabricadas en los años 2000, 2005 y 2010 que funcionan a 30ºC (21%), 40ºC (36%), 60ºC (34%) y 90ºC (9%)[5]. Con los valores del consumo por ciclo a cada temperatura se obtiene la media ponderada del consumo de un ciclo (kWh/kg) según el año de fabricación de la lavadora. Aplicando lo especificado en la Ecuación 1 se obtiene el consumo energético según año de fabricación de la lavadora.

Consumo de agua

El consumo de agua no varía con la temperatura de lavado, pero sí lo hace según el año de fabricación de la lavadora. Aplicando lo especificado en la Ecuación 1 se obtiene el consumo de agua según su año de fabricación.

5. Análisis económico

5.1. Escenario 1: lavadora doméstica

El coste de adquisición de las 24 lavadoras en el año 2000 es de 11.304 €. En este caso, para calcular el consumo de energía y agua sólo importa el valor de consumo del año 2000, que multiplicándolo por su precio se obtiene el coste en un año. Para calcular el coste de reparación se aplica el 10% del coste de adquisición para la primera reparación a los 5 años y el 20% para la segunda a los 10 años. Calculados el coste de adquisición, de uso y de reparación se calcula el TCO, calculando posteriormente el VAN para poder sumar homogéneamente los costes producidos a lo largo de todo el periodo considerando (Fig. 1).

5.2. Escenario 2: centro de lavado compartido

Se supone que se utilizan lavadoras domésticas, así que se emplearán los mismos datos de capacidad y consumo que en el escenario 1. Siguiendo el dato que dice que el ciclo tecnológico en

[3] Precio obtenido del modelo WF70F5E5U4W/EC de Samsung vendido en un punto de venta de la cadena Media Markt.
[4] Precio obtenido de una cadena de lavanderías de autoservicio situada en la ciudad de Valencia.
[5] Los porcentajes corresponden al porcentaje de lados según la temperatura de lavado con respecto al total (Devolvere et al. 2006).

una lavadora es de 5 años (Rüdenauer et al. 2005), las tres lavadoras se sustituirán por otras nuevas más eficientes cada 5 años, así que cada 5 años se añadirá el coste de compra de las 3 lavadoras que será afrontado por las 24 viviendas. Así, en cada intervalo cambiará el consumo de energía eléctrica y agua de las lavadoras debido a la mejora de la ecoeficiencia de las máquinas. Se supone que en ese periodo las lavadoras no necesitan reparación (Fig. 2). También se calcula el VAN.

5.3. Escenario 3: lavandería de autoservicio

En este escenario no hay propiedad desde el punto de vista del usuario (sí que lo habría desde el punto de vista del proveedor). Así que en este análisis la propiedad se refiere al coste por utilizar un servicio o al coste total de la satisfacción de la necesidad. Tanto el coste de adquisición como de reparación corren a cargo del proveedor. El usuario sólo tiene que hacerse cargo del coste por ciclo (en realidad no es un coste, es un precio, en este caso 4 €) (Fig. 3). Como en los casos anteriores se calcula el VAN sumar los costes.

Figura 1. Cálculo del TCO final del escenario 1. Euros constantes del año 2000

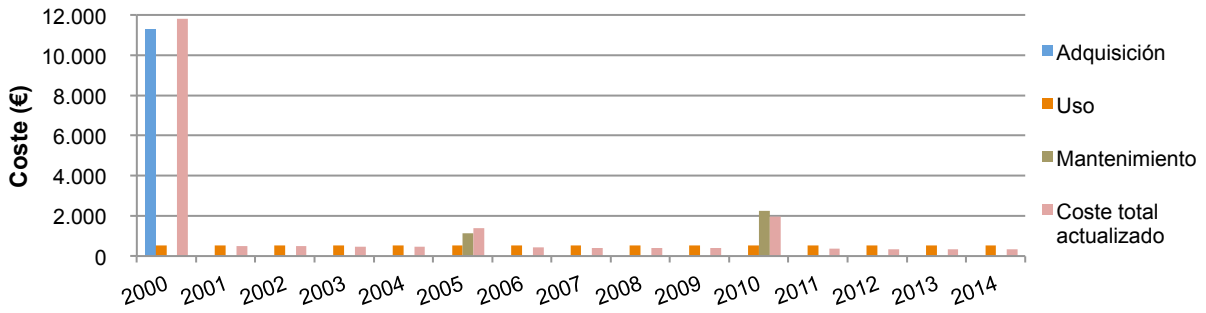


Figura 2. Cálculo del TCO final del escenario 2. Euros constantes del año 2000

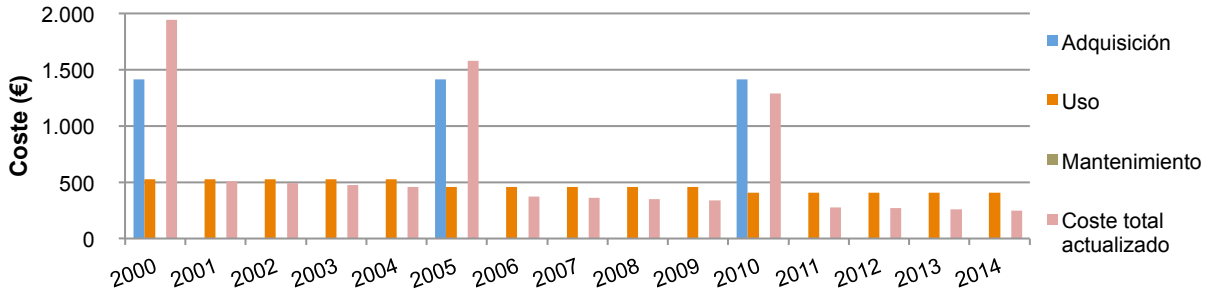
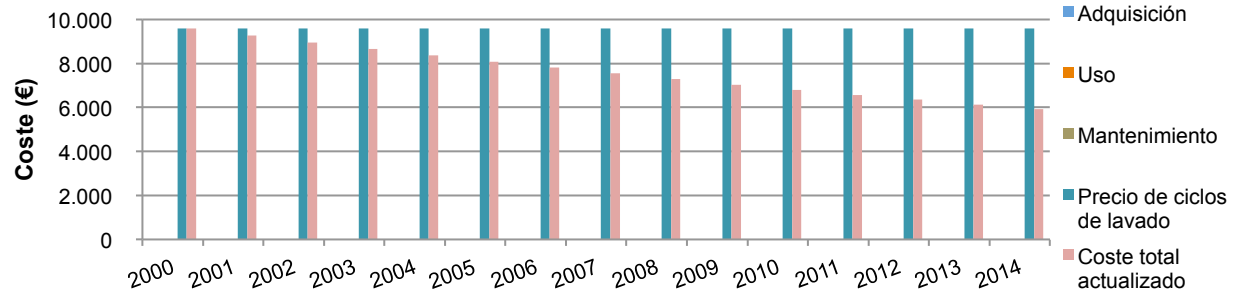


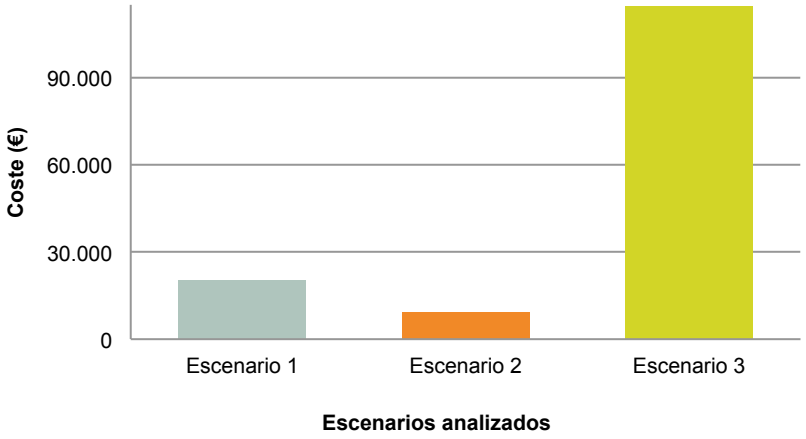
Figura 3. Cálculo del TCO final del escenario 3. Euros constantes del año 2000



5.4. Comparación de escenarios

Una vez calculados los tres escenarios se comparan para ver cuál de ellos tiene un menor coste total. El tercer escenario se desmarca rápidamente ya que tiene un coste bastante mayor, 114.437,64 €. Respecto a los otros dos escenarios, con el uso del centro de lavado compartido se reduce el coste total, pasando de 20.143,84 € del escenario 1 a 9.218,55 € del escenario 2. La expresión gráfica que compara los tres escenarios es la siguiente:

Figura 4. Comparación del coste económico de los tres escenarios durante 15 años. Euros constantes del año 2000



6. Análisis ambiental

Dada la complejidad de un ACV y la dificultad de obtención de datos por parte de las empresas, se ha decidido basar el análisis ambiental de las lavadoras domésticas en los datos proporcionados por IHOBE (2010) en su *Guía Sectorial*. Para el caso de la máquina industrial de autolavado se ha utilizado la información proporcionada por el fabricante. La unidad de medida del impacto será el 'milipunto Eco-indicador' (mPt).

6.1. Escenario 1: lavadora doméstica

Para el cálculo del impacto total se tiene en cuenta el impacto de fabricación (recursos utilizados y energía empleada para procesarlos), el de distribución (China-Algeciras-Madrid-Valencia) y el de uso (impacto de electricidad utilizada, agua y de mantenimiento). Según esto, el impacto ambiental de 24 lavadoras domésticas fabricadas en el 2000 funcionando entre los años 2000-2014 ambos incluidos es:

Tabla 2. Impacto ambiental total del escenario 1

	Impacto (mPt)
Impacto de fabricación 24 lavadoras	851.572,24
Impacto distribución 24 lavadoras	76.642,47
Impacto uso 24 viviendas	
Impacto energía consumida por 24 lavadoras durante 15 años	3.045.715
Impacto agua consumida por 24 lavadoras durante 15 años	124.581
Impacto de 2 reparaciones por cada lavadora	139.233
IMPACTO TOTAL DEL CASO 1	**4.237.746**

6.2. Escenario 2: centro de lavado compartido

Se utilizan las mismas cifras de impacto de fabricación y distribución que en el escenario 1. Para este escenario se utiliza la misma lógica que en el escenario 1, con la diferencia de que se disponen de sólo 3 lavadoras que se van sustituyendo cada 5 años por otras 3 más eficientes (se utilizan un total de 9 lavadoras en los 15 años). Se contabiliza el impacto de fabricación, distribución y uso.

Tabla 3. Impacto ambiental total escenario 2

		Impacto (mPt)
Impacto de fabricación 9 lavadoras		319.340
Impacto distribución 9 lavadoras		28.740
Impacto uso 24 viviendas		
	Energía consumida por 24 viviendas durante 15 años	2.760.352
	Agua consumida por 24 viviendas durante 15 años	102.273
Impacto de reparación		0
IMPACTO TOTAL DEL CASO 2		**3.210.707**

6.3. Escenario 3: lavandería de autoservicio

Para el análisis ambiental del tercer escenario se analiza el impacto de la trigésimo novena parte de una lavadora industrial de autoservicio fabricada en el año 2000, ya que se tiene en cuenta el impacto que corresponde a las 24 viviendas analizadas, considerando la duración del ciclo de lavado, los ciclos realizados y las horas diarias que el establecimiento permanece abierto. Se tendrá en cuenta el impacto de fabricación (recursos y energía para procesarlos), distribución (mismo recorrido que en el escenario 1), uso (energía y agua) y reparación (dos reparaciones a los 5 y 10 años). Por tanto:

Tabla 4. Impacto ambiental total escenario 3

		Impacto (mPt)
Impacto de fabricación 0,39 lavadoras		45.693
Impacto distribución 0,39 lavadoras		4.048
Impacto uso 24 viviendas		
	Energía consumida por 24 viviendas durante 15 años	1.195.638
	Agua consumida por 24 viviendas durante 15 años	121.680
Impacto de reparación de 0,39 lavadoras		7.461
IMPACTO TOTAL DEL CASO 3		**1.374.523**

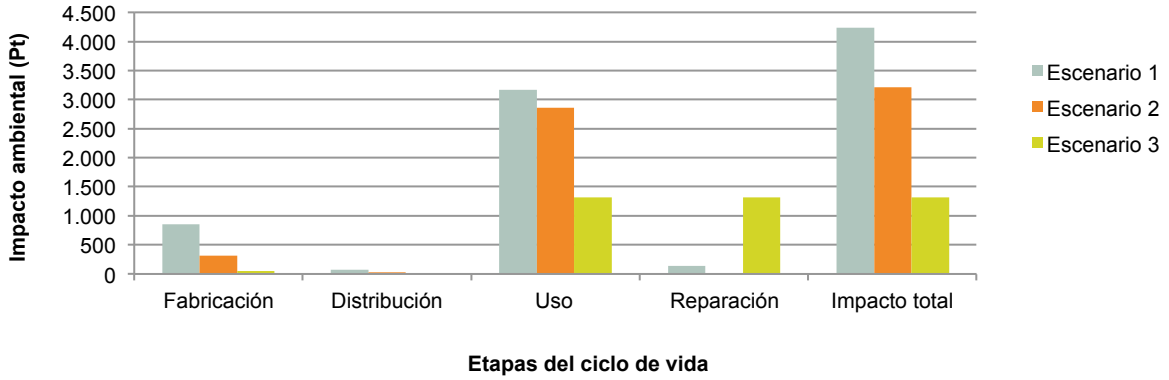
6.4. Comparación de escenarios

Según el análisis ambiental, cada caso tiene menos impacto que el anterior. Se pasa de 4.237.746 mPt del impacto del escenario 1, a 3.210.707 mPt del escenario 2 a 1.374.523 mPt del escenario 3, siendo esta última diferencia la mayor reducción de impacto.

Como puede apreciarse en la Fig. 5, el mayor impacto se da en las fases de fabricación y principalmente en la de uso. En la fase de fabricación se da una gran diferencia entre los escenarios 1 y 2, siendo mayor el impacto de fabricación de las 24 lavadoras del escenario 1. Sin embargo, en la fase de uso la mayor diferencia está entre el caso 2 y 3, por lo que se puede decir que al tener una lavadora industrial y con mayor capacidad el impacto es bastante menor.

Con esto se llega a la conclusión que los factores claves son la fabricación y el consumo. La desmaterialización de los escenarios 2 y 3 hace que su impacto ambiental disminuya en gran proporción, lo que demuestra que es una estrategia interesante a seguir hacia un sistema sostenible. El segundo factor importante es el consumo. El tener acceso a máquinas más ecoeficientes con una tecnología más avanzada hace que el consumo y por tanto el impacto disminuya. Si además se trata de maquinaria profesional, con tecnologías aún más avanzadas, la reducción del impacto es mayor, como sucede en el escenario 3. La reducción del impacto de la fase de uso del escenario 3 también se debe a la mayor capacidad de la lavadora y por tanto al menor número de lavados.

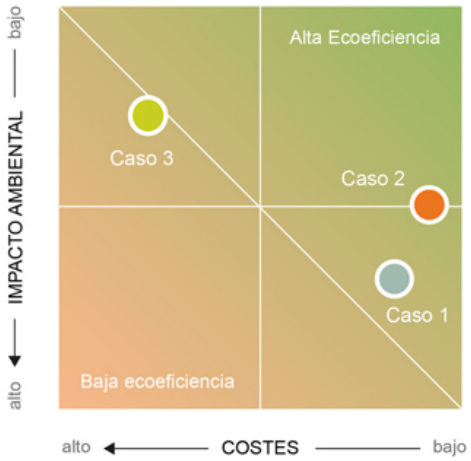
Figura 5. Comparación de impactos ambientales de los tres escenarios de estudio durante 15 años (expresado en Pt de impacto)



7. Análisis de la ecoeficiencia

A continuación se analizará la ecoeficiencia. En el estudio de la ecoeficiencia participan los dos factores que se han analizado: el económico y el ambiental. Siguiendo el método de representación gráfica de la ecoeficiencia utilizado por BASF, se representan los tres casos que se han estudiado:

Figura 6. Análisis de la ecoeficiencia de los tres escenarios de estudio



Entre el escenario 1 y 2, el primero tiene un coste y un impacto mayor, así que en esta comparación el 2 es más ecoeficiente. Entre el escenario 2 y 3, el segundo tiene un coste bastante menor que el tercero, aunque este tiene un impacto ambiental bastante menor. Lo mismo sucede comparando el caso 1 y 3, en el que el 1 tiene un coste menor, pero el 3 es el que posee un impacto menor. Si hay que guiarse únicamente por el aspecto ambiental el escenario 3 sería la opción más apropiada. Si el aspecto primordial es el económico, entonces el 2 sería la solución. Si los dos aspectos son importantes, se debería ponderar la importancia que se le da a cada uno, pero probablemente el escenario 2 sería el más equilibrado en cuanto a impacto ambiental y costes.

8. Conclusiones

Mediante el estudio de los tres escenarios propuestos se ha llegado a la conclusión de que el escenario 2 en el que una comunidad de vecinos comparten tres máquinas de lavado es un escenario con un impacto menor al escenario tradicional y también posee un coste total menor para el usuario. En este estudio se ha analizado el periodo desde el año 2000 hasta el 2014, suponiendo que la evolución desde 2014 hacia el futuro seguirá la misma tendencia y por tanto justificando su validez para futuras acciones.

Tras el estudio de la bibliografía y el análisis de los escenarios, se ha llegado a la conclusión de que las claves para los PSS que se han propuesto es la desmaterialización y la sustitución de maquinaria. Se ha demostrado cómo el disminuir el número de lavadoras fabricadas disminuye el impacto ambiental. El uso compartido además disminuye el coste total para los usuarios. Por otro lado, el poder sustituir la maquinaria por otra con una tecnología más avanzada, disminuye el consumo de uso del producto, disminuyendo el coste y el impacto de uso. Los escenarios analizados demuestran cómo el uso compartido que permite utilizar maquinaria más avanzada, reduce los costes y el impacto. Este perfil de PSS se puede aplicar a aquellos productos que consuman energía su uso, para otro tipo de productos se deberán utilizar otras estrategias también comprendidas dentro de los PSS, como por ejemplo la extensión de vida del producto.

Aún así, como más autores han afirmado, los PSS son una buena alternativa pero todavía se necesita un mayor conocimiento en cuanto a sus ventajas y desventajas, sus limitaciones a la hora de su implementación, los procesos para llevarlos a cabo y su impacto ambiental.

9. Referencias

AENOR (2006). UNE-EN ISO 14040: 2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. Madrid: AENOR.

Besch, K. (2004). *Product Service Systems for Office Furniture Barriers and Opportunities on the European Market.* Suecia: IIIEE, Lund University.

Beuren, F.; Gomes, M. & Cauchick, M. (2013). Product-service systems: a literature review on integrated products and services. *Journal of Cleaner Production*, *47*, *222-231*.

Ellram, L. (1995). Total cost of ownership: an analysis approach for purchasing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, *25*, *4-23*.

ETH (2011). *Washing Machine. ETH Sustainability Summer School 2011*. Zurich; Suiza: ETH Sustainability.

Goedkoop, M.; & Spriensma, R. (2001). *The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment.* Países Bajos: Pré Consultans B.V.

IHOBE (2010). *Guías sectoriales de ecodiseño eléctrico-electrónico.* Bilbao: IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental.

IHOBE (2010). *Manual práctico del Eco-indicador 99.* Bilbao: IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental.

Manzini, E. & Vezzoli, C. (2002). *Product-Service Systems and Sustainability.* París; Milán: UNEP.

Ministry of Housing Spatial Planning and the Environment (2000). *Eco-indicator 99 Manual for Designers e a Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment.* Países Bajos.

Mylan, J. (2014). Understanding the diffusion of Sustainable Product-Service Systems: Insights from the sociology of consumption and practice theory. *Journal of Cleaner Production*, *1-8*.

Rüdenauer, I.; Gensch, C. & Quack, D. (2005). *Eco-Efficiency Analysis of Washing machines – Life Cycle Assessment and determination of optimal life span.* Alemania: Öko-Institut e.V.

Sáiz, C. & Capuz, S. (2013). Intelligent replacement in products based on ecoefficiency. Application in an electric washing machine. Universidad Politécnica de València. *17th International Congress on Project Management and Engineering Logroño, 2013.*

Saling, P. et al. (2002). Eco-efficiency Analysis by BASF: The Method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *7*, *203-218*.

Sundin, E.; Lindhal, M. & Ihomah, W. (2009). Product design for product/service systems: Design experiences from Swedish industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *20*, *723-753*.

Tan, A. (2010). *Service-oriented product development strategies.* PhD thesis. Lyngby: Technical University of Denmark (DTU).

Tukker, A. (2004). *Eight types of Product-Service System: eight ways to sustainability? Experiences from Suspronet.* Delft: John Wiley & Sons.

Tukker, A. & Tischner, U. (2006). Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research. *Journal of Cleaner Production, 14*, *1552-1556*.

Vezzoli, C.; Kothala C. & Srinivasan, A. (2014). *Product-Service System Design for Sustainability.* Sheffield: Greenleaf Publishing Limited.

Wall-Markowski, C.; Kicherer, A. & Saling, P. (2004). Using eco-efficiency analysis to assess renewable-resource-based technologies. *Environmental Progress*, *23*, *329-333*.

West, R. & Daigle, S. (2004). *Total Cost of Ownership: A Strategic Tool for ERP Planning and Implementation*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. USA: EDUCASE.

9.2. Referencias a páginas web

http://tools.professional.electrolux.com/Mirror/Doc/BR/BR_9JLBP_1_130_4_9_9JLBPE.pdf. (n.d.) Obtenido el 13 de julio de 2014.

http://www.albertalaundry.com/_mndata/ale/uploaded_files/Environmental%20decl_eng_low.pdf. (n.d.) Obtenido el 13 de julio de 2014.

http://www.cfsd.org.uk/conferences/tspd6/tspd6_3s_cases.html. (n.d.) Obtenido el 24 de junio de 2014.

http://www.laundrysystems.electrolux.no/Files/pdf_files2/ljungby/service%20manual/SM_438920151_W365_3300H_Clarus_EN.pdf. (n.d.) Obtenido el 13 de julio de 2014.

03-042

IMPACT OF THE IMPLEMENTATION OF DECISION SUPPORT SYSTEMS ON LOGISTICS EFFICIENCY IN FEED MILLS.

Loza García, José Ramón ; Amiama Ares, Carlos ; Barrasa Rioja, Martín ; Bueno Lema, Javier Universidad de Santiago de Compostela

The aim of this study is to analyze the impact of the implementation of decision support systems on the efficiency of the production process at feed mills, more specifically on the production and distribution of concentrates. The analysis will focus on analyzing a given period of time immediately before implementing the decision support system and a period in which the system is fully operational. Kilometers traveled, hours spent and tons distributed in the study period were determined. Then, based on the above variables, a series of ratios will be established, such as distributed tons per kilometer traveled, etc. The production efficiency of the factory, represented by indices as production level, minutes per tonne produced,... are also discussed. Finally, the degree of customer satisfaction with the tool implemented will be analyzed.

Keywords: *Decision support; Stocks management; Cost analysis*

IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE AYUDA A LA DECISIÓN SOBRE LA EFICIENCIA EN LA LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN

El objetivo del presente estudio es analizar la repercusión de la implementación de un sistema de ayuda a la decisión sobre la eficiencia del proceso productivo de una fábrica de piensos, más concretamente sobre la producción y distribución de concentrados. El análisis se centrará en analizar comparativamente un determinado periodo de tiempo inmediatamente antes de implementar el sistema de ayuda a la decisión y un período en el cual el sistema está plenamente operativo. Se determinarán los kilómetros recorridos, las horas empleadas y las toneladas distribuidas en el período de estudio. A continuación, basándonos en las variables anteriores, se establecerán una serie de ratios, como pueden ser toneladas distribuidas por quilómetro recorrido, tiempo invertido por tonenlada repartida, etc. Por último, se analizará el grado de satisfacción de los clientes con la herramienta implantada.

Palabras clave: *Ayuda a decisión; Gestión stocks; Análisis costes*

Correspondencia: Carlos Amiama Ares carlos.amiama@usc.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por la Consellería de Medio Rural e Montes de la Xunta de Galicia, a través de las ayudas para la financiación de acciones de cooperación para el desarrollo de nuevos productos, procesos y tecnologías en el ámbito agroalimentario, agrícola y forestal (MR330B) con cargo al proyecto “PRODILACT. Sistema de reducción de costes en las explotaciones lecheras a través de la mejora de la logística y trazabilidad (FEADER 2012/76).

1. Introducción.

En la presente comunicación se analizará el impacto de la implementación de un sistema de ayuda a la decisión (SAD) en una fábrica de piensos. El SAD ha sido desarrollado en el marco de un proyecto de investigación en el que han colaborado el grupo de investigación "Enerxía, mecanización e modelización agroforestal" de la Universidad de Santiago de Compostela y la cooperativa agropecuaria FEIRACO. Dicha cooperativa se ubica en la provincia de la Coruña, Galicia, y cuenta en la actualidad con 530 clientes distribuidos por casi toda la geografía gallega.

El SAD pretende dar solución a una problemática difícil de acometer sin la ayuda de las herramientas software apropiadas. Por un lado existe una dependencia excesiva de la figura del operador logístico, ya que hasta la implantación del SAD la gestión de pedidos se hacía de forma manual. La falta de previsión a corto plazo de la demanda de los clientes provocaba la aparición de picos de producción en la fábrica que, en casos extremos, podían dar lugar a roturas de stocks de los clientes. Consecuentemente nos enfrentamos a una deficiente gestión de la gestión de la cadena de suministro, fundamentalmente en el campo de distribución del producto final a los clientes. Si se tiene en cuenta que los costes de distribución pueden suponer hasta un 15% del total del producto (Mauleon 2006), se entiende la importancia de tener las herramientas adecuadas para una gestión logística eficiente.

En su trabajo Chen y Paulrai, (2004) mencionan que el rendimiento de una empresa depende cada vez más de su capacidad de mantener relaciones eficaces entre proveedores y clientes. En el caso que nos atañe este era un problema recurrente ya que el cliente en muchos casos no avisaba a la fábrica hasta el mismo día en que se le terminaba el stock de pienso. Ruiz, Maroto y Alcaraz, (2003) desarrollaron un SAD también para una fábrica de piensos, en este caso en Valencia, con resultados satisfactorios. Más recientemente Kullapapruk, Supachai y Suphakan (2013) establecen un sistema de gestión para empresas integradoras verticales en Tailandia y tiene en cuenta además de los aspectos logísticos, aspectos zootécnicos relativos a los ciclos biológicos del ganado, todo ello buscando maximizar el beneficio.

Recientes estudios apuntan hacia la conveniencia de dar al planificacor un papel más importante en la resolución de problemas (Van Wezel, Cegarra y Hoc, 2011; Gacias, Cegarra y Lopez, 2012). Sicilia et al. (2014) desarrollan un sistema de ayuda a la decisión en el que intentan facilitar la labor del operador mediante un interface de usuario gráfico intuitiva y fácil de usar. Es en esta línea en la que se ha enfocado el proyecto actual.

Por último indicar que existe la tendencia actual en el desarrollo conjunto de nuevos SAD es la integración de estos con sistemas GIS, como se ve por ejemplo en trabajo de Faiz, Krichen e Inoubli, (2014).

2. Objetivos.

En este trabajo se describirá un SAD desarrollado para la gestión de inventario en fábricas de pienso, analizando el impacto que su utilización ha tenido en una planta piloto. Este análisis se realizará mediante la comparación de una serie de indicadores en un periodo de tiempo anterior y posterior a la mencionada implantación del SAD.

3. Metodología.

En primer lugar se realizará una breve descripción de las características básicas más relevantes de la herramienta que se ha desarrollado, para, posteriormente pasar a exponer como se van a llevar a cabo las pruebas de análisis.
La herramienta desarrollada se divide en varios módulos. Por una parte un módulo de generación y edición de rutas y por otra parte un módulo de gestión de inventarios. Es este trabajo nos centraremos en la herramienta para la gestión de inventarios.

3.1 Descripción del SAD para gestión de inventarios

El software de gestión de inventarios se caracteriza porque va a permitir al operador tener una previsión en tiempo real de la demanda de pienso de los clientes de la fábrica.
Para ello fue necesario realizar varias tareas. La primera de ellas ha consistido en la recopilación de la información proveniente de tres fuentes, la fábrica y sus características técnicas, los clientes de misma y la flota de vehículos de distribución.
A través de consultas realizadas al personal de la fábrica durante el desarrollo de la aplicación se llegó a la conclusión de que el punto más importante a tratar y por ende, a solucionar, es el de tener una buena previsión de la demanda y eso se consigue teniendo un buen dato del consumo diario medio (CDM). Se hace por ello imprescindible realizar un filtrado y depuración de los datos que son introducidos (de manera manual) en el sistema. Los consumos de los clientes de la fábrica son variables a lo largo del tiempo, y dependen de diversos factores, el más importante de ellos es el número de animales en cada fase de producción. El proceso de determinación del CDM se describe brevemente a continuación.
Cuando se registra un nuevo pedido de un cliente en el sistema se calcula un ratio, que integra la diferencia del valor del remanente que se indica en el formulario del pedido (Rp) y el remanente calculado en el sistema (Rq), en valor absoluto, entre el intervalo de tiempo entre pedidos (DP) (ecuación 1).

$$Q = \frac{\left|\left(R_p - R_q\right)\right|}{DP_{n-1} - DP_n} \quad (1)$$

Si el valor “Q” es inferior a un valor configurable por el operador, saltará una alerta para instar al operador a comprobar los datos introducidos. Esto en cuanto al ajuste del remanente, a continuación se hace una comprobación del histórico de datos de CDM que se van a emplear para calcular el actual. Para ello se descartan datos de CDM que se queden fuera del intervalo definido por el primer cuartil (Q1) menos 1,5 por el recorrido intercuartílico (RI) y los mayores al tercer cuartil (Q3) más 1,5 por el recorrido intercuartílico (RI), es decir; el intervalo de datos a emplear es el que queda dentro del siguiente intervalo:
[(Q1-1,5RI), (Q3+1,5 RI)].
Una vez definidos los datos que entran en el cálculo, se procederá a la determinación del CDM. Para clientes que tienen registradas entregas cada menos de 20 días, el CDM se calcula como el sumatorio de las 10 últimas entregas, excepto la última, dividido entre la fecha de la última entrega menos la fecha de la primera entrega (ecuación 2).

$$CDM = \frac{\sum_{i=1}^{i=10}(E_i)}{\left(FE_i - FE_{i-10}\right)} \quad (2)$$

Siendo Ei los kilos repartidos en la entrega “i” y FEi la fecha en la que se produce la entrega “i”.
Como se ha dicho previamente, se trabaja con consumos que fluctúan a lo largo del tiempo, por ello se hace indispensable tener definido un “intervalo de confianza” para este dato. Se procederá por tanto a la construcción de un intervalo de consumo máximo y mínimo

previsto, en función del margen de confianza con el que se quiera trabajar. Éste parámetro es configurable por el operador de la fábrica y será ajustado en función de las necesidades. Dicho intervalo queda construido de la siguiente manera;
[CDM – (Z·DT), CDM + (Z·DT)]
Siendo Z el coeficiente dependiente del margen de confianza con el que trabajamos y DT la desviación típica de los datos de CDM anteriores.
Finalmente, este intervalo de consumos, conjuntamente con el dato de la cantidad entregada en la última expedición de pienso, proporcionará un intervalo de fechas en el que es previsible que vaya a efectuar el próximo pedido. Es decir, se obtendrá una fecha de pedido temprano (que se dará con el consumo más alto), fecha de pedido esperado (que se dará con el consumo medio) y fecha de pedido tardía (que se dará con el consumo más bajo).
Por último se hace una distinción de los clientes que tiene unos datos de consumo más irregulares en el tiempo. En estos casos solamente se va a tener en cuenta el CDM de la penúltima entrega más el remanente de ese período ya que, si se calcula con la metodología anterior, daría un intervalo de consumos muy alto. Por tanto en la ecuación 3 se define esta situación.

$$CDM = \frac{E_{i-1} + R}{\left(FE_i - FE_{i-1}\right)} \quad (3)$$

Siendo "R" el remanente a fecha de pedido.
En la figura 1 se refleja la interface principal del SAD objeto de descripción, en el que para cliente de la fábrica se muestran los datos generales y el estado actualizado del stock de pienso del cliente junto con el intervalo de fechas previsibles de próximo pedido antes comentado.

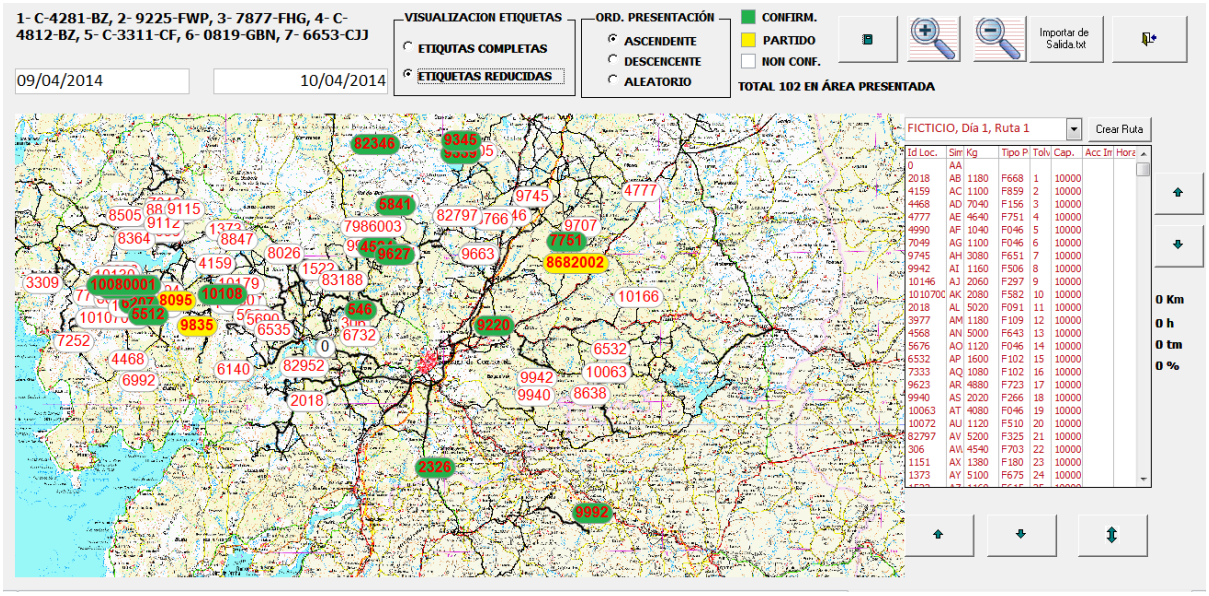
Figura 1: Interface del SAD

MOD.	Nº SOCIO	NOME	DIRECCION	TELÉFONOS	SILO	DATA SOLICIT.	KILOS	D. FIN C. ALTO	D. FIN C. MEDIO	D. FIN C. BAIXO	MÁXIMO HOXE	CAPACID.	D. REM.	OBSERVACIÓNS
	10080001	BUSTO-CORZON SAT	BUSTO CORZON	636054759 636054759	Xatas 2	15/05/14	1500	15/05/14		18/05/14	7.150	7.150	-2	
	10080001	BUSTO-CORZON SAT	BUSTO CORZON	636054759 636054759	Lactacion	15/05/14	8000	15/05/14		16/05/14	10.100	10.100	-4	
	1812	CAMILO MANUEL BLANCO PAIS	PORQUEIRA 8 ARZON	981192600 667105915	Punteo			15/05/14	18/05/14	21/05/14	3.140	3.140	-1	
	9996	CASTRO S.C.	FONTEAMENEIRO VISANTOÑA	981580418 619961130	Lactacion				15/05/14		4.460	4.460	-4	
	83739	COROCEIRO E I L SL	PLZA EUROPA 1 PLANTA 6 PUERTA B	629359092	Tenreiros 2			15/05/14	16/05/14	17/05/14	8.093	8.093	-11	
	6535	DE ARO COOPERATIVA S ANTONIO	CAMINO REAL SN SAN VICENTE DE ARO	699073023-Jose Anto 616925917	Lactacion			15/05/14	19/05/14	23/05/14	7.500	7.500	0	
	9707	DOLORES CARNOTA BOTANA	SANTAYA DE MOAR,Nº7 PEDREIRA	981695542	Lactacion	15/05/14	5000	15/05/14		16/05/14	5.000	5.000	-4	
	9705	DOMINGO ANTONIO RAMAS VIDAL	RESTANDE DE ABAIXO 14 RESTANDE	696763 676943364	Lactacion	15/05/14	3200	15/05/14		16/05/14	5.540	5.540	-4	
	6068	EUGENIO CAPELO TUÑAS	VILAR DE ARRIBA Nº2 CAMPOLONGO	981893671	Materia Prima			15/05/14	20/05/14	25/05/14	2.194	2.200	0	
	82797	GANADERIA DO CAMPO SAT N.975	SAN PEDRO DO CAMPOS	981689180 629657843	Lactacion		3960	15/05/14	16/05/14	17/05/14	8.650	8.650	-4	
	5841	GANADERIA DUBRA S.C.	PEREIRAS 6 RESTANDE	696880 635079764	Lactacion	15/05/14	8000	15/05/14		18/05/14	11.000	11.000	-2	
	9019	GANADERIA FREIRE RIVEIRO S.C.	VILAR DE ARRIBA 1 CAMPOLONGO	893694 696648380	Lactacion	15/05/14	3000	15/05/14		16/05/14	3.920	3.920	-4	

Una vez monitorizado el consumo, la otra parte importante del SAD es la de permitir tener ubicadas geográficamente las explotaciones de los clientes sobre la cartografía, ya que ello es de vital importancia para la creación de rutas de reparto eficientes. Con este fin se han instalado receptores GPS en la flota de camiones que permitirán determinar las coordenadas geográficas de los clientes, así como una red de carreteras, en las que se consideran las restricciones de acceso de determinados camiones a determinadas explotaciones.

Como resultado el operador tendrá toda la información necesaria para una toma de decisiones adecuada en cuanto a la planificación de producción (pudiéndose adelantar a la demanda), y en la elaboración de unas mejores rutas de reparto (figura 2). Con el SAD el operador puede ir añadiendo clientes a las tolvas de los camiones de reparto y comprobar el impacto en kilómetros y horas que tiene emplear una u otra configuración de las rutas.

Figura 2: Interface geográfico del SAD



El SAD tiene en su base de datos almacenadas las ubicaciones geográficas de los clientes, junto con red de carreteras susceptible de ser utilizada. Con estas herramientas se puede determinar de forma instantánea la distancia y el tiempo necesarios para ir de una ubicación a otra, siempre que se encuentre registrada en la base de datos del SAD.

3.2 Criterios de evaluación.

Para evaluar de una forma lo más clara y fiable posible se realizará un análisis de varios aspectos de la gestión logística de la fábrica de piensos que se van a ver afectados por la implementación del SAD.

Por un lado se analizará si existe o no incidencia en el número de kilómetros y de horas que debe de hacer la flota de camiones para distribuir las entregas de pienso. Para ello se ha monitorizado la secuencia de entregas de la flota de vehículo de distribución durante 2 años, desde Enero de 2013 hasta Enero de 2015, cotejando los datos con los albaranes de entrega. Esta monitorización permitirá analizar la evolución temporal de los principales parámetros de la distribución de pienso (km recorridos y horas empleadas), a lo largo de un periodo que abarca desde varios meses previos a la implementación del SAD (Abril 2015) hasta varios meses después.

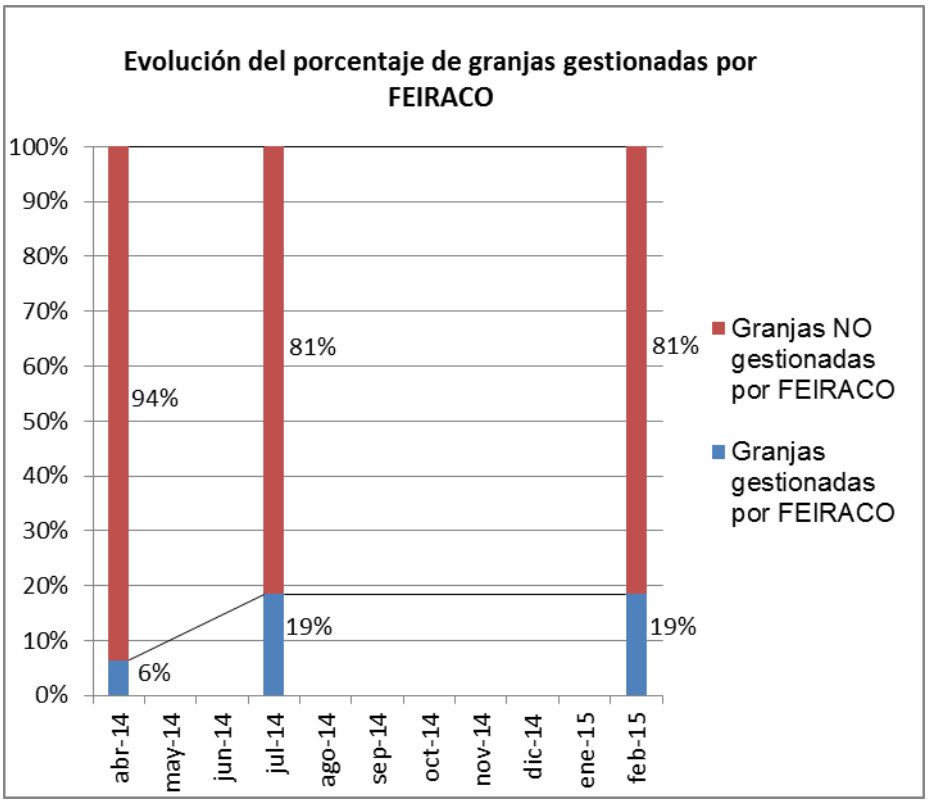
Por otro lado también se evaluará la evolución en el número de clientes que delegan la responsabilidad del suministro de pienso en la fábrica. Se considera que es una buena métrica de calidad ya que refleja la confianza que tiene el cliente final, el último eslabón de la cadena, en la herramienta implementada. Esta confianza será un reflejo de la bondad de las previsiones proporcionadas por el SAD.

4. Resultados.

En primer lugar se expondrán los resultados relativos al índice de adhesión de clientes de la fábrica al proceso de seguimiento y control de los pedidos por parte del operario logístico.

A fecha de Febrero de 2015, 93 explotaciones de un total 502 están siendo gestionadas desde la fábrica, lo que supone un 18,5% del total. La mayor parte de ellas se gestionan a desde los primeros meses de utilización del SAD y hasta la fecha no se han producido bajas derivadas de un mal funcionamiento del mismo (figura 3).

Figura 3: Interface geográfico del SAD



Más allá del número de explotaciones quizá sea más relevante ver qué tipo de explotaciones son sobre las que realmente se tiene más libertad para gestionar las entregas. Se procede por tanto a establecer para el total de entregas realizadas durante el período de estudio, cuantas toneladas van asociadas a las explotaciones gestionadas desde FEIRACO.
Los resultados son que de las 4222 toneladas distribuidas, un total de 1957 se han entregado a las explotaciones antes citadas. Si se refiere a porcentaje equivale a un 46% de la producción de la fábrica. Este valor indica que son las explotaciones con pedidos mayores y generalmente más regulares, las que se pueden adoptan la decisión de que sea la fábrica la que les organice los repartos. El tamaño medio del pedido de estas explotaciones es de 4,5 toneladas, mientras que el resto es de 2,9 toneladas.
A continuación se expondrán los resultados sobre los la parte más importante de este estudio, que es el impacto sobre el tiempo y el kilometraje que emplea la flota en hacer los repartos de las diferentes entregas. Estas variables van a estar referidas a la unidad considerada como referencia, en este caso la tonelada de pienso entregada.
Durante el periodo de estudio se han registrado los datos que se reflejan en la tabla 1. En sombreado rojo se muestran los datos correspondientes al periodo anterior a la implantación del SAD, y en verde los posteriores. El tonelaje es un dato registrado automáticamente en la base de datos en el momento de realizar la expedición. Por otra parte distancia y tiempo se calcularon repitiendo la secuencia de entrega del camión sobre la cartografía antes comentada. Por último, las últimas dos columnas corresponden a los ratios “Km/T” y “min/T” que indican tanto los kilómetros como los minutos empleados parar repartir una tonelada de pienso.

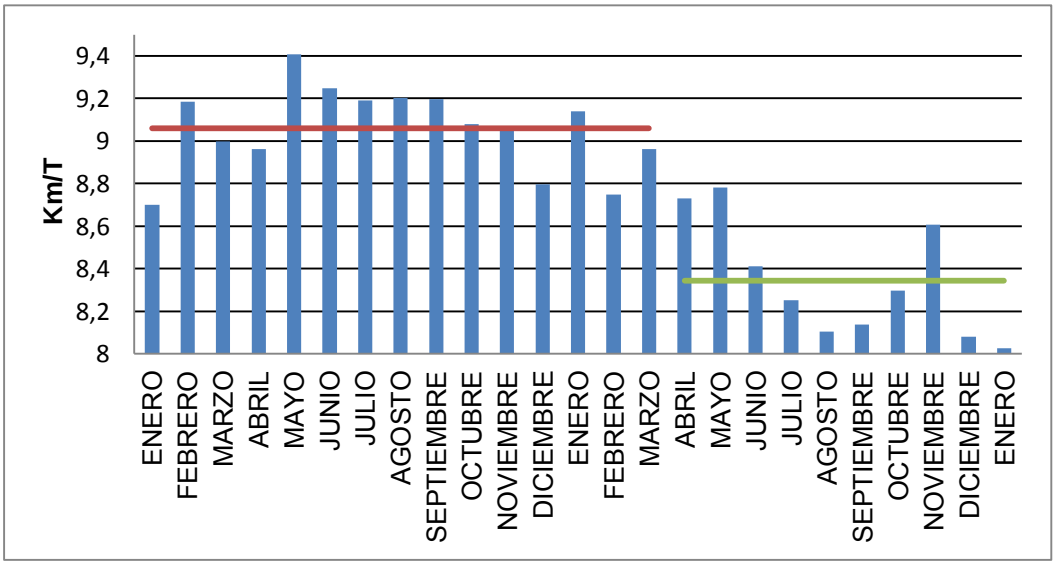
Tabla 1: Resumen de los datos de las expediciones.

Mes	Distancia (Km)	Tiempo (h)	Tonelaje (T)	Km/T	min/T

Mes	Distancia (Km)	Tiempo (h)	Tonelaje (T)	Km/T	min/T
Enero 2013	30093,49	542,82	3459,40	8,69	9,41
Febrero 2013	27918,62	498,97	3039,20	9,18	9,85
Marzo 2013	35425,53	633,89	3936,60	8,99	9,66
Abril 2013	26331,03	468,73	2937,90	8,96	9,57
Mayo 2013	33634,38	600,41	3574,90	9,40	10,08
Junio 2013	30702,44	545,77	3320,30	9,24	9,86
Julio 2013	34877,13	620,48	3794,20	9,19	9,81
Agosto 2013	35406,49	630,14	3846,80	9,20	9,83
Septiembre 2013	35274,33	629,35	3835,00	9,19	9,85
Octubre 2013	38429,46	689,32	4232,10	9,08	9,77
Noviembre 2013	35208,68	625,19	3890,10	9,05	9,64
Diciembre 2013	37025,48	656,73	4209,10	8,79	9,36
Enero 2014	40711,68	723,41	4453,70	9,14	9,75
Febrero 2014	34861,53	620,71	3984,60	8,74	9,35
Marzo 2014	37170,11	660,65	4146,80	8,96	9,56
Abril 2014	39633,96	704,61	4540,30	8,72	9,31
Mayo 2014	34727,49	617,07	3954,20	8,78	9,36
Junio 2014	35131,56	625,44	4176,60	8,41	8,99
Julio 2014	38882,28	693,87	4712,50	8,25	8,83
Agosto 2014	33616,41	603,62	4147,50	8,10	8,73
Septiembre 2014	33878,10	608,78	4163,60	8,13	8,77
Octubre 2014	38405,10	683,47	4628,10	8,29	8,86
Noviembre 2014	31894,80	570,65	3705,80	8,60	9,24
Diciembre 2014	35038,09	630,50	4336,90	8,07	8,72
Enero 2015	20515,39	370,35	2555,70	8,02	8,69

Si se representan gráficamente esta serie de datos se percibe de una forma más clara cuál ha sido la evolución de los mismos.

Figura 4: Evolución del ratio Km/T



En la figura 4 se aprecia que existe una clara tendencia a la baja desde el momento de la implementación del SAD, en marzo de 2014. Se representan en la misma gráfica dos líneas horizontales. La roja representa la media del citado ratio antes de la implementación, que es de 9,06Km/T. Por su parte, la línea verde se corresponde con la media del periodo posterior al comienzo del uso de la aplicación, en este caso la media se sitúa en 8,34Km/T. Traduciendo estas cifras a porcentaje, se observa que se ha producido de media un descenso del 7,9%. Si extrapolamos este dato a un mes medio, en el que se produzcan y entreguen 4000 toneladas de pienso, supone un ahorro de 2863 Km.
Con respecto al ratio min/T sigue un tendencia muy similar. La media del período sin SAD es de 9,69 min/T mientras que después baja hasta los 8,95 min/T, lo que supone un descenso del 7,6%. Estos datos resumen se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Resumen de la evolución de los ratios estudiados.

	Km/T	Min/T
Antes del SAD	9,059	9,690
Después del SAD	8,343	8,952
%	7,9%	7,6%

5. Conclusiones.

A la vista de los resultados obtenidos en el presente estudio, se concluye que existe una mejora notable en cuanto a la gestión logística de la fábrica se refiere. Por una parte la aplicación permite mediante un preciso cálculo de los consumos tener la información permanentemente actualizada del stock de pienso de los clientes. Esto se traduce en que 93 clientes deciden que sea la fábrica la que seleccione el punto óptimo de entrega. El éxito del SAD queda además evidenciado por la positiva evolución que tienen las variables de las rutas de distribución, distancia y tiempo. Calculando el número de kilómetros y de minutos promedio necesarios para distribuir una tonelada de pienso, se observa que se produce un ahorro en torno al 8% en ambos aspectos.

Estos alentadores resultados animan a seguir con el desarrollo e implementación completa del SAD para que permita la generación automática de rutas de distribución.

6. Bibliografía.

Chen, I.J.; Paulraj, A. 2004. Towards a theory os supply chain management: the consturcts and measurements. *Journal of Operations Management*. Issue. *22 (2)*, pp. 119-150.

Faiz, S., Krichen, S. & Inoubli, W., 2014. A DSS based on GIS and Tabu search for solving the CVRP: The Tunisian case. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*s, Issue *17*, pp. 105-110.

Gacias, B., Cegarra, J. & Lopez, P., 2012. Scheduler-oriented algorithms to improve human-machine cooperation in transportation scheduling support systems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Issue *25*, pp. 801-813.

Kullapapruk, P., Supachai, P. & Suphakan, H., 2013. An interactive approach to optimize production-distribution planning for an integrated feed swine Company. *Int. J. Production Economics*, Issue *142*, pp. 290-301.

Mauleón, M. (2006): "Logística y Costes". Madrid. Diaz De Santos.

Ruiz, R., Maroto, C. & Alcaraz, J., 2004. A decision support system for a real vehicle routing problem. *European Journal of Operation Research*, Issue *3(153)*, pp. 593-606.

Sicilia, J-A., Royo, B., Larrodé, E. & Fraile, A., 2014. A decisión support system for a long-distance routing problema based on the ant colony optimization metaheuristic. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, Issue *111*, pp. 1035-1041.

Van Wezel, W., Cegarra, J. & Hoc, J., 2011. Allocating function to humans and algorithms in scheduling. *Behavioral Operations in Planning and Scheduling*. Ed.: Springer Sciencie. London, (England).

03-043

3D MODELLING OF THE MYOCARDIUM BY USING COMPUTATIONAL GEOMETRY TECHNIQUES

Cavas-Martínez, F. ; Cañavate, F.J.F. ; Nieto , J. ; Fernández-Pacheco, D.G. Universidad Politécnica de Cartagena

The primary cause of death in Spain according to the last mortality rates published by the SSO (Spanish Statistical Office) are cardiovascular diseases, with a 30.3% rate. In this scenario it becomes necessary the development of powerful informatics tools that permit to predict, among others, the mechanics of behavior of the heart muscles under determined pathologies. For this reason, this work proposes a method for 3D geometric reconstruction of the myocardium by means of computational geometry techniques, which is later used to simulate the mechanical behavior under normal conditions of ventricular load and stenosis. The variability in the obtained responses permits to characterize the disease, defining a new approach for the diagnosis of this pathology by means of the solid modelling of a biologic structure.

Keywords: *Computational Geometry;3D Modelling;Finite Elements; Biomedicine*

MODELADO 3D DEL MIOCARDIO MEDIANTE TÉCNICAS DE GEOMETRÍA COMPUTACIONAL. ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO.

La primera causa de muerte en España según los últimos datos de mortandad publicados por el INE (Instituto Nacional de Estadística) son las enfermedades cardiovasculares con una tasa del 30.3%. Bajo este escenario se hace necesario el desarrollo de potentes herramientas informáticas capaces de predecir entre otros, los mecanismos de comportamiento de los músculos del corazón ante determinadas patologías. Por ello, el presente trabajo propone un procedimiento de reconstrucción geométrica 3D del miocardio mediante técnicas de geometría computacional para posteriormente simular su comportamiento mecánico bajo condiciones normales de carga ventricular y de estenosis. La variabilidad de las respuestas obtenidas permite caracterizar la enfermedad, definiendo un nuevo enfoque para el diagnóstico de esta patología mediante el modelado sólido de la estructura biológica.

Palabras clave: *Geometría Computacional; Modelado 3D; Elementos Finitos; Biomedicina*

Correspondencia: Francisco Cavas Martínez francisco.cavas@upct.es

1. Introducción.

La continua demanda de nuevos equipos de diagnóstico clínico y de instrumental médico debido al aumento de la esperanza de vida, implica que la medicina se encuentre en un estado de continuo desarrollo y evolución. Todo esto conlleva una constante necesidad de contar con técnicas de diagnóstico cada vez más efectivas y eficientes con el fin de obtener los mejores resultados de sus tratamientos asistidos (Cunha et al., 2014).

La aplicación de los desarrollos tecnológicos del mundo de la ingeniería al campo de la medicina, la denominada bioingeniería, brinda la posibilidad de un análisis de determinadas patologías de forma personalizada. Un caso particular es el empleo de una herramienta software de simulación basada en el método numérico de los Elementos Finitos para caracterizar el comportamiento biomecánico de una estructura biológica ante una determinada patología y su posterior tratamiento mediante técnicas invasivas o no (Lohfeld, Barron, & McHugh, 2005).

Una de las principales limitaciones que presentan los modelos biomecánicos para la obtención de resultados fiables es la obtención de un modelo geométrico real de la estructura biológica a analizar.

La geometría real de los tejidos se alcanza como consecuencia de una serie de tensiones internas, como las debidas al crecimiento, remodelación, daño o deformaciones que se desarrollan durante toda la vida, y de unas acciones externas a las que se ven sometidos por su relación con el ambiente y el resto del organismo humano (Fung, 1993).

En este caso, la bioingeniería utiliza el concepto de ingeniería inversa (Lopez-Herrejon et al., 2015) para facilitar el difícil proceso de reconocimiento geométrico del contorno de una estructura biológica de un paciente en particular (Cavas-Martínez et al., 2014), para que posteriormente éste sirva como modelo base al análisis biomecánico de la estructura fundamentado en el Método de los Elementos Finitos (Ariza-Gracia et al., 2015).

La modelización geométrica de las estructuras biológicas ha experimentado un importante avance vinculado a la mejora en las técnicas de producción de imágenes obtenidas mediante rayos X, tomografía computarizada, resonancia magnética o ultrasonido, como una herramienta de apoyo fundamental para el diagnóstico clínico (Cunha, et al., 2014). A partir de estas imágenes, y previo tratamiento mediante software específico, se pueden obtener datos en forma de nubes de puntos espaciales para la posterior generación de la superficie geométrica y del modelo constitutivo del contorno de la estructura mediante el uso de técnicas de geometría computacional (Mohan et al., 2008). El modelo sólido generado constituye la base geométrica para el posterior análisis biomécanico.

Por otro lado, la primera causa de muerte en España según los últimos datos de mortandad publicados por el INE (Instituto Nacional de Estadística) son las enfermedades cardiovasculares con una tasa del 30.3%. Este sistema cardiovascular está constituido por el corazón y los vasos sanguíneos; el primero funciona como una bomba aspirante-impelente y los vasos conforman una red de tubos que transportan la sangre desde y hacia el corazón (Mahadevan, 2015).

En la medicina cardiovascular se conoce una patología denominada insuficiencia cardíaca, en la cual el corazón no puede bombear la cantidad de sangre que el cuerpo humano necesita (Mahadevan, 2015). Los signos identificativos de esta patología tienen un componente biomecánico implícito, tanto en el corazón (asincronía, disfunción valvular, etc.), como en el sistema vascular y la sangre (incremento de la resistencia viscosa, etc.) los cuales afectan al funcionamiento mecánico del corazón como una bomba (Lindop, 2007).

Esta patología presenta varios estadios según su grado de avance, siendo el más crítico el que afecta a los músculos del corazón responsables de la contracción cardíaca, es decir el

denominado infarto de miocardio. Éste se debe al estrechamiento de la luz o estenosis que se produce en las arterias coronarias como consecuencia del depósito o acumulación de células, de tejido conectivo o de lípidos. Estas alteraciones provocan aumentos de presión en las cavidades del corazón, específicamente en los ventrículos con el consecuente paro cardíaco o infarto en el caso de los grados más avanzados (Doucet & Burwash, 2015)

Por estos motivos, la comunicación se centra en analizar el comportamiento biomecánico de los tejidos del músculo cardiaco, el miocardio, ante diferentes grados de estenosis.

2. Objetivos

La presente comunicación propone inicialmente la obtención de un modelo geométrico real del miocardio mediante el uso de herramientas informáticas basadas en diseño geométrico asistido por ordenador o geometría computacional. Se lleva a cabo la obtención del dominio geométrico del conjunto fundamentada en superficies paramétricas funcionales debido a la versatilidad que ofrecen éstas en los entornos virtuales tridimensionales.

Posteriormente se realiza una simulación numérica mediante el empleo del Método de los Elementos Finitos para el análisis biomecánico del miocardio para diferentes grados de estenosis.

3. Metodología

En este apartado se describen los dos métodos de modelado utilizados en la presente comunicación.

3.1 Modelado del miocardio mediante Geometría Computacional

El dominio geométrico representativo de la anatomía del miocardio se obtiene previa adquisición de las partes constitutivas de éste, es decir, de la parte externa ventricular del corazón, de las aurículas, de las arterias pulmonar y aórtica, y de las cavidades ventriculares izquierda y derecha, todas ellas obtenidas a partir de un procedimiento de reconstrucción basado en el tratamiento de imágenes médicas en formato WDS, el cual es un estándar muy utilizado en cirugía cardíaca. Debido a la complejidad estructural que presentan los tejidos constitutivos del corazón, se adopta como criterio para la definición de la geometría que ésta está conformada por un único tejido y que posee propiedades uniformes. Posteriormente se procede a la reconstrucción del modelo sólido utilizando herramientas software basadas en Diseño Geométrico Asistido por Ordenador (DGAO).

El procedimiento de obtención del contorno geométrico del ventrículo consta de:

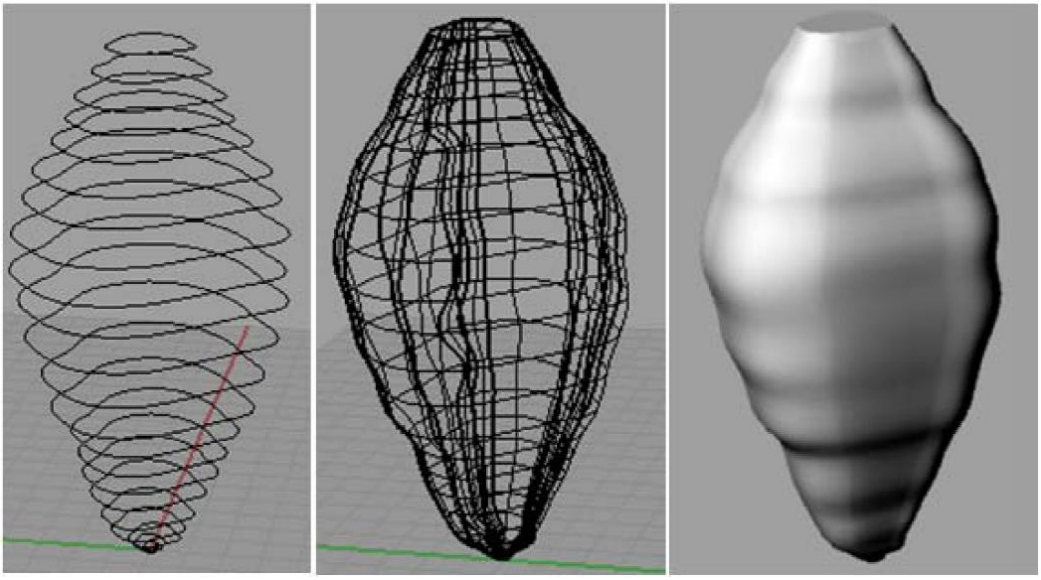
1. Obtención del contorno y las fronteras de la estructura biológica que definen los tejidos a partir de la definición de las curvas Splines sobre la imagen médica en el formato WDS, utilizando para ello el programa de diseño gráfico CorelDRAW Graphics Suite X6. Una vez definido el contorno exterior, se repite la operación para definir los contornos más pequeños correspondientes a cada una de las cavidades, válvulas y arterias del corazón, utilizando para ello una aproximación a los cortes geométricos (slices) mediante curvas splines.

   Las funciones Splines se utilizan para reconstruir superficies paramétricas y son curvas polinomiales donde el cambio del polinomio ocurre en la partición del intervalo paramétrico denominado nodo (Mohan et al., 2008).

2. Importación de las curvas splines al software de modelado sólido Rhinoceros v4 para la generación de la superficie geométrica del modelo tridimensional mediante la interpolación de las curvas anteriormente definidas. La utilización de un software basado en geometría

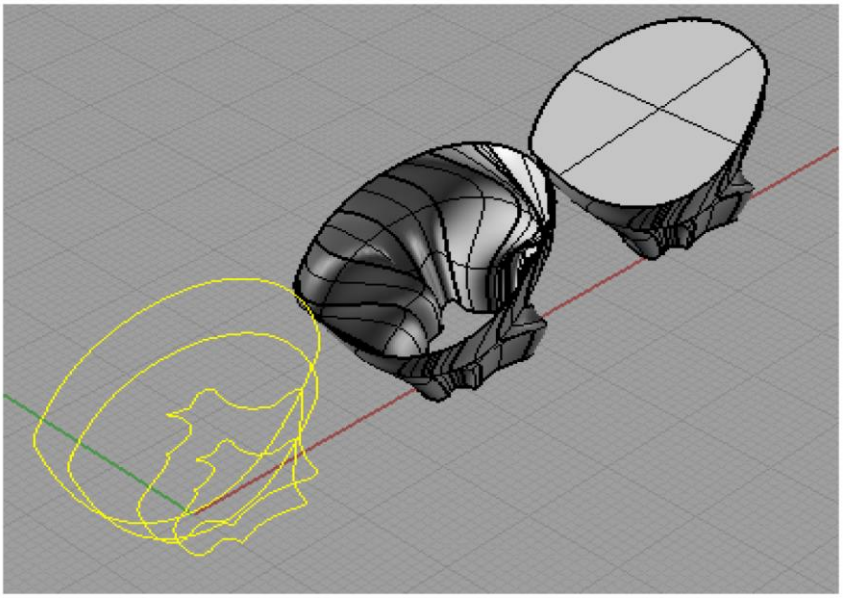
computacional resulta imprescindible para el modelado de las formas biológicas que presentan complejas irregularidades en su contorno. En el entorno virtual se adopta como referencia en el origen de coordenadas el ápice, y el punto más alto corresponde a una altura de unos 13 cm. aproximadamente. El modelo obtenido en el entorno virtual presenta una forma geométrica muy próxima al corazón (ver Fig.1).

Figura 1: Estructura externa ventricular. Modelado sólido mediante geometría computacional



Esta operación se llega a repetir hasta siete veces para poder obtener los siete modelos sólidos independientes constitutivos de la morfología del miocardio: primero se modela la estructura externa ventricular del corazón (fig. 1), posteriormente otros dos modelos sólidos que conforman la parte de las secciones correspondientes a las aurículas (fig. 2), otros dos que corresponden a las entradas de de las arterias pulmonar y aórtica, y los últimos modelos pertenecen a las cavidades correspondientes a los ventrículos izquierdo y derecho.

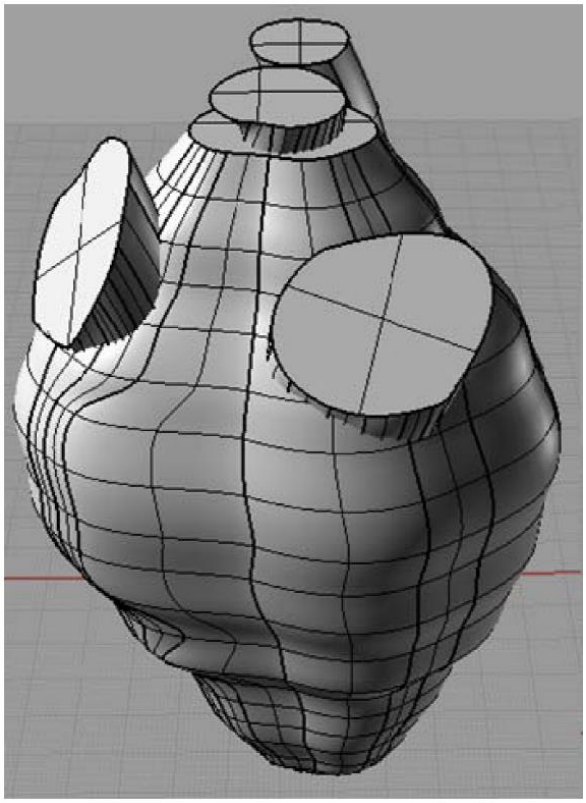
Figura 2: Aurícula. Modelado sólido mediante geometría computacional.



Todos los modelos obtenidos son ensamblados en su posición anatómica y sometidos a una estructura algebraica booleana que esquematiza las operaciones lógicas, así como el conjunto de operaciones unión, intersección y complemento entre sólidos, con el objeto de definir correctamente las cavidades ventriculares, las entradas de las dos aurículas y las arterias pulmonar y aortica (fig. 3).

El modelo sólido geométrico final representa una estructura del tejido muscular del corazón, es decir el miocardio, muy próxima a la realidad.

Figura 3: Miocardio. Modelado sólido mediante geometría computacional



3.2 Modelado biomecánico del miocardio por el Método de los Elementos Finitos

Por otro lado, el modelo geométrico generado del miocardio es exportado a un software específico de elementos finitos, ANSYS v12.0 para proceder a la simulación numérica de la distribución de esfuerzos, desplazamientos y deformaciones que tienen lugar en el sistema bajo la acción de distintos grados de estenosis (fig. 4).

El estrechamiento que provoca la estenosis en las arterias produce una alteración en el flujo del torrente sanguíneo generando un aumento de la presión en los ventrículos del corazón, lo que puede provocar en el caso más extremo un infarto de miocardio.

El método de elementos finitos es un método numérico que permite la resolución de problemas de contorno gobernados por ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales. Se trata de reemplazar el problema diferencial por otro de naturaleza algebraica mediante la subdivisión de una región sobre la cual están definidas las ecuaciones de formas geométricas simples denominadas elementos finitos.

Previamente a la simulación numérica, se deben definir:

- Partes que conforman el sistema y posicionamiento respecto a un único sistema de referencia. En esta comunicación solamente se considera la estructura del tejido cardíaco, es decir, el miocardio, no se han considerado las demás partes de la estructura cardíaca cómo son las válvulas, el pericardio y el endocardio.
- Propiedades mecánicas del sistema. El comportamiento biomecánico del miocardio se considera como lineal e isótropo (tabla 1) (McCulloch, 2000).
- Condiciones de frontera y sistema de cargas. Desde el punto de vista biomecánico la presión ventricular es la condición de frontera más importante. El sistema de cargas a considerar a partir del dato de la condición de frontera son 0%, 20%, 30% de estenosis.
- Elemento finito que se emplea para discretizar y mallar el modelo. Se adoptan 13.854 elementos tetraédricos conformados por cuatro nodos con 3 grados de libertad cada uno, para un total de 23.654 nodos.

Figura 4: Miocardio. Modelado importado a software de elementos finitos

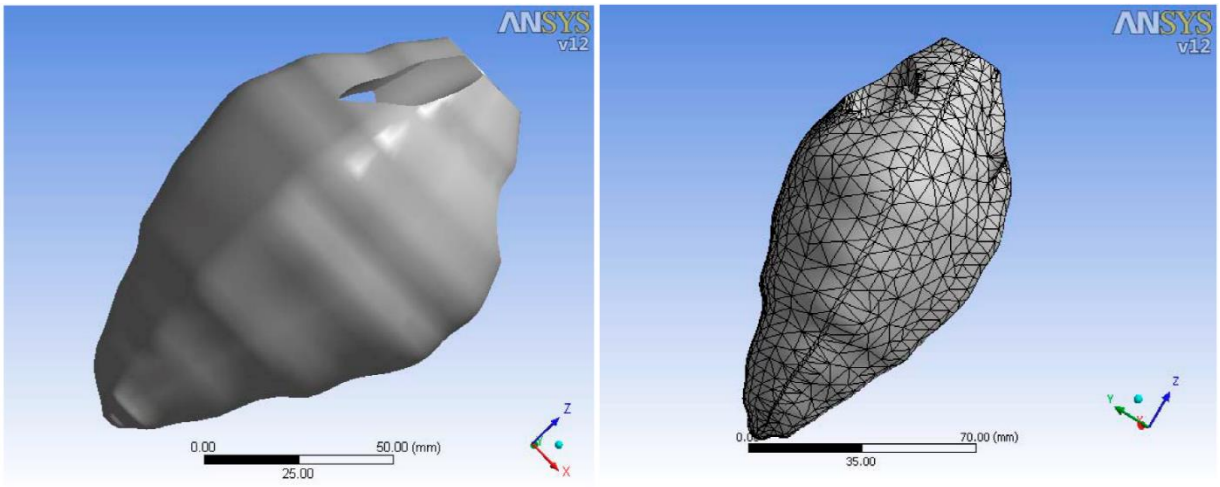


Tabla 1. Características mecánicas promedio del miocardio

	Módulo de Young kPa	Coeficiente de Poisson
Músculo cardíaco	100	0.45

4. Resultados

En este apartado se describen los resultados obtenidos en función de los grados de estenosis (0%, 20% y 30%).

4.1 Estenosis Arterial (0 %)

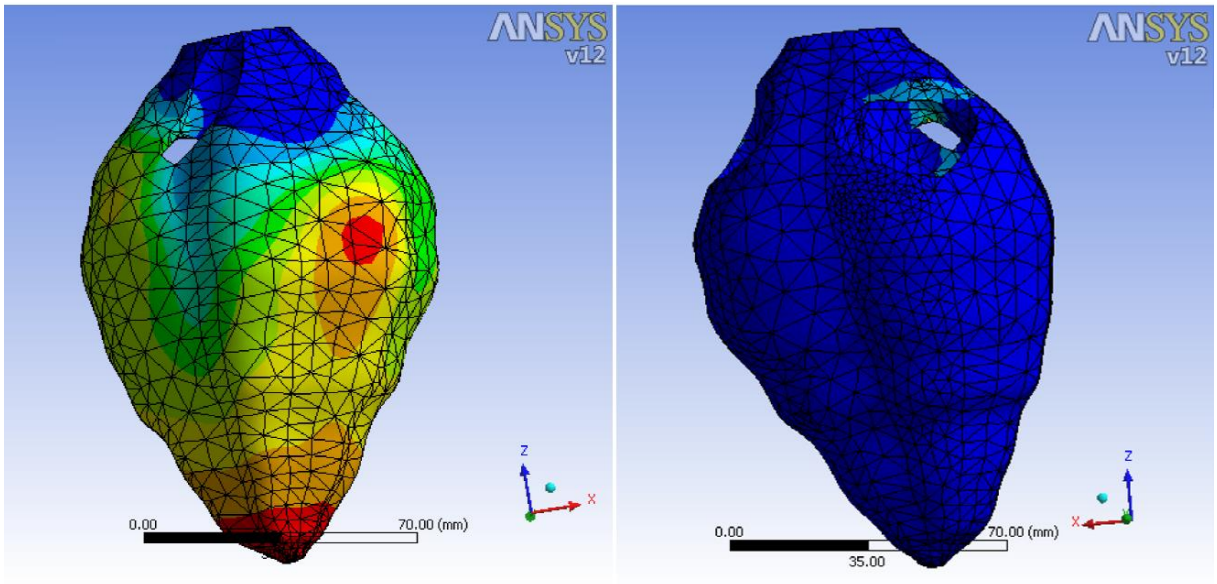
Inicialmente, y sobre el modelo de comportamiento biomecánico definido, se debe conocer la presión máxima de las paredes ventriculares. Ésta se obtiene a partir de la simulación de los valores del flujo del torrente sanguíneo para un valor de 0% de estenosis (McCulloch, 2000), o lo que es lo mismo, la no existencia de un estrechamiento en la arteria coronaria (tabla 2).

Tabla 2. Miocardio (0 % Estenosis). Valores de presión ejercida en los ventrículos

Tiempo (s)	Presión (MPa)
0	$1 \cdot 10^{-3}$
0.1	$1 \cdot 10^{-3}$
0.2	$1.9 \cdot 10^{-3}$
0.3	$1.44 \cdot 10^{-2}$
0.4	$1.58 \cdot 10^{-2}$
0.5	$1.40 \cdot 10^{-2}$
0.6	$1 \cdot 10^{-3}$
0.7	$1 \cdot 10^{-3}$
0.8	$1 \cdot 10^{-3}$
0.9	$1 \cdot 10^{-3}$
1	$1 \cdot 10^{-3}$

En este caso, la presión máxima en las paredes ventriculares es de $1.58 \cdot 10^{-2}$ MPa. Los valores de desplazamiento obtenidos están en torno a los tres milímetros (fig. 5a), estando los mayores desplazamientos localizados en la zona del ventrículo derecho, donde el tejido muscular es menos abundante que en el ventrículo izquierdo, y en la zona del ápice, alcanzando en estas regiones valores de 3.34 mm de desplazamiento. La máxima deformación alcanzada ha sido de 0.632 $mm \cdot mm^{-1}$, estando localizada ésta en la zona del ventrículo derecho (Fig. 5).

Figura 5: Miocardio. 0 % Estenosis. a) Desplazamientos del modelo geométrico, b) deformaciones equivalentes de Von Mises



a) b)

4.2 Estenosis Arterial (20 %)

Para el segundo caso, la presión máxima de las paredes ventriculares se obtiene a partir de la simulación de los valores del flujo del torrente sanguíneo para un valor del 20% de estenosis

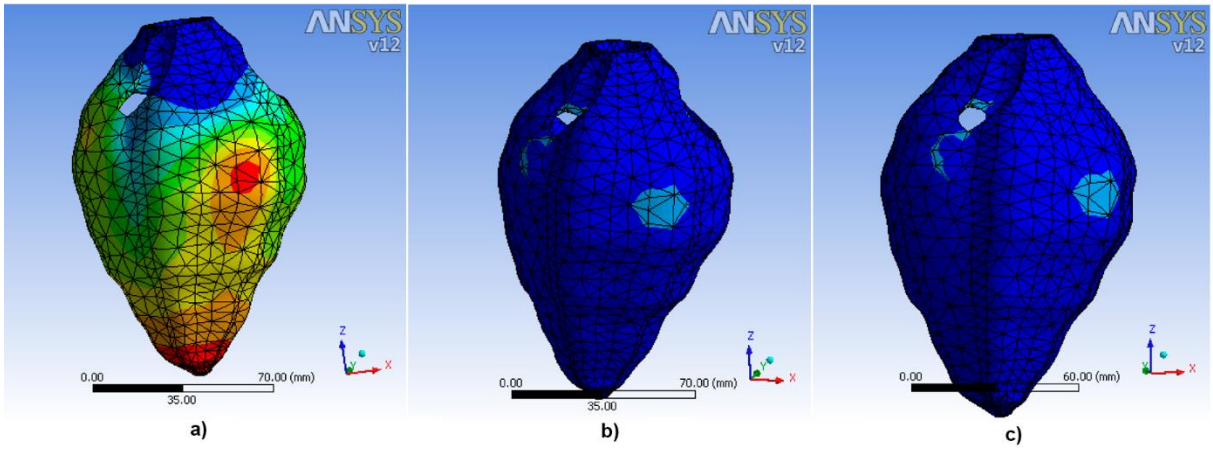
(McCulloch, 2000), o lo que es lo mismo, la existencia de un estrechamiento en la arteria coronaria (tabla 3) lo que implica un aumento de flujo, y en consecuencia de la presión.

Tabla 3. Miocardio (20 % Estenosis). Valores de presión ejercida en los ventrículos

Tiempo (s)	Presión (MPa)
0	$1 \cdot 10^{-3}$
0.1	$1.6 \cdot 10^{-3}$
0.2	$2 \cdot 10^{-3}$
0.3	$1.44 \cdot 10^{-2}$
0.4	$1.93 \cdot 10^{-2}$
0.5	$1.45 \cdot 10^{-2}$
0.6	$2 \cdot 10^{-3}$
0.7	$2 \cdot 10^{-3}$
0.8	$2 \cdot 10^{-3}$
0.9	$2 \cdot 10^{-3}$
1	$2 \cdot 10^{-3}$

En este caso, la presión máxima en las paredes ventriculares es de $1.93 \cdot 10^{-2}$ MPa. Los valores de desplazamiento obtenidos están entorno a los seis milímetros (fig. 6a), estando los mayores desplazamientos localizados en la zona del ventrículo derecho y en la zona del ápice, regiones donde se alcanzan valores de desplazamientos de 6.28 mm. La máxima deformación alcanzada ha sido de 1.252 $mm \cdot mm^{-1}$ y los esfuerzos máximos de 0.125 MPa, ambos localizados en la zona del ventrículo derecho (Fig. 6).

Figura 6: Miocardio. 20 % Estenosis. a) Desplazamientos del modelo geométrico, b) deformaciones equivalentes de Von Mises, c) esfuerzos



4.3 Estenosis Arterial (30 %)

Para el tercer caso, la presión máxima de las paredes ventriculares se obtiene a partir de la simulación de los valores del flujo del torrente sanguíneo para un valor del 30% de estenosis (McCulloch, 2000), o lo que es lo mismo, la existencia de un estrechamiento mayor en la

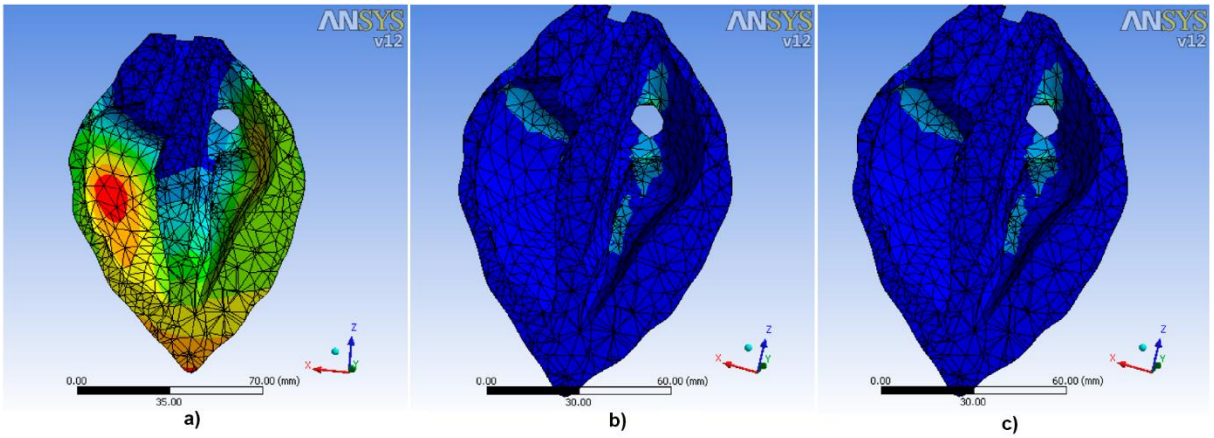
arteria coronaria (tabla 4) lo que implica un mayor aumento del flujo sanguíneo, y en consecuencia de la presión.

Tabla 4. Miocardio (30 % Estenosis). Valores de presión ejercida en los ventrículos

Tiempo (s)	Presión (MPa)
0	$7.9 \cdot 10^{-3}$
0.1	$1 \cdot 10^{-2}$
0.2	$1.06 \cdot 10^{-2}$
0.3	$1.4 \cdot 10^{-2}$
0.4	$2.1 \cdot 10^{-2}$
0.5	$1.5 \cdot 10^{-2}$
0.6	$9 \cdot 10^{-3}$
0.7	$8.4 \cdot 10^{-3}$
0.8	$9 \cdot 10^{-3}$
0.9	$9 \cdot 10^{-3}$
1	$9 \cdot 10^{-3}$

En este caso, la presión máxima en las paredes ventriculares es de $2.1 \cdot 10^{-2}$ MPa. Los valores de desplazamiento obtenidos están entorno a los treinta milímetros (fig. 7a), valores muy altos considerando la geometría del corazón La máxima deformación alcanzada ha sido de 15.572 $mm \cdot mm^{-1}$ y los esfuerzos máximos de 0.563 MPa, ambos localizados en la zona del ventrículo derecho (Fig. 7).

Figura 7: Miocardio. 30 % Estenosis. a) Desplazamientos del modelo geométrico, b) deformaciones equivalentes de Von Mises, c) esfuerzos



5. Conclusiones

Los últimos avances tecnológicos en el ámbito de la bioingeniería permiten a los médicos especialistas tratar determinadas patologías de forma personalizada. En el caso de la cirugía cardíaca es de interés conocer el comportamiento de los tejidos del músculo del corazón miocardio) de un paciente determinado en un escenario natural y/o patológico, especialmente en aquél donde se produce un aumento de la presión en el miocardio como consecuencia del estrechamiento que sufre la arteria por deposición de lípidos o similares, patología denominada como estenosis arterial.

Por lo tanto, resulta fundamental a la hora de definir y caracterizar el modelo de comportamiento biomecánico conocer la geometría real del paciente de estudio. Es por ello que la presente comunicación, basándose en el concepto de ingeniería inversa, define un procedimiento de reconstrucción geométrica 3D del miocardio mediante técnicas de geometría computacional para posteriormente simular su comportamiento biomecánico bajo condiciones normales de carga ventricular y de un rango porcentual de estenosis.

El modelo presentado es de utilidad para los cardiólogos para conocer los valores numéricos máximos de desplazamientos, esfuerzos y deformaciones, e identificar los posibles puntos o zonas de ruptura ante determinados grados de estenosis.

Referencias

Ariza-Gracia, M.Á., Zurita, J.F., Piñero, D.P., Rodriguez-Matas, J.F., Calv0, B. (2015). Coupled biomechanical response of the cornea assessed by non-contact tonometry. A simulation study. Plos ONE, 10, 3.

Cavas-Martínez, F., Fernández-Pacheco, D.G., De La Cruz-Sánchez, Nieto Martínez, J., Fernández Cañavate, F. J., Vega-Estrada, A., Plaza-Puche, A. B., & Alió, J. L. (2014). Geometrical custom modeling of human cornea in vivo and its use for the diagnosis of corneal ectasia. Plos ONE, 9, 10.

Cunha, L., Horvath, I., Ferreira, S., Lemos, J., Costa, P., Vieira, D., Veres, D.S., Szigeti, K., Summavielle, T., Máthé, D., Metello, L.F. (2014). Preclinical imaging: An essential ally in modern biosciences. Molecular diagnosis and therapy, 18, 153-173.

Fung, I.C. (1993). Biomechanics. Mechanical properties of living tissues. New York: Springer-Verlag.

Doucet, K.M., Burwash, I.G. (2015). Low gradient aortic Stenosis. Current treatment options in cardiovascular medicine, 17, 15.

Instituto Nacional de Estadística (2015). Defunciones según causa de Muerte. Madrid. España.

Lindop, G.B.M. (2007). Pathology of the heart, 25, 189-197.

Lohfeld, S., Barron, V., & McHugh, P.E. (2005). Biomodels of bone: A review. Annals of Biomedical Engineering, 33, 295-311.

Lopez-Herrejon, R.E., Linsbauer, L., Galindo, J.A., Parejo, J.A., Benavides, D., Segura, S., & Egyed, A. (2015). An assessment of search-based techniques for reverse engineering feature models.Journal of Systems and Software, 103, 353-369.

Mahadevan, V. (2015). Anatomy of the heart. Surgery, 33, 47-51.

McCulloch, A.D. (2000).Cardiac Biiomchanics. En J. Bronzino & D. R. Peterson (Eds.), Biomedical Engineering Fundamentals, (pp. 54_1-54_27). California: CRC press.

Mohan, S., Kweon, S., Lee, D., & Yang, S. (2008). Parametric NURBS curve interpolators: A review. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 9, 84-92.

03-044

GEOMETRIC DESIGN AND FUNCTIONAL SIMULATION OF A HIP PROSTHESIS IN THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM OF HUMAN BODY

Cavas-Martínez, F. ; Cañavate, F.J.F. ; Nieto, J. ; Fernández-Pacheco, D.G.
Universidad Politécnica de Cartagena

One of the main issues arising nowadays during the implantation of prosthesis in the musculoskeletal system by means of surgery-related procedures is its biomechanical stability. In the particular case of the prosthesis-femur set, there exist the need of proposing geometric models that permit a reliable analysis of its functionality by using finite elements. The present communication proposes to obtain an actual geometric model of a prosthesis-femur set by using computational geometry techniques, which permits to perform, by means of finite elements, a posterior simulation of its biomechanical behavior under the action of various load regime. The generated model has been validated with various load regime, becoming a model extremely useful for the orthopedic physician, providing the possibility of predicting the biomechanical stability of the prosthesis-femur set against the displacements, efforts and deformations that this kind of transplant can suffer.

Keywords: *Computational Geometry;3D Modelling;Finite Elements;Prosthesis; Biomedicine*

DISEÑO GEOMÉTRICO Y SIMULACIÓN DE FUNCIONALIDAD DE UNA PRÓTESIS DE CADERA EN EL SISTEMA MUSCULO-ESQUELÉTICO DEL CUERPO HUMANO

Uno de los principales problemas que se plantean actualmente durante la implantación de prótesis en el sistema musculo esquelético mediante procesos quirúrgicos es su estabilidad biomecánica. En el caso particular del conjunto prótesis-femur existe la necesidad de proponer modelos geométricos que permitan un análisis fiable sobre su funcionalidad mediante el empleo de Elementos Finitos. La presente comunicación propone la obtención de un modelo geométrico real de un conjunto prótesis-femur mediante técnicas de geometría computacional, lo que permite realizar una simulación posterior mediante Elementos Finitos de su comportamiento biomecánico bajo la acción de distintos regímenes de carga. El modelo generado ha sido validado mediante la acción de distintos regímenes de carga, constituyendo un modelo de gran utilidad para el médico ortopédico que le permite predecir la estabilidad biomecánica de la estructura acoplada prótesis-femur frente a los desplazamientos, los esfuerzos y las deformaciones que puede sufrir este tipo de implante.

Palabras clave: *Geometría Computacional; Modelado 3D; Elementos Finitos; Prótesis: Biomedicina.*

Correspondencia: Francisco Cavas Martínez francisco.cavas@upct.es

1. Introducción.

La reconstrucción de modelos geométricos de objetos 3D en un entorno virtual a partir de muestras que definen la superficie de las estructuras sólidas resulta muy atractiva en el ámbito del Diseño Asistido por Ordenador, fabricación, calidad, etc.. Este enfoque en realidad trata un problema de ingeniería inversa dado que lo que se pretende es obtener información o un diseño conceptual a partir de un producto, con el fin de determinar de qué está hecho, qué lo hace funcionar y cómo fue fabricado (Cavas-Martínez et al., 2014; López-Errejón et al., 2015).

Los últimos avances tecnológicos en bioingeniería han permitido el uso de la simulación computacional en medicina para la caracterización del comportamiento biológico, mecánico y químico de las estructuras mediante el empleo de métodos numéricos basados en Elementos Finitos (Lohfeld, Barron y McHugh, 2005).

En el ámbito de la medicina, y más concretamente en la cirugía ortopédica dedicada a corregir o evitar las deformidades o los traumas del sistema musculo esquelético del cuerpo humano, el análisis biomecánico basado en el Método de los Elementos Finitos (MEF) de las estructuras óseas resulta crucial (Burkhart, Andrews y Dunning, 2013), fundamentalmente debido a la influencia de variables relacionadas con el implante (diseño, materiales utilizados y método de fijación), con la estructura biológica ósea (densidad, forma y cargas a las que está sometido) y con el paciente (edad, sexo, balance hormonal y actividad física).

Concretamente, resulta de interés el análisis biomecánico del proceso de la remodelación ósea, es decir, la adaptación que sufre el hueso, como estructura biológica viva, a raíz de las cargas a las que se ve sometido de acuerdo con las leyes de la física-mecánica. La remodelación es consecuencia de patologías de la cadera que conducen a la fractura del fémur, entre ellas las más frecuentes son la artrosis, artritis reumatoide, osteoporosis, necrosis avascular, tumores y traumatismos varios derivados de la actividad diaria o lesiones deportivas (Gharenazifam y Arbabi, 2014). El fémur se encuentra constituido por dos huesos que presentan estructuras distintas: el denominado hueso cortical, que es un hueso denso que no presenta cavidades visibles, y el denominado hueso trabecular, que es un hueso poroso que presenta cavidades comunicadas entre ellas.

Una solución a las patologías anteriormente descritas es la artroplastia de la cadera (Ollivier et al., 2013). Consiste en una técnica quirúrgica invasiva donde el cirujano ortopédico reemplaza la articulación dañada por una articulación artificial denominada prótesis, con el fin de mejorar la calidad de vida del paciente y reestableciendo el normal funcionamiento de la cadera, es decir del sistema musculo esquelético. Así pues una prótesis se define como una pieza artificial cuya misión es reemplazar una articulación biológica dañada y que no puede ser reparada.

En este campo, la prótesis Furlong (figura 1) propone un nuevo concepto de fijación: hasta la fecha actual, la zona de fijación de la prótesis al hueso ha sido realizada utilizando el hueso esponjoso de la metáfisis, sin embargo esta prótesis propone un nuevo de diseño con el fin de garantizar la fijación biomecánica al vástago. Para ello se tiene en cuenta que la porción distal de la prótesis presenta una morfología cilíndrica, lo que le permite el encaje en la diálisis tubular (Robertson et al., 2005), y el hundimiento de la prótesis es impedido mediante el diseño en forma de cono del extremo superior de la porción cilíndrica. El éxito clínico de esta prótesis es que posee tres puntos de fijación y un revestimiento de hidroxiapatita, el cual le permite una buena compatibilidad en su función de fijación biológica del implante. Los resultados clínicos descritos en la literatura científica demuestran el éxito de este tipo de prótesis en comparación con los tradicionales implantes cementados (Etienne et. al, 2004).

Figura 1: Prótesis Furlong (fuente: www.jri-ltd.co.uk/healthcare-professionals/furlong)

Por lo tanto, las investigaciones se centran en analizar el comportamiento mecánico del binomio formado por el sistema prótesis-fémur considerando el comportamiento del material lineal elástico e isótropo o anisótropo, siempre en función de los objetivos que persiga la investigación.

2. Objetivos

La presente comunicación propone inicialmente la obtención de un modelo geométrico real del conjunto prótesis-fémur mediante el uso de herramientas informáticas basadas en geometría computacional. Se busca la obtención del dominio geométrico del conjunto fundamentada en superficies paramétricas funcionales debido a la versatilidad que ofrecen éstas en los entornos virtuales tridimensionales.

Posteriormente se pretende la realización de una simulación numérica mediante el uso del Método de los Elementos Finitos para el análisis del comportamiento mecánico del material del fémur y de la interfaz prótesis-fémur mediante la acción de distintos regímenes de carga. Para ello se considera que el fémur presenta un comportamiento elástico lineal homogéneo e isótropo, distinguiendo entre zona cortical y esponjosa.

3. Metodología

En este apartado se describen los dos métodos de modelado utilizados en la presente comunicación.

3.1 Modelado de la estructura ósea y de la prótesis mediante Geometría Computacional

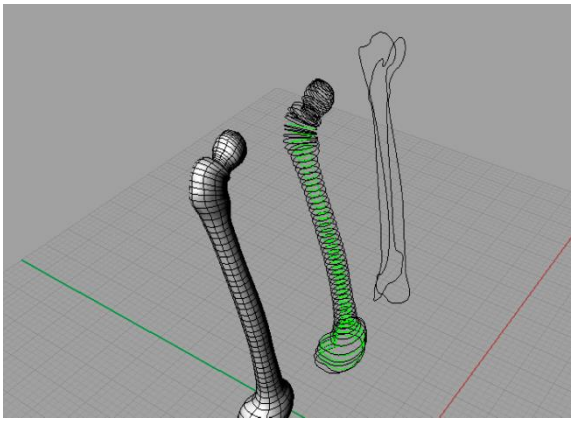
El dominio geométrico representativo del fémur y de la prótesis es obtenido a partir de un procedimiento de reconstrucción basado en el tratamiento de imágenes médicas en formato WDS, que es un estándar muy utilizado en cirugía ortopédica, y posterior reconstrucción utilizando herramientas computacionales basadas en Diseño Geométrico Asistido por Ordenador (DGAO).

El procedimiento de obtención del contorno geométrico del fémur consta de:

1. Obtención del contorno de la estructura ósea a partir de la definición de las funciones Splines sobre la imagen médica en el formato WDS, utilizando para ello el programa de diseño gráfico CorelDRAW Graphics Suite X6. Las funciones Splines son utilizadas para reconstruir superficies paramétricas, y son curvas polinomiales definidas por partes, en donde el cambio del polinomio ocurre en la partición del intervalo paramétrico denominado nodo (Mohan et al., 2008).

2. Importación de las curvas splines al software de modelado sólido Rhinoceros v4, para generar la superficie geométrica del modelo tridimensional mediante la interpolación de las curvas anteriormente definidas. El modelo obtenido presenta en un entorno virtual una forma geométrica muy próxima al fémur (figura 2).

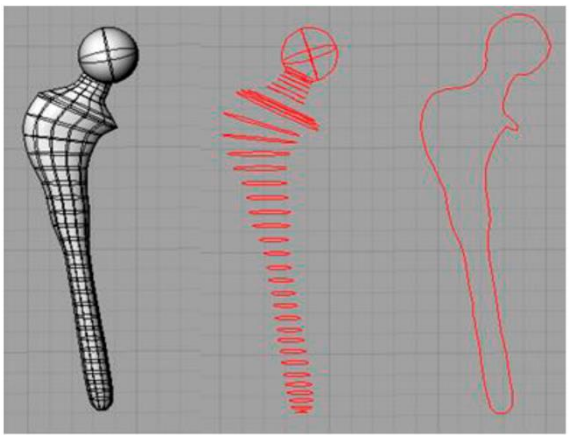
Figura 2: Modelado sólido del Fémur mediante geometría computacional



Respecto a la prótesis Furlong, la combinación de la geometría única del vástago femoral permite conseguir una fijación mecánica primaria inicial estable, con un recubrimiento de cerámica de hidroxiapatita en toda la prótesis que proporciona una interfase estable para conseguir una fijación fisiológica secundaria. El diseño mecánico de la prótesis se realiza utilizando el software Rhinoceros v4, dónde además se crearon los dominios geométricos del hueso cortical y esponjoso para lograr el posicionamiento geométrico correcto de la prótesis, dado que esta depende de la curvatura anatómica del canal medular que es el lugar donde se encaja el vástago.

Una vez definido el posicionamiento espacial del vástago dentro del hueso trabecular se crea el modelo geométrico del sistema acoplado prótesis-femur a partir de una estructura algebraica booleana que esquematiza las operaciones lógicas, así como el conjunto de operaciones unión, intersección y complemento entre sólidos (figura 3).

Figura 3: Modelado sólido del complejo prótesis-fémur mediante geometría computacional

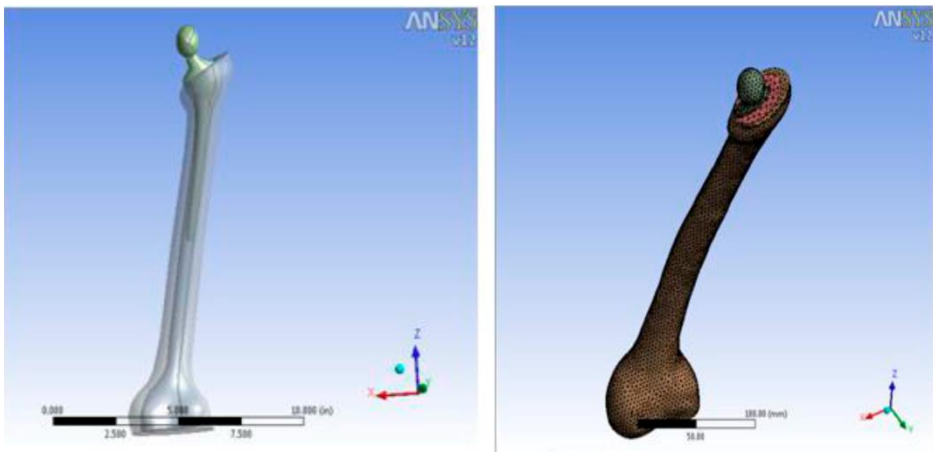


3.2 Modelado de la estructura ósea y de la prótesis por el Método de los Elementos Finitos

Por otro lado, los modelos geométricos generados del fémur y del sistema acoplado prótesis-fémur son exportados a un software específico de elementos finitos, ANSYS v12.0 para proceder a la simulación numérica de la distribución de tensiones y deformaciones que tienen lugar en el sistema bajo la acción de distintos sistemas de carga aplicados (figura 4).

Previamente se deben definir las partes que conforman el sistema y posicionamiento respecto a un único sistema de referencia, asignar las propiedades mecánicas a cada parte del sistema, definir las condiciones de frontera y sistema de cargas, y seleccionar el elemento finito que se emplea para discretizar y mallar el modelo.

Figura 4: Modelado del complejo prótesis-fémur importado a software de elementos finitos



Para el modelado del fémur se van a considerar características mecánicas promedio (ver tabla 1) (Evans, 1973), estando éste conformado por 98.253 elementos y 142.625 nodos. Para el caso del complejo prótesis-fémur, el modelado constará de 104.788 elementos y 152.254 nodos. La prótesis Furlong se considera una aleación de Titanio de 110 GPa de módulo de Young y coeficiente de Poisson 0.3. El tipo de elemento utilizado para el mallado es un tetraedro lineal de 4 nodos, con 6 grados de libertad por nodo (24 grados de libertad en total) (Figura 4). La densidad del mallado ha sido escogida de forma automática por el programa.

Tabla 1. Características mecánicas promedio del hueso

	Módulo de Young ($N \cdot mm^{-2}$)	Coeficiente de Poisson	Resistencia compresión ($N \cdot mm^{-2}$)	Resistencia tracción ($N \cdot mm^{-2}$)
Hueso cortical	14.217	0.32	150	82.2
Hueso esponjoso	500	0.3	23	-

El fémur puede estar sometido a un estado de carga muy variable, siempre en función del movimiento que esté realizando. Además también ha de considerarse la relación mecánica que presenta la inserción sobre él de los ligamentos y los músculos del sistema musculo esquelético del cuerpo humano. Por todo ello una simulación numérica considerando todos los factores anteriormente descritos resulta muy compleja. Es por ello que en esta comunicación se ha considerado el caso más habitual y desfavorable, que corresponde al momento del apoyo sobre una pierna cuando el cuerpo humano realiza la acción de caminar (tabla 2).

Tabla 2. Apoyo monopodal. Cargas actuantes sobre el fémur (N)

	Fx	Fy	Fz
Cabeza Femoral	-1134	-256	-2055
Trocánter mayor	922	426	1367
Trocantes menor	-171	538	-525

En el caso del binomio formado por el complejo fémur-prótesis los sistemas de carga adoptados son los propuestos por Khowpang et al. (2011), quienes proponen discriminar entre dos acciones: por un lado la acción de caminar (sistema de carga 1), y por otro lado la acción de subir escaleras (sistema de carga 2) (ver tabla 3).

Tabla 3. Cargas actuantes sobre el complejo fémur-prótesis (N)

Casos		Fx	Fy	Fz
1	Trocánter Mayor	166	382	957
	Cabeza de Prótesis	136	-630	-1692
2	Trocánter Mayor	383	669	547
	Cabeza de Prótesis	457	-796	-1701

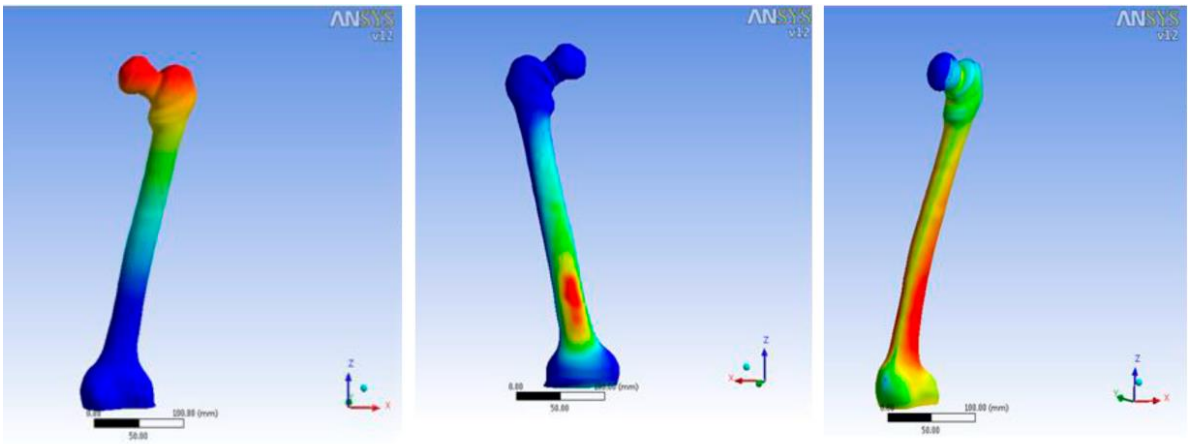
4. Resultados

Este apartado muestra los resultados obtenidos en función de los distintos sistemas de carga aplicados para conocer los esfuerzos, tensiones y deformaciones a los que se someten el fémur y el complejo prótesis-fémur.

4.1 Fémur. Escenario monopodal

En este caso los valores de desplazamiento obtenidos son próximos a 14.9 mm (figura 5a), presentándose los mayores desplazamientos en la cabeza femoral y en el trocánter mayor. La deformación máxima obtenida es de $2.6352 \cdot 10^{-3}$ mm·mm^{-1} (figura 5b) estando está localizada en la diáfisis del fémur. El esfuerzo máximo obtenido es de 46.211 MPa (figura 5c) localizado también en la diáfisis, lo cual es lógico ya que los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones cuando el coeficiente elástico varía con el tiempo, en este caso el hueso trabaja a flexocompresión.

Figura 5: Fémur. Escenario monopodal: a) desplazamientos del modelo geométrico, b) deformaciones equivalentes de Von Mises, c) esfuerzos equivalentes de Von Mises.



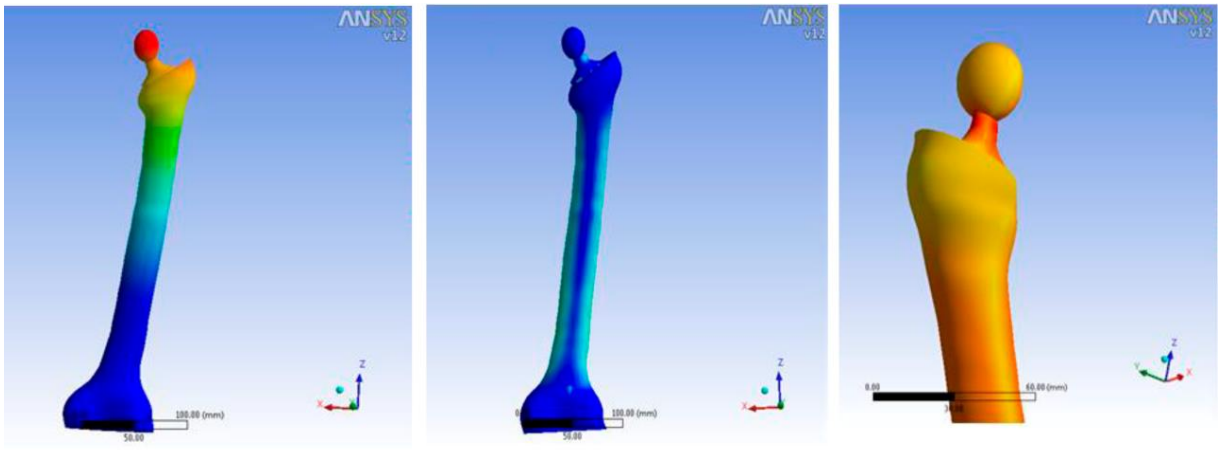
a) b) c)

4.2 Complejo prótesis-fémur. Sistema de cargas 1

En este caso los valores de desplazamiento obtenidos son próximos a 9.1 mm (figura 6a), presentándose los mayores desplazamientos en la cabeza de la prótesis. La deformación máxima obtenida es de $1.869 \cdot 10^{-3}$ mm·mm^{-1} (figura 6b) estando está localizada en la región del cuello de la prótesis y en el área del fémur donde se encuentra encajado el cono de la

prótesis, el cual impide el hundimiento en la parte del hueso constituida por material esponjoso. El esfuerzo máximo obtenido es de 274.01 MPa (figura 6c) localizado también en las regiones donde se manifiestan los máximas deformaciones, es decir cuello de la prótesis y área de apoyo del cono de la prótesis.

Figura 6: Complejo prótesis-fémur. Sistema de cargas 1: a) desplazamientos del modelo geométrico, b) deformaciones equivalentes de Von Mises, c) esfuerzos equivalentes de Von Mises.



a) b) c)

4.3 Complejo prótesis-fémur. Sistema de cargas 2

En este caso los valores de desplazamientos obtenidos son próximos a 10.1 mm, presentándose los mayores desplazamientos en la cabeza de la prótesis. La deformación máxima obtenida es de $1.3546 \cdot 10^{-3}$ mm·mm^{-1}, estando también localizada en la región del cuello de la prótesis y en el área del fémur donde se encuentra encajado el cono de la prótesis. El esfuerzo máximo obtenido es de 259.16 MPa localizado también en las regiones donde se manifiestan los máximas deformaciones.

5. Discusión y conclusiones

En la literatura científica existen varios autores (Krauze, Kaczmarek & Marciniak, 2008; Khowpang et al., 2011) que han realizado simulaciones numéricas utilizando el método de los Elementos Finitos del fémur y del complejo fémur-prótesis respectivamente, si bien, en ambos casos se parte de un modelo geométrico de la estructura ósea obtenido mediante estándares clínicos.

Los resultados obtenidos por estos autores son comparados en cuanto a condiciones de carga, contorno y comportamiento del material con los obtenidos en la presente comunicación bajo el enfoque de la ingeniería inversa (tablas 4, 5, 6), observándose que presentan órdenes de magnitud similares.

Tabla 4. Fémur. Escenario monopodal. Comparativa desplazamientos y esfuerzos

	Desplazamiento Total (mm)	Esfuerzos máximos (Mpa)
Krauze, Kaczmarek y Marciniak (2008)	15.83	49.4
Escenario Monopodal	14.9	46.211

Tabla 5. Complejo prótesis-fémur. Sistemas de cargas 1. Comparativa deformaciones y esfuerzos al caminar

Sistemas de Carga	Esfuerzos máximos en el cuello de la prótesis (MPa)	Deformaciones máximas en el hueso femoral ($mm \cdot mm^{-1}$)
Khowpang et al. (2011)	260	$1.074 \cdot 10^{-3}$
Sistema de Cargas 1	274.01	$1.869 \cdot 10^{-3}$

Tabla 6. Complejo prótesis-fémur. Sistemas de cargas 2. Comparativa deformaciones y esfuerzos al subir escaleras

Sistemas de Carga	Esfuerzos máximos en el cuello de la prótesis (MPa)	Deformaciones máximas en el hueso femoral ($mm \cdot mm^{-1}$)
Khowpang et al. (2011)	253	$1.251 \cdot 10^{-3}$
Sistema de Cargas 2	259.16	$1.3546 \cdot 10^{-3}$

Así pues, han sido obtenidos dos modelos de elementos finitos: uno para la estructura del fémur y otro del complejo prótesis-fémur a partir de un modelo geométrico personalizado determinado por las funciones splines definidas sobre una fotografía de un paciente específico en el caso del fémur, y en él caso del complejo prótesis-fémur mediante la combinación del modelo personalizado y los datos mecánicos de la prótesis modelo Furlang. Los modelos propuestos han sido validados mediante la realización de ensayos a distintos regímenes de carga, constituyendo un modelo de gran utilidad para el cirujano ortopédico que le permite predecir la estabilidad biomecánica de la estructura acoplada prótesis-femur frente a los desplazamientos, los esfuerzos y las deformaciones que puede sufrir este tipo de implante.

Referencias

Burkhart, T.A., Andrews, D.M., & Dunning, C.E. (2013). Finite element modeling mesh quality, energy balance and validation methods: A review with recommendations associated with the modeling of bone tissue. Journal of Biomechanics, 46, 1477-1488.

Cavas-Martínez, F., Fernández-Pacheco, D.G., De La Cruz-Sánchez, Nieto Martínez, J., Fernández Cañavate, F. J., Vega-Estrada, A., Plaza-Puche, A. B., & Alió, J. L. (2014). Geometrical custom modeling of human cornea in vivo and its use for the diagnosis of corneal ectasia. Plos ONE, 9, 10.

Etienne, G., Bezwada, H.P., Hungerford, D.S., & Mont, M.A. (2004). The incorporation of morselized bone grafts in cementless acetabular revisions. Clinical Orthopaedics and Related Research, 428, 241-246.

Evans, F.G.(1973).Factors affecting the mechanical properties of bone. Bulletin of the New York Academy of Medicine: Journal of Urban Health, 49, 751-764.

Gharenazifam, M.,& Arbabi, E.(2014). Anatomy-based 3D skeleton extraction from femur model. Journal of Medical Engineering and Technology, 38, 402-410.

Khowpang, E., Aroonjarattham, P., Saktaveekulkit, N., Aroonjarattham, K., Sitthiseripratip, K., & Mahaisavariya, B.(2011). The Shape Analysis of Hip Prosthesis Inserted in Thai

Femoral Bone: Finite Element Analysis. The Second TSME International Conference on Mechanical Engineering. Krabi (Tailandia).

Krauze, A., Kaczmarek, M., & Marciniak, J. (2008). Numerical analysis of femur in living and dead phase. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 26, 2.

Lohfeld, S., Barron, V., & McHugh, P.E. (2005). Biomodels of bone: A review. Annals of Biomedical Engineering, 33, 295-311.

Lopez-Herrejon, R.E., Linsbauer, L., Galindo, J.A., Parejo, J.A., Benavides, D., Segura, S., & Egyed, A. (2015). An assessment of search-based techniques for reverse engineering feature models.Journal of Systems and Software, 103, 353-369.

Mohan, S., Kweon, S., Lee, D., & Yang, S. (2008). Parametric NURBS curve interpolators: A review. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 9, 84-92.

Ollivier, M., Parratte, S. , Lecoz, L., Flecher, X., & Argenson, J. (2013). Relation between lower extremity alignment and proximal femur anatomy. Parameters during total hip arthroplasty. Orthopaedics and Traumatology: Surgery and Research, 99, 493-500.

Robertson, A., Lavalette, D., Morgan, S., & Angus, P.D. (2005). The hydroxyapatite-coated JRI-Furlong hip Outcome In Patients Under The Age of 55 Years. The Journal of Bone and Joint Surgery,87-B.

TOPIC 4. ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND NATURAL RESOURCE MANAGEMENT

ÁREA TEMÁTICA 4. INGENIERÍA AMBIENTAL Y GESTIÓN DE RECURSOS NATURALES

04-001

CRITICAL FEASIBILITY ANALYSIS OF FRACKING IN SPAIN

Delgado Calin, Gines; Serigot, Juan
UPCT

This article is a summary of a critical feasibility analysis of the fracking development in Spain from the sustainable development point of view. We analyse the No fracking argumentation having a look to the impacts and risks that hydraulic fracture brings in order to explore and explote the non-conventional natural gas resources. Besides the analysis of topics that are flowing in the media, we propose some rational ideas to implement them progressively in Spain based on the experiences and lessons learned at USA with some years of fracking explosion and from best practices from the heavy industry. This communication is the summary of the results of an investigation inthe Projects Engineering subject at the UPCT in Cartagena.

Keywords: *energy; sustainable development; fracking; environmental impact.*

ANÁLISIS CRÍTICO DE LA VIABILIDAD DEL FRACKING EN ESPAÑA

Esta comunicación presenta un análisis crítico de la viabilidad del Fracking en España desde el punto de vista del desarrollo sostenible analizando los argumentos de los que se oponen a ella, estudiando en detalle los mas notables impactos y riesgos de la tecnología . Además y como aportación original se proponen algunas medidas de mitigación y control a la hora de su autorización ambiental para la racionalización de su implantación progresiva en España en base a las lecciones aprendidas de su desarrollo en Estados Unidos y las mejores técnicas disponibles procedentes de otras actividades industriales. Esta comunicación es el resultado de un trabajo de investigación dentro del área de Proyectos de Ingenieria en la UPCT de Cartagena.

Palabras clave: *energía; desarrollo sostenible; fracking; impacto medioambiental.*

Correspondencia: Ginés Delgado gines.delgado@upct.es

1. Introducción

En primer lugar, es preciso tener una visión integral de lo que significa el concepto desarrollo. En la “Declaración sobre el derecho al desarrollo” que aprobó la Asamblea General de las Naciones Unidas en diciembre de 1986, se indica que “el desarrollo es un proceso global económico, social, cultural y político, que tiende a la mejora constante del bienestar de toda la población y de todos los individuos sobre la base de su participación activa, libre y significativa en este desarrollo y en la distribución justa de los beneficios que de él se derivan”.

El concepto de “desarrollo sostenible” fue formulado explícitamente en el informe presentado por la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas en 1987, conocido como el Informe Brundtland, que lo define como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. El desarrollo sostenible descansa sobre la aceptación de que el desarrollo es posible y necesario; de que debe hacerse sostenible, perdurable y viable en el tiempo, y de que la sostenibilidad debe ser triple: Sostenibilidad social, medioambiental y económica.

Los factores que condicionan la sostenibilidad del modelo energético mundial y, en particular, del modelo español, son básicamente tres: la disponibilidad de recursos para hacer frente a la demanda de energía; el impacto ambiental ocasionado por los medios utilizados para su suministro y consumo y la enorme falta de equidad en el acceso a la energía, que constituye un elemento imprescindible para el desarrollo humano en la actualidad.

¿Por qué España se plantea el fracking? : Nuestro país importa casi la totalidad de su consumo energético de gas y petróleo, y nuestra dependencia energética en hidrocarburos es de las más altas de Europa. En España, en 2012, importamos el 4,5% del PIB en hidrocarburos, más de 45.000 millones de euros, de los cuales 15.000 MM € son de gas.

En plena crisis, España ha batido su récord de dependencia energética y ha agravado sus riesgos geoestratégicos: en 2013, con crecimiento negativo del PIB, la dependencia del gas argelino ha pasado del 42 al 52 por ciento. (CESEDEN, 2012)
La dependencia energética es un grave problema para la economía puesto que afecta a la balanza comercial: importamos combustibles fósiles del exterior (principalmente petróleo y gas) a unos precios que están sujetos a grandes cambios en los mercados internacionales. Es necesario, por tanto, reducir dicha dependencia de los hidrocarburos, apostando por políticas de ahorro energético y por el fomento de las energías renovables. Como podemos ver en la gráfica 1, la dependencia energética alcanzó su punto máximo en 2006, y aunque ha ido bajando en los últimos años, todavía no ha bajado lo suficiente Así lo recomienda la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2012), que estimaba que, en tres años, las fuentes renovables crecerán un 40% en todo el mundo y serán la segunda fuente de generación eléctrica, por encima del gas y por debajo del carbón. España no debería ir a contracorriente de lo que marca la tendencia energética mundial.

Figura1: Evolución de la dependencia energética de España (Metodología Eurostat)

Hay sectores que opinan que para reducir la dependencia de los hidrocarburos la solución está en la acción combinada de eficiencia, fomento de las Energías Renovable y un cierto decrecimiento o cambio de modelo que afecte al consumo, estilo de vida, transporte, localización, etc.. A pesar de los esfuerzos que se están realizando, estas son apuestas de muy largo plazo y que necesitan de políticas en I+D, educación, incentivos. Según las proyecciones de organismos internacionales; agencia europeas y las propias asociaciones no gubernamentales como por ejemplo Greenpeace (2010) y Europa (2012) apuntan a horizontes como el 2020 para el 20%, 2035 para un 50% y del año 2050 para un posible 100% de energías renovables para la producción de electricidad. Sin embargo, las renovables a corto y medio plazo, no parece que puedan solucionar al 100% el problema energético, pues no garantizan la seguridad del suministro, y plantean todavía un gran listado de problemas técnicos, económicos y sociales que todavía se deben resolver en los próximos años.

Mientras tanto, el gas natural es el aspirante a ser uno de los grandes vectores de la energía y de la economía como tecnología de transición a un futuro de renovables. El gas natural pasaría a ser soporte/respaldo de las renovables aportando una facilidad en su transporte y distribución con menor impacto ambiental y menor riesgo en el suministro por la distribución geográfica mundial de los recursos que cambiarían el actual panorama geopolítico y el reparto de la riqueza e influencia de muchos países ahora dependientes.

2.- El gas natural y el fracking en España

El sector del gas natural en España ha experimentado en los últimos años cambios relevantes en su estructura y funcionamiento, motivados esencialmente por los principios liberalizadores establecidos en las Directivas europeas. Dichos principios propugnan la apertura de los mercados a la competencia, en beneficio de los consumidores, y la mayor interconexión de los mismos para garantizar la seguridad de suministro.
La demanda de gas se reparte en dos grandes mercados, el mercado convencional, que agrupa los suministros de gas destinados al consumo residencial, al sector servicios y al sector industrial; y el mercado eléctrico, que agrupa los suministros de gas destinados a la generación en centrales eléctricas.

Tabla 1: Evolución de la demanda anual de gas natural en España.

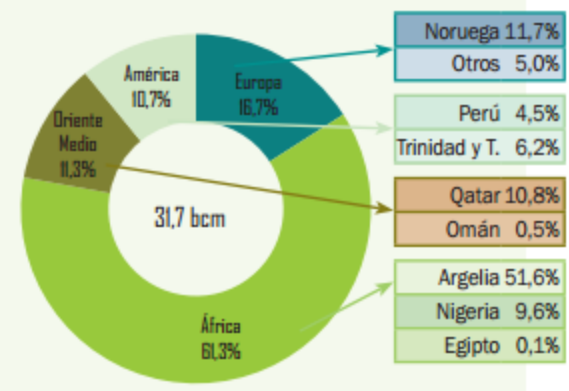
	GWh				
	2009	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Demanda total	404.555	404.315	377.792	365.351	335.989
Demanda Convencional	236.621	258.585	255.884	267.286	279.849
Demanda de Generación eléctrica	157.930	134.797	109.021	84.722	56.140
LNG de Consumo directo	10.004	10.934	12.887	13.343	11.786
% Demanda Convencional	58%	64%	68%	73%	83%
% Demanda Generación eléctrica	39%	33%	29%	23%	17%

Fuente: CORES 2013. Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos, tutelada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. www.Cores.es

Como se observa en la tabla 1 la evolución de consumos registrada desde 2009 a 2013: la demanda convencional aumenta frente al descenso de consumos para generación eléctrica. Por tanto, no se necesita gas natural para generación eléctrica sino para cubrir la demanda convencional. El abastecimiento de gas al mercado español está condicionado por su situación geográfica, por la ausencia casi total de producción nacional, así como las escasas interconexiones con Europa. Estos aspectos provocan una alta dependencia de los abastecimientos de gas por vía marítima, en forma de LNG, que en el año 2012 representaron un 61% de los aprovisionamientos, mientras que las entradas por gasoducto representaron el 39% restante, que han aumentado de forma considerable por la puesta en marcha del gasoducto de conexión con Argelia (MEDGAZ).

Durante el año 2013, el mercado español se abasteció de un conjunto de once países. El principal país aprovisionador es Argelia, con un porcentaje del 51,4%. Noruega (11,7%), Qatar (10,8%), Nigeria (9,6%), Trinidad y Tobago (6,2%) y Perú (4,5%) y completan el grupo de países más importantes en la estructura de abastecimiento. La producción nacional es muy reducida (0,1% del consumo de gas en España).

Figura 2: Importaciones de Gas natural por áreas geográficas en 2013 en España.



Fuente: Red Eléctrica de España (www.ree.es)

El Gas No convencional en el mundo y en España

Está previsto (KPGM 2012 , IEA 2011) que el gas no-convencional constituirá en 2035 el grueso de la producción de gas natural en Estados Unidos y China, lo que auparía a estos dos países al segundo y tercer puesto del ranking mundial de productores, con 779 bcm y 303 bcm por año, respectivamente. Rusia seguiría ocupando el primer lugar de dicho ranking, con 881 bcm anuales, la mayor parte de los cuales provendrían de fuentes convencionales.

La Agencia de la Energía de Estados Unidos distingue dos grupos de países donde la extracción de gas de pizarra es más interesante o viable:

El primer grupo consiste en los países que tienen una alta dependencia de gas natural de importación, tienen como mínimo alguna infraestructura de producción de gas natural y en los que las estimaciones de recurso de gas natural son significativas respecto a su consumo de gas (Francia, Polonia, Turquía o Ucrania).

El segundo grupo de países son aquellos en los que se estima que las reservas de gas de pizarra son muy grandes y en los que ya existe infraestructura para la producción y exportación de gas natural. (Canadá, México, China, Australia, Libia, Argelia o Brasil).

España no se encuentra en ninguno de los dos grupos.

En la siguiente tabla se refleja una estimación de las reservas de gas no-convencional por países.

Tabla 2: Estimación de las reservas de gas no-convencional por países.

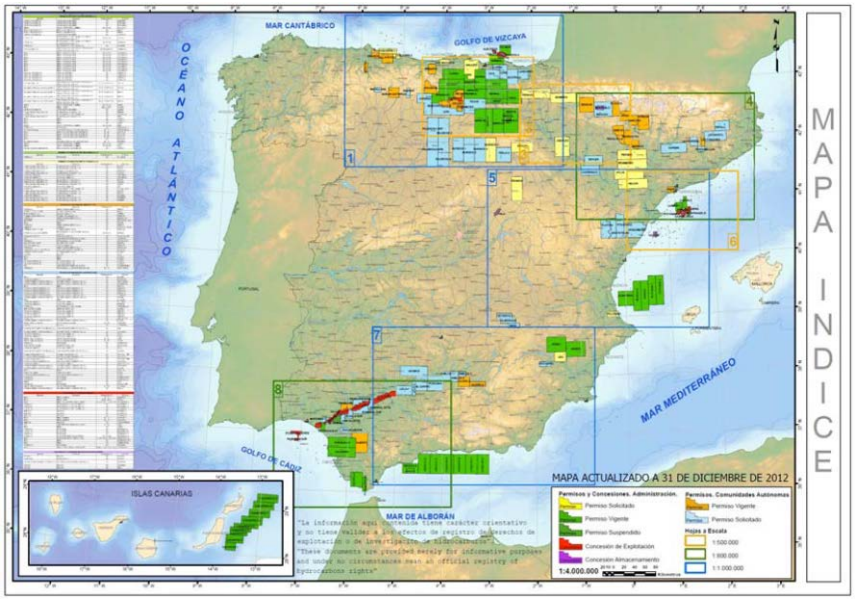
País	Reservas de gas de esquisto (trillones de pies cúbicos)
China	1,275
USA	862
Argentina	774
México	681
Sudáfrica	485
Australia	396
Canadá	388
Libia	290
Algeria	231
Brasil	226
Polonia	187
Francia	180
Otros	647

Fuente: Energy Information Administration.(EIA)

España no es ajena al interés por los recursos no-convencionales de gas natural. Aunque en principio, no presenta un potencial comparable al de países como Polonia o Francia. El potencial español es, sin duda, más que interesante para un país que importa prácticamente

el 99% de sus hidrocarburos, con un elevado coste de la energía que grava su competitividad y un problema de desempleo. Según algunos estudios [3], España puede albergar reservas suficientes de gas no-convencional para abastecer el consumo durante 40 años (las corrientes más optimistas hablan de 75 años) y produciría 10,000 puestos de empleo, según el Informe Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas de Cámara Rasco, Ángel y Pendas Fernández, Fernando (2013).
España que, comparativamente con el resto de países europeos, es un país semi-explorado en materia de hidrocarburos convencionales, se encuentra en una etapa muy temprana en la prospección de recursos no-convencionales.

Figura 3: Mapa de permisos y concesiones de hidrocarburos.



Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo

Hasta el momento, la obtención de permisos exploratorios, autorizaciones administrativas, tanto a nivel central, como autonómico y local, junto con la compleja normativa medioambiental, con campos de actuación no bien delimitados entre las diferentes administraciones, están frenando la actividad de exploración en España de todos los hidrocarburos, convencionales y no-convencionales. Como se observa en la figura 3, las principales aéreas prospectivas se localizan en las cuencas Vasco-Cantábrica, Pirenaica, Ebro, Guadalquivir y Bética

3. Evaluación comparativa de impacto medioambiental y socioeconómico

En la siguiente tabla resumimos los impactos medioambientales más significativos y frecuentes encontrados en los informes de The Royal Society and The Royal Academy of Enginnering (2012), Davies et al. (2012); Osborn et al (2011); Lechtenböhmer et al (2012); NYSDEC (2011), Bishop, Ronald E. (2011), Howarth et al. (2011), O´Sullivan et al (2012) y King, George E. (2010), con los argumentos positivos/a favor y negativos o en contra.

Tabla 3: Resumen de los impactos mencionados ambientales del fracking según bibliografía consultada.

FACTOR	a favor	en contra
Situación del proyecto	Los proyectos actualmente se encuentran en fase de exploración. Esta fase puede durar entre 3 y 4 años. Estos permisos no autorizan a extraer ni a producir gas.	La exploración puede tener los mismos riesgos e impactos que la explotación.
Riesgos durante la perforación	Baja probabilidad e impacto, siempre y cuando se respeten las buenas prácticas de la industria.	Riesgos de explosión, escapes de gas, escapes de ácido sulfhídrico y derrumbes.
Ocupación del terreno	Los pozos ocupan poco terreno y son fácilmente recuperables al final del proyecto. La ocupación suele durar “sólo” un máximo de 10 años.	Si el yacimiento es extenso, suelen perforar de 1.5 a 3.5 plataformas por km2, con una ocupación de 2 hectáreas cada una, con gran impacto paisajístico.
Contaminación acústica	El impacto acústico de la actividad se encuentra regulado al igual que en el resto de perforaciones.	Genera contaminación acústica a causa del incesante trabajo de perforación y tráfico pesado.
Marco normativo	El actual marco reglamentario europeo, realizado por la Comisión Europea y nacional es suficiente. La legislación medioambiental es muy exigente.	La legislación actual aplicable a esta técnica es insuficiente en muchos aspectos, debería ser más específica

Creación de puestos de trabajo	Genera empleo. Impactaría la economía local por las necesidades logísticas de las empresas. Los datos tomados de referencia de EEUU dicen que en 400.000 pozos trabajan 1.700.000 trabajadores, es decir, 4,25 por pozo.	El empleo estará dirigido hacia una plantilla altamente técnica, cualificada y de gran experiencia. Parte de la cual puede provenir de contratación con terceros, hasta que los conocimientos y la experiencia se desarrollen localmente.
Contaminación de acuíferos	La explotación se realiza a gran profundidad por debajo de las masas de agua subterránea. Se sitúan dos barreras de tuberías y cementaciones que aíslan el pozo de los acuíferos, barreras que se someten a rigurosas pruebas de estanqueidad.	La mayoría de las violaciones medioambientales por fracking en EEUU provienen de la contaminación de las aguas.
Cantidad de agua empleada	Un pozo tipo utiliza una media de 15.000 m3 durante la vida útil. Esta cifra es menor que la cantidad que se utiliza para regar dos hectáreas de maíz en época de riego o un campo de golf durante 2 meses.	Compite su uso con el uso de agua dulce para consumo humano, agrícola o ganadero en zonas de escasez de agua.
Revelación de la composición química a las autoridades	La composición química de los compuestos utilizados como aditivos se revela a las autoridades competentes y a los ciudadanos.	Las empresas suministran muy poca información acerca de las sustancias que emplean como aditivos y de los riesgos que conlleva su manejo.
Productos químicos empleados	Los productos químicos empleados son como máximo un 1% del fluido utilizado para fracturar. Todos los aditivos que se utilicen deberán estar registrados en el código europeo REACH y se manipularán y usarán de acuerdo con las normativas europeas y nacionales.	Un 1% del líquido de fracturación son muchos litros (15.000 l) y algunos de ellos están compuestos por químicos que son tóxicos, nocivos y en definitiva aumenta el riesgo de contaminación.

Emisiones Metano y CO2	La generación de electricidad a partir del gas emite menos de gases de efecto invernadero que el carbón. Las emisiones de metano y CO2 asociadas a la exploración y desarrollo del shale gas se pueden minimizar.	Se producen escapes de metano a la atmosfera y es un gas que es 25 veces más perjudicial que el CO2 de cara al calentamiento global.
Relación con las EERR	El gas natural complementa las energías renovables. Para reducir al máximo la emisión de gases de efecto invernadero se le considera un combustible "puente" clave para la transición hacia una economía baja en carbono.	Los ecologistas apuestan por un sistema energético totalmente basado en renovables. Ven una amenaza la disponibilidad de grandes cantidades de gas. Consideran absurdo destinar recursos en combustibles fósiles con impactos medioambientales
Terremotos	Durante más de 60 años y dos millones de pozos por todo el mundo, sólo se han registrado dos casos en el Reino Unido, en Lancashire, de 1,5 y 2,4 en la escala Richter. Los seísmos menores de 3 no son relevantes.	Las explotaciones son más rentables cuantos más pozos tienen, lo que multiplica el riesgo de pequeños terremotos al volverse inestable el terreno o en zonas de alta sismicidad previa donde pueden alimentar fallas existentes.
Tratamiento de las aguas residuales	Se recupera el agua y se trata como cualquier residuo industrial. Lo exige la ley, existen empresas certificadas para el proceso.	Junto al gas y los químicos retornan a la superficie sustancias peligrosas, incluso radiactivas, metales pesados como plomo y mercurio.
Almacenamiento aguas residuales	El agua se almacena en tanques y se analiza. Las concentraciones de aditivos y contaminación son bajas.	Las aguas contaminadas se almacenan en balsas que pueden fugar y accidentalmente contaminar acuíferos cercanos.

4. Conclusiones y resultados

Habiendo estudiado los datos energéticos de España, su dependencia energética y en concreto el mercado del gas natural podemos concluir que España puede verse motivada estratégicamente a la exploración primero y a la futura explotación del gas no convencional para reducir su dependencia energética del exterior a la vez que mejorar su balance comercial. Atendiendo a los estudios, informes y tendencias a nivel mundial, el gas no convencional va a ir desarrollándose en aquellos países donde existen grandes reservas, habiéndose implantado de forma masiva en Estados Unidos, no siendo España, con la información disponible actualmente un país con grandes posibilidades por las reservas estimadas. Por tanto, una vez comprendemos el porqué de la aparición del fracking debemos abordar el cómo, es decir, analizar críticamente su viabilidad.

La viabilidad de la fractura hidráulica así como su importancia dentro del desarrollo sostenible en su concepto más amplio, es un asunto a tratar con sumo cuidado, pues las ventajas y beneficios que pueda ocasionar, deben analizarse al mismo tiempo y con el mismo interés que los inconvenientes y daños que pueden ocasionar en el medio ambiente. Es responsabilidad de todos, informar y comunicar a la sociedad de una forma veraz y completa sobre los impactos de este tipo de proyectos. Por tanto, y partiendo del principio de prudencia, la legislación medioambiental no solo debe aplicarse sino que debe adaptarse a la misma velocidad que la tecnología y la sociedad demandan. Por esto, en la tabla 3 hemos resumido los impactos medioambientales y socioeconómicos que se referencian más a menudo en los estudios que se van publicando pero desde los dos puntos de vista, de los que están a favor y en contra, permitiendo así contrastar en un solo documento como un mismo concepto puede llegar a analizarse con una perspectiva negativa para el medioambiente o puede relativizarse e incluso presentarse como un impacto positivo que permite balancear la percepción final que se puede obtener de este tipo de proyectos de exploración y explotación de gas no convencional.

Nuestra aportación en este sentido, no se queda en una mera observación crítica de los pros y contras, sino que se resume en la siguiente tabla 4 en la que proponemos una serie de medidas de control, mitigación o recursos de forma que se puedan reducir las probabilidades de ocurrencia de un daño medioambiental durante la ejecución de un proyecto de fractura hidráulica y que pudieran incluirse en las evaluaciones de impacto medioambientales a realizar por las administraciones competentes.

Estas medidas de mitigación y control de impactos lógicamente pueden tener una repercusión económica que afectaría (habría que evaluar sus costes) a la viabilidad total de los proyectos. Algunas de ellas pueden necesitar el desarrollo de legislación específica.

Tabla 4: Propuestas de medios de control y mitigación

RIESGOS	MEDIOS DE CONTROL Y/O MITIGACION PROPUESTOS
Integridad del pozo	Obligatoriedad del uso de múltiples camisas de protección
	Instalación de seguridades, controles y supervisión en continuo
Consumo de agua	Evaluación impacto y autorización volúmenes
	Uso de aguas salobres y mínimos de agua dulce
	Reutilización, control y supervisión continuo del consumo
Contaminación del agua	Monitorización con instrumentación online y offline de todos los contaminantes
	Muestreos y análisis frecuentes
	Distancias de seguridad con acuíferos y poblaciones
Materiales radioactivos	Mediciones y descontaminación si es necesaria
Sismicidad	Evaluación geológica preliminar detallada
	Mediciones online y aplicar medidas correctoras según niveles
Tratamiento de aguas residuales	Medición en continuo
	Autorización de vertidos según evaluación ambiental
Uso de productos químicos	Declaración transparente (EMAS/ ISO 14001 o similares)
	Seguimiento mediante auditorias independientes
Emisiones	Mediciones y autorización emisiones acorde legislación
Uso del suelo	Análisis y autorización local basada en compatibilidad con entorno
Salud humana y animal	Controles y seguimientos (médicos y veterinarios) frecuentes

5.- Referencias

Bishop, Ronald E. (2011) *Chemical and Biological Risk Assessment for Natural Gas Extraction in New York*. Chemistry and Biochemistry Department. State University of New York. Obtenido de www.tinyurl.com/5wp4ybg .

Cámara Rasco, Ángel y Pendas Fernández, Fernando (2013). *Gas no Convencional en España. Una oportunidad de futuro.* Informe Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas.

CESEDEN (2013). *Energía y clima en el área de la seguridad y la defensa*. Escuela de Altos Estudios de la Defensa. Ministerio de Defensa.

Davies, R.J., et al. (2012) *Hydraulic fractures: How far can they go?.* Marine and Petroleum Geology. doi:10.1016/j.marpetgeo.2012.04.001.

Europa. EU2050 *Energy Roadmap* (2012) Disponible en http://ec.europa.eu/energy/en/studies

Greenpeace. *Energy revolution A Sustainable World Energy Outlook* (2010) Disponible en www.greenpeace.org/publications

Howarth, Robert W.; Renee Santoro; Anthony Ingraffea. (2011) *Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations*. Department of

Ecology and Evolutionary Biology, Cornell University, Ithaca.doi:10.1007/s10584-011-0061-5

IEA (2012). *Golden Rules for a Golden Age of Gas*. World Energy Outlook.Special Report on Unconventional Gas. International Energy Agency .Disponible en: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2012/goldenrules/weo2012_goldenrulesreport.pdf

King, George E. (2010) *SPE 133456 Thirty Years of Gas Shale Fracturing: What Have We Learned?* ". SPE Completions and Production Study Group. Apache Corporation.

KPGM (2011) *Shale Gas- A Global Perspective*. *Impacts of shale gas and shale oil extraction on the environment and on the human health*.

Lechtenböhmer, Stefan; Altmann, Matthias; Capito, Sofia; Matra, Zsolt; Weindrorf, Werner; Zittel, Werner.(2012) *Repercusiones de la extracción de gas y petróleo de esquisto en el medio ambiente y la salud humana*. Comisión de Medio Ambiente, Salud Pública y Seguridad Alimentaria / Parlamento Europeo. http://www.europarl.europa.eu/activities/committees/studies.do?language=ES

NYSDEC, With Assistance from Alpha Environmental, Inc., ICF International, URS Corp, NTC Consultants and Sammons/Dutton LLC. (2011) *Supplemental Generic Environmental Impact Statement On the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program Well Permit Issuance for Horizontal Drilling And High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs* Preliminary Revised Draft. Obtenido de http://www.dec.ny.gov/data/dmn/ogprdsgeisfull.pdf

Osborn, Stephen G., Avner Vengosh, Nathaniel R. Warner and Robert B. Jackson (2011) *Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing.* www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1100682108

O´Sullivan Francis; Sergey Paltsev. (2012) *Shale gas production: potential versus actual greenhouse gas emissions*. Massachusetts Technology Institute. doi:10.1088/1748-9326/7/4/044030

The Royal Society and The Royal Academy of Enginnering (2012). *Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing*.

04-002

CONSTRUCCION AND DEMOLITION WASTE DURING THE TRANSFORMATION OF RURAL LAND.

Rivero Camacho, Cristina; Marrero , Madelyn ; Freire, Antonio
Universidad de Sevilla

The main objective of this research is to create a new model for the quantification of construction and demolition waste generated during the transformation of rural land into urban state. The work starts with the quantification model developed in the research group ARDITEC, which uses coefficients for the calculation of the quantities and types of waste generated during construction works. Five actual projects are studied, and the results are extrapolated to any urbanization work. The present work identifies two types of waste, soils and trees, which represent over 90 percent of the total waste during urbanization works. This implies that both residues shall be accurately predicted. The present work proposes coefficients which depend on the plot size, the type and density of the trees, or the project characteristics such as industrial or residential usage. Finally, the total amount of waste expected can be predicted, this facilitate the management and control. A tool is created for the accurate quantification, by means of simple calculations. The work will be part of future research on the environmental impact caused by the land transformations.

Keywords: *CDW quantification; waste coefficients; natural resources; urbanization.*

GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS EN LA URBANIZACIÓN DEL SUELO.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es incentivar la correcta gestión de los residuos de construcción y demolición generados durante la transformación de terrenos rústicos a urbanizados, en concreto en los derivados de los trabajos previos y movimientos de tierras. Se parte del modelo de cuantificación desarrollado en el grupo de investigación ARDITEC, en el que se utilizan una serie de coeficientes para el cálculo de las cantidades y tipos de residuos que se generan las obras. Estudiando seis proyectos reales, se obtienen baremos extrapolables a otras obras de urbanización. El trabajo identifica que dos residuos, tierras y arboleda, representan más del 90 por ciento de los residuos de urbanización, por lo que ambos deben ser calculados con precisión. En el presente trabajo se proponen coeficientes, que dependiendo del tamaño de parcela, la densidad y especie de arboleda, o si es para uso industrial o residencial, predicen el total de residuos a ser generados, lo cual facilitará su gestión y control. Se ha creado una herramienta de cuantificación precisa que ayude a simplificar los cálculos y el control. El trabajo se incorporará a futuras investigaciones en el análisis del impacto ambiental causado por la transformación del suelo.

Palabras clave: *Cuantificación de RCD; coeficientes de residuos; recursos naturales; urbanización.*

Correspondencia: Cristina Rivero Camacho cririvcam@gmail.com

Agradecimientos: Quiero agradecer a la Mancomunidad de Écija, por su colaboración con nuestro grupo de investigación y la Universidad de Sevilla, facilitando información para las investigaciones realizadas. Al estudio de ingeniería Talio de Écija, por facilitarme la documentación para el estudio de los proyectos de urbanización de una forma tan desinteresada. Esta investigación se está realizado dentro del proyecto EVALHED, subvencionado por la Agencia de Obras Públicas de la Junta de Andalucía (AOPJA), Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y Fundación Mapfre. Ayudas a la Investigación Ignacio H. Ilarramendi. “Estudio de la Huella ecológica de la transformación del uso del suelo”. 2014.

1. Introducción

La creación de espacios comunes, saludables y sostenibles forma parte del progreso urbano donde desarrollar la vida humana y las múltiples relaciones en las que se basa. Es preciso que la ciudad esté bien planificada y con una buena gestión de las zonas urbanas, de esa forma, se logrará más fácilmente que los demás factores que la conforman sean sostenibles, desarrollando entre ellos efectos sinérgicos positivos y reduciendo los impactos. El entorno de la edificación en general y la industria de la construcción en particular son los mayores consumidores de recursos naturales y de energía. Además, el sector de la edificación es el mayor productor de residuos, por lo que la necesidad de reducir se hace cada vez más necesario. Entre las estrategias para la reducción se encuentran las medidas de regulación y mecanismos de control.

En febrero de 2008 se regula la producción y gestión de los residuos de construcción con la aprobación del Real Decreto 105/2008. Con este decreto se introduce una serie de obligaciones a cumplir por los distintos agentes involucrados en la construcción. Entre otras medidas se prohíbe el depósito sin tratamiento previo de los residuos valorizables y demanda el establecimiento de tasas para desincentivar su envío a vertedero; así como incentiva a las comunidades autónomas a crear un mecanismo de control ligado a la licencia de obras con la constitución de una fianza o similar.

Entre las obligaciones a cumplir por el productor de los residuos de construcción, está la de incluir en el proyecto de ejecución de obra el estudio de gestión de residuos que entre otros aspectos debe contener “Una estimación de la cantidad, expresada en toneladas y en metros cúbicos, de los residuos de construcción y demolición que se generan en la obra, codificados” según la Lista Europea de Residuos, (LER) (Orden MAN/304/2002).

En la práctica, los contratistas normalmente suponen que la tasa de pérdidas es equivalente a 1-10% de los materiales de construcción comprados (Shen et al., 2005). El porcentaje específico es determinado por sus experiencias previas derivadas de la medición directa en obra. Sin embargo, dicha información no es robusta para hacer un plan efectivo de gestión de residuos, se han introducido sistemas de clasificación para hacer frente a este problema (Llatas, 2011; Solis-Guzmán et al, 2009.).

Figura 1.: Software RCR RD 105/2008. ARDITEC (TEP-172).

Para dar respuesta a la separación selectiva que pide el Real Decreto, se desarrolla un modelo de cuantificación para estimar los volúmenes de aquellos materiales que se

pueden separar en origen (Pérez Carmona et al., 2013). El modelo se apoya fuertemente en el trabajo de investigación realizado por el grupo ARDITEC (TEP-172), que diseñó un software informático que calcula la cantidad y el volumen de residuos generados dependiendo del tipo de edificación, permitiendo determinar la fianza a ser impuesta en los proyectos de construcción y conseguir controlar el flujo de los RCD, siendo esta fianza determinada según unos parámetros que dependerán de las tipologías de edificación, configuración de la construcción, superficie total, etc. Su interface podemos verla en la figura 1.

El presente proyecto continua con el desarrollo de herramientas para el control de los RCD, como la desarrollada para los edificios residenciales (Ramírez, Solís y Pérez, 2008). Surge por la necesidad de gestión y control de los residuos procedentes de las obras de urbanización a nivel administrativo. En particular por la Mancomunidad de Écija que colabora con nuestro grupo de investigación ARDITEC en los proyectos sobre gestión de RCD. Así mismo, la herramienta facilitará la estimación de los RCD que se generarán en urbanizaciones desde la fase de diseño, permitiendo optimizar el proyecto, reducir recursos y minimizar los impactos que se producen durante la ejecución de las obras.

2. Objetivos.

El objetivo es alcanzar una construcción sostenible, a través de la prevención en la generación de residuos, incrementando el reciclaje, la reutilización de residuos y el uso de energías renovables. Se desarrolla el nuevo modelo de cuantificación en trabajos de urbanización, ya que suman el 80% de los RCD en los proyectos de nueva planta (Solís et al, 2009).

Se pretende crear una herramienta que servirá estimar la cantidad de residuos que generan las obras de urbanización, con la que gestionar las tasas y evitar el vertido incontrolado de residuos a vertederos no autorizados. Es necesaria la creación de herramientas que calculen los residuos de varios proyectos de urbanización en función de sus características: superficie, tipo, instalaciones que se incluyen. Con la determinación de coeficientes se busca generalizar el cálculo para facilitar al técnico la contabilización de los residuos y sus costes de gestión.

En el modelo desarrollado, se han considerado todas las partidas generadoras de residuos durante la fase de transformación del uso del suelo, entre las que se encuentran las operaciones de desbroces, movimiento tierras y de acondicionamiento del terreno, con el fin de hacer un uso eficiente y responsable de todos aquellos recursos naturales de que disponga el suelo y que sean susceptibles de convertirse en residuos. Para valorar el peso del resto de elementos en estos proyectos de urbanización, también se tendrán en cuenta la ejecución de todas las instalaciones necesarias para dotar de los servicios urbanos (alcantarillado, suministro y evacuación de aguas residuales y pluviales, suministro de gas, alumbrado público, suministro de electricidad), así como las obras de configuración de los viarios, acerados, aparcamientos y jardinería. Se presentan las partidas más favorables para lograr una mayor reducción, promoviendo su aprovechamiento y su correcta gestión.

Una forma de comparar los resultados, será con la realización del presupuesto de cada caso de estudio, valorando los trabajos de gestión de los residuos. Así mismo se contemplarán los casos en los que el residuo a tratar sea valorado por una empresa externa y reporte beneficios (metales y arbolado), reflejándose en el propio presupuesto como precio negativo (Marrero y Ramírez, 2010).

Finalmente, se resumen los resultados del análisis de 6 proyectos reales con sus conclusiones.

3. Metodología.

Para desarrollar la configuración idónea de la herramienta, debemos tener claros varios aspectos. Comenzaremos con la cuantificación de los residuos que se van a generar, en función de las partidas de obra que los producen. Una vez identificados, se les aplicará los coeficientes calculados, que servirán para estimar los residuos totales generados en cada proyecto, obteniendo tipo y cantidad por unidad de obra. Una vez calculadas dichas cantidades de residuos, procedemos a su valoración y posible reciclaje o reutilización para, finalmente, obtener los costes correspondientes a todo el proceso de tratamiento de residuos.

Para la estimación de los RCD, utilizaremos el manual de Retirada Selectiva de Residuos (Ramírez, et al. 2002) y el Modelo de Presupuestación (Ramírez de Arellano et al., 2010). Se tendrá como base el trabajo desarrollado por Manuel Puerto Francés en su fin de Máster (Puerto Francés, 2011). Donde se estudiaba un proyecto de transformación de suelo rústico a urbano. En él se planteaba varios coeficientes, y se estimaban las partidas que más repercusión tendrían en la gestión de residuos en estos proyectos.

En los trabajos de adecuación de terrenos rústicos a terrenos urbanizables, no se diferencian variables específicas, sino una serie de actuaciones que en la mayoría de los casos serán las mismas en diferentes proyectos. Un ejemplo es la implantación de las diferentes instalaciones que serán necesarias en todo tipo de suelos para darle la consideración de suelo urbanizable. Por el contrario, como característica principal que producirá variación entre los distintos casos de estudio, se encuentra la superficie total a tratar según el proyecto y la existencia (o no) de arboleda en el suelo a urbanizar.

El proceso a seguir se lista a continuación:

1 Recopilación de proyectos para su estudio.

2 Definición una hipótesis de cálculo para proyectos con arboleda.

3 Aplicación de la Clasificación Sistemática y unificación de criterios de medición.

4 Aplicación del modelo matemático desarrollado para estimar la producción de RCD.

5 Identificación y clasificación de RCD por separado. Creación de coeficientes.

6 Resumen de cantidades, separación, valorización de RCD, y codificación según la Lista Europea de Residuos (LER). Presupuestos.

7 Creación de nuevos baremos necesarios para la configuración interna de la herramienta informática de cálculo.

8 Análisis de resultados y valoración de diferencias y semejanzas.

4. Casos de Estudio

4.1 Recopilación de Proyectos de Urbanización para su estudio.

En total, son 6 los proyectos de transformación del suelo que se analizan en este trabajo de investigación. Todos ellos son proyectos ejecutados o en ejecución en los últimos años en la provincia de Sevilla. Los proyectos se pueden clasificar en:

- Industriales 1 y 2, con un Presupuesto de Ejecución Material (PEM) de 17.823.408,83 € y 826.791,37 € respectivamente.
- Residenciales 1, 2, 3 y 4 con un PEM de 917.427.64 €, 280.449,62 €,1.235.143,46 € y 3.720.049,12 €, respectivamente.

Posteriormente, y una vez analicemos los resultados, se podrán diferenciar a su vez en proyectos de pequeña, mediana y gran extensión en función de la superficie de los mismos.

4.2 Definición una Hipótesis de Cálculo para proyectos con Arboleda.

Para estimar la cantidad de madera de la tala de los árboles existentes en una parcela, se tendrá en cuenta las variables: tipo de árbol, densidad de plantación, proporción en la parcela con respecto a otras especies, volumen de un árbol, densidad de la madera por especie (con la que obtendremos las toneladas de madera por unidad de árbol), además, usando unos coeficientes estimaremos la cantidad de madera para raíces y para copas, ver tabla 1.

Tabla 1: Hipótesis para calcular la madera por unidad de árbol. (Elaboración propia).

ARBOL	ALTURA (m)	Ø TRONCO (m)	ÁREA (m^2)	VOLUNEN (m^3/ Ud)	DENSIDAD Kg/m^3	Ø COPA	Δ COPA	Δ RAICES	PESO t/ Ud
Naranjo	4	0,3	0,28	1,13	700	3,18	1,3	1,2	0,79
Olivo	3	2	12,57	37,70	900	4,5	1,3	1,2	33,93
Pino	20	0,4	0,50	10,05	500	7,5	1,3	1,2	5,03
Encina	16	1,2	4,52	72,38	1000	5,1	1,3	1,2	72,38
Olmo	10	1,5	7,07	70,69	650	10	1,3	1,2	45,95

Para la cuantificación de los árboles que se convertirán en residuos, utilizaremos una hipótesis desarrollada para el "Estudio de la Huella Ecológica en la transformación del Suelo" (Freire et al, 2014), en la que se analizan cinco tipos de árboles. Dichos árboles serán olivos, naranjos, pino, olmo y encinas. Ver tabla 2.

Tabla 2: Hipótesis para calcular unidades de árboles por parcela. (Freire et al, 2014).

Tipo	Intensidad de Plantación	Densidad (ud /1.000 m^2)	% Superficie Ocupada	Superficie (m^2)	Cantidad (ud)	Volumen Madera por árbol (m3/ud)
				53.684,00		
Olivo	Media	12,8156	20,00%	10.736,80	138	72,380
Encina	Alta	24,6914	50,00%	26.842,00	663	33,930
Olmo	Media	9,9088	0,00%	0,00	0	45,950
Naranjo	Media	32,9628	30,00%	16.105,20	531	0,790
Pino piñonero	Baja	4,4444	0,00%	0,00	0	5,030

4.3 Aplicación de la Clasificación Sistemática y Unificación de Criterios de Medición.

Como sabemos, las mediciones del proyecto constan de una relación de partidas en las que se desarrollan cada unidad de obra. Con el fin de unificar criterios a la hora de la codificación se ha utilizado la Clasificación Sistemática (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2014) en base al Banco de Costes de la Construcción de Andalucía, BCCA (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2014). En este proyecto se han unificado alrededor de 260 partidas, 65% corresponden a nuevos códigos siguiendo la estructura del BCCA, además se han calculado más de 200 nuevos coeficientes de generación de residuos.

4.4 Aplicación del Modelo Matemático para Estimar la Producción de RCD.

En este trabajo se presenta un método para cuantificar diversos tipos de residuos que se presentan en el emplazamiento de la obra. Para su desarrollo se utilizará una tabla en la que se incluirán todas las partidas generadoras de residuos, clasificadas y

codificadas con arreglo a la Clasificación Sistemática según BBCA (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2014).

En los procesos de construcción, se diferencian tres fuentes de residuos: demolición, restos y residuos de empaquetado. Estas fuentes de residuos también se diferencian en las obras en fase de urbanización. Los residuos de demolición son debidos a los procesos de la demolición de edificaciones, instalaciones existentes. El volumen de los restos se refiere a las pérdidas, a los despuntes y a la fractura de materiales durante la terminación del trabajo, incluyendo la tierra de los trabajos de excavación. Finalmente, los residuos de empaquetado incluyen el embalaje de los materiales, las latas, los envases, palet, etc.

Las unidades y los criterios de medida empleados proceden de las características geométricas de los componentes que conforman el ítem. El sistema de unidad es el utilizado tradicionalmente, y todos los datos se representan en los valores relativos que miden la cantidad de cada ítem en m, m2, m3, kg o unidad por metro cuadrado construido.

4.5 Identificación y Clasificación de RCD por separado y Creación de Coeficientes.

Una vez identificados, se realiza la medición de cada tipo de residuo. Para ello nos valdremos de las transferencias de aquellas partidas generadoras de residuos, las cuales habrán sido identificadas y codificadas. Para la medición será necesario crear una serie de coeficientes con el fin de hacer coincidir las unidades y los criterios de medición entre las partidas origen y las partidas de la medición de residuos. Estos coeficientes se apoyan en la siguiente formulación, ver ec.1, “Retirada Selectiva de Residuos: Modelos de Presupuestación” (Ramírez de Arellano, A., 2002):

$$Qr = Qi\ (CR*CC*CT) \quad (1)$$

Donde:

Qr = Cantidad de residuos

Qi = Cantidad de la unidad de obra que genera residuos

CR = Coeficiente para medir la cantidad de partida origen que se convierte en residuo.

CC = Coeficiente para convertir la unidad de medida de la partida origen en la unidad de origen de la partida destino.

CT = Coeficiente para transformar el criterio de medición de la partida origen en el criterio de medición de la partida destino.

Para ello diferenciaremos dos grandes etapas dentro de las obras a realizar, que serán la etapa de trabajos previos y movimiento de tierras y la etapa de urbanización, en la que se engloban todos aquellos trabajos de adecuación e implantación de instalaciones. En este trabajo los proyectos de urbanización estudiados son de dimensiones suficientes para acoger el mayor número de partidas, con el fin de contar con una herramienta que aúne una relación de partidas extrapolable a la mayoría de proyectos.

La medición de las cantidades de residuos se clasificará según la codificación establecida en el BCCA, relacionándola con la codificación (LER) (Orden MAN/304/2002) que utilizaremos para la medición de las cantidades totales. Con estas transferencias se logra unificar dos tipos de clasificación, lo cual facilita la cuantificación de los residuos y permite que se establezcan lazos de unión entre los dos tipos de codificación. Para cuantificación de los residuos que se generan en cada una de ellas, se aplican los valores establecidos con anterioridad para los coeficientes CR, CC y CT.

4.6 Resumen de Cantidades, Separación, Valorización de RCD, y Codificación LER. Presupuesto.

Una vez hecha la medición de todos los residuos identificados, se realizará un resumen con las estimaciones de las cantidades totales de cada residuo tanto en toneladas como en metros cúbicos, según el Real Decreto 105/08. Para ello será necesario utilizar las densidades de dichos materiales, que se pueden encontrar en el CTE-DB-SE/AE, Acciones de la Edificación, Anexo C (Real Decreto 314/2006). Tras la identificación de aquellas partidas generadoras de residuos y su posterior cuantificación mediante el modelo detallado, con el cálculo de coeficientes y la clasificación en base al BCCA (Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, 2014), pasamos a la clasificación según LER, (Orden MAN/304/2002).

Para poder realizar las comparaciones oportunas, se finaliza este apartado con el presupuesto del proyecto, donde se valorarán los trabajos de separación, reutilización, valoración y eliminación de los residuos, utilizando mediante transferencias las cantidades calculadas anteriormente en la etapa de cuantificación (Ramírez de Arellano, A., 2002). Para estimar el importe total de la correcta gestión de los residuos, se utilizarán los precios incluidos en la última actualización del BBCA. Para ello nos valdremos de las cantidades calculadas con el modelo detallado, que han sido resumidas por tipo de residuo y con las unidades de medida en t y m^3.

5. Resultados.

5.1 Creación de nuevos baremos necesarios para la configuración interna de la futura herramienta informática de cálculo.

Para facilitar la labor y poder hacer estimaciones rápidas y sencillas, se crearán unos baremos de generación de residuos. Estos irán en función del tipo y de la superficie del terreno a transformar. Serán en base a una extensión de 10.000m^2 de parcela (1ha), para su posterior estudio y comparación. En la tabla 3, podemos observar los distintos baremos generados según volumen, peso, coste de gestión, incluso la proporción del tipo residuo en concreto con el total generado en el proyecto. Así mismo, los residuos se presentan clasificados según la codificación LER, para unificar criterios.

No podemos olvidar destacar el papel tan importante que juegan las tierras y la arboleda en la gestión de los residuos. Lo que hace muy evidente la manera de reducir en los costes de gestión de los mismos a través de la reutilización de las tierras y la valorización de la madera como biomasa. El precio establecido para la venta de madera como biomasa es de -22€/t. Este dato se ha calculado tomando como referencia varios precios de empresas gestoras de madera para biomasa, fijando un valor medio para este estudio. Se les aplican costes con precio negativo a las partidas cuya gestión nos aporte beneficio, de forma que se disminuye el coste de gestión de residuos del proyecto. Es el caso de la madera de desbroce y de los metales.

Los baremos contenidos en la tabla 3, se han calculado para cada uno de los 6 proyectos estudiados. Esos valores han sido analizados y clasificados para obtener baremos medios que configurarán la herramienta informática.

Tabla 3: Tabla Resumen de Cantidades, tipología en t y m³. Capítulo 17 para Industrial 2.

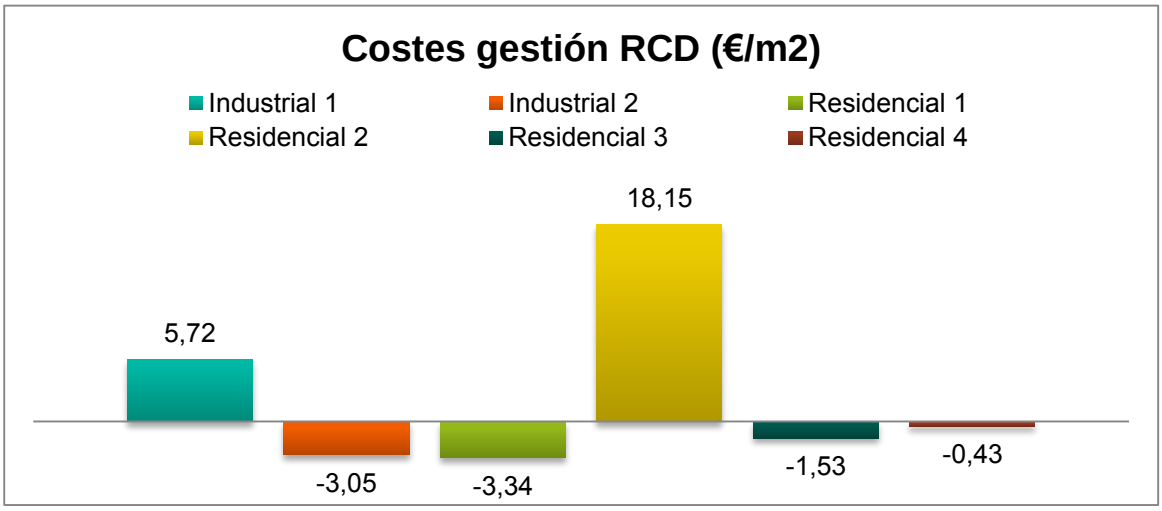
CÓDIGO	RESIDUO	VOLÚMEN (m^3/ha)	PESO (t/ha)	COSTE (€/ha)	%VOLÚMEN (m^3RDC/m^3 TOTAL RCD)	% PESO (Tn RDC/Tn TOTAL RCD)
17 01 01	Hormigón	46,36	111,27	1004,68	1,06%	2,13%
17 01 02	Ladrillos	1,65	2,226	22,24	0,04%	0,043%
17 02 00	Madera arbolado	2614,36	2220,39	-48848,49	59,95%	42,55%
17 02 01	Madera	0	0	0	0%	0 %
17 02 02	Plástico	0,32	0,45	30,85	0,007%	0,009%
17 03 01	Mezclas bituminosas	4,42	4,86	73,88	0,10%	0,09%
17 04 01	Cobre	1,36E-03	1,21E-02	-0,88	3,12E-07%	2,32E-06%
17 04 02	Aluminio	3,17E-03	8,57E-03	-0,62	7,28E-07%	1,64E-06%
17 04 03	Acero	0,004	0,029	-1,942	8,43E-07%	5,50E-06%
17 05 04	Tierras y piedras SIN s. peligrosas	1693,71	2879,30	17157,23	38,84%	55,17%
17 06 04	Materiales aislamiento	0,065	0,01	0,66	1,49E-05%	1,87E-06%
15 01 01	Envases de papel- cartón	1,08E-02	1,19E-02	0,19	2,49E-06%	2,28E-06%
15 01 02	Envases de plástico	4,00E-02	5,61E-02	3,88	9,18E-06%	1,07E-05%
15 01 03	Envases de madera	4,30E-02	1,72E-01	2,69	9,86E-06%	3,29E-05%
15 01 10	Envases con restos S.Peligrosas.	1,21E-01	1,69E-01	7,02	2,77E-05%	3,24E-05%
TOTAL		4361,10	5218,95	-30548,61	100%	100%

5.2 Costes de Gestión de RCD por Superficie.

A continuación en la figura 2, se representan los costes correspondientes a la gestión de residuos de cada proyecto, repercutidos a la superficie de los mismos. De los resultados, podemos extraer varias observaciones.

Por un lado el Industrial 1 tiene la mayor superficie de todos los proyectos. Este hecho causa un aumento considerable en la cantidad obtenida de residuos de la categoría de tierras y arboleda. Por lo que los costes de gestión se elevan notoriamente, así como todas las proporciones calculadas para este proyecto. Por otro lado, el Residencial 2, siendo el más pequeño de todos en superficie, resulta el proyecto de mayor costes de gestión m^2 debido al aumento del coste en repercusión. Al igual que cualquier proyecto de urbanización, contiene todas las instalaciones básicas para el consumo humano, así como pavimentaciones, etc. Esos gastos cuentan con menos superficie donde repartirse cuanto menor sea la superficie del proyecto.

Figura 2. "Costes comparativa entre proyectos, medido en €/m²"

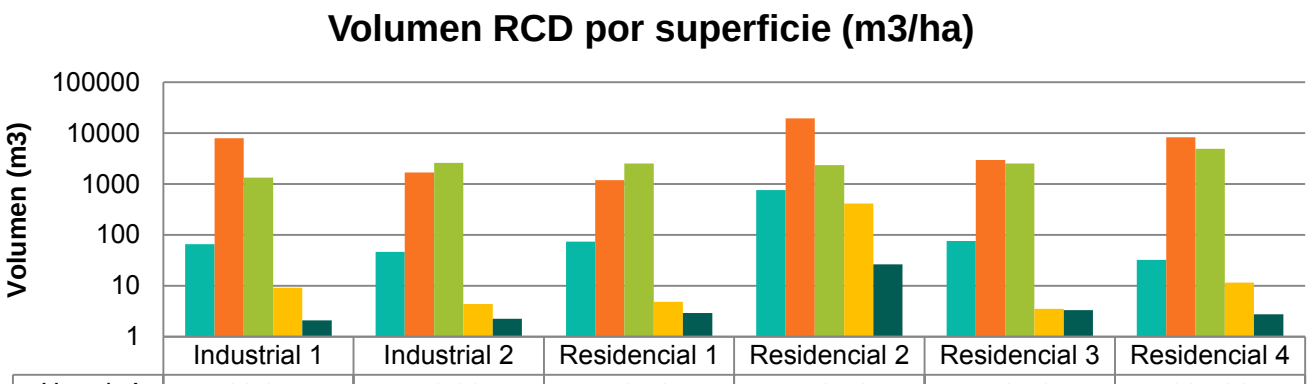


5.3 Comparativa de RCD generados en cada proyecto. Clasificación por cubas.

Como comparativa general, en la figura 3, se representan los volúmenes clasificados por cubas de materiales de cada proyecto, medidos en m^3 por cada 10.000 m^2 (1 ha) de la parcela correspondiente.

Podemos comprobar que los materiales que más abundan en los residuos son las tierras y el arbolado, seguido del hormigón y el asfalto. Estos han de ser los materiales a estudiar en profundidad en los estudios de gestión de residuos en los proyectos de urbanización.

Figura 3. "Volumen de RCD comparativa, medido en m^3/ha de parcela"



	Industrial 1	Industrial 2	Residencial 1	Residencial 2	Residencial 3	Residencial 4
Hormigón	66,34	46,36	73,73	759,76	76,48	32,488
Tierras	7874,25	1693,71	1190,63	19493,67	2949,92	8241,864
Arbolado	1336,79	2614,36	2542,12	2365,32	2510,95	4895,496
Asfalto	9,25	4,42	4,84	412,74	3,53	11,638
otros	2,1	2,25	2,93	26,33	3,32	2,757

5.4 Comparativa de RCD generados en cada proyecto. Clasificación por instalaciones/actividad.

Como comparativa específica se representan en la figura 4, los volúmenes generados en función de la instalación o actividad que los produce de cada proyecto, medidos en

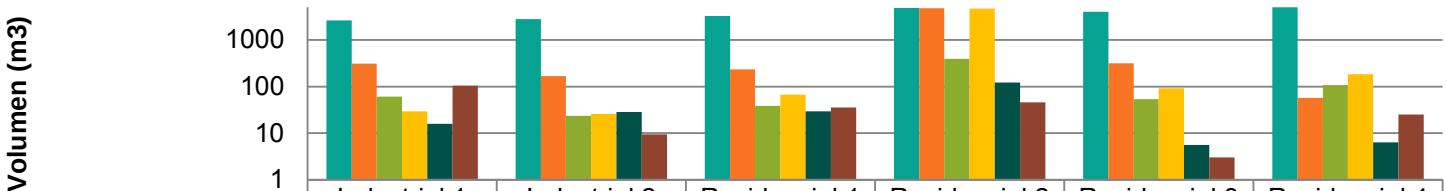
m^3 por cada hectárea de la parcela correspondiente. De detallan las más relevantes para su estudio.

La actividad que genera un mayor porcentaje de residuos, corresponde a las de trabajos previos. Podemos compararlo con la figura 3, ya que esta actividad genera residuos de tierras y arbolado principalmente. Seguidamente, la instalación de electricidad, es la que mas residuos genera, incluyendo entre estos: metales, tierras, hormigón, ladrillos, asfaltos, embalajes, etc. A su vez conviene recordar que es una de las instalaciones que nos aporta beneficios procedentes de la valorización de los residuos metálicos. Le sigue las instalaciones de alcantarillado, telecomunicaciones y suministro de agua en ese orden.

Otra de las instalaciones estudiadas es la de señalización, la cual representa el menor volumen de RCD generados en los proyectos, siendo estos en su mayoría embalajes de papel, madera, cartón y plástico, así como un porcentaje de productos peligrosos por los recipientes de las pinturas de los viarios. Genera una media de 0,35 m^3/ha. Debido a su poca entidad, no se incluye en el análisis de la figura.

Cabe destacar el aumento de volumen de RCD por hectáreas para el proyecto Residencia 2. Esto ocurre por la poca superficie de suelo de este proyecto, para repercutir la cantidad total de residuos generados, como ya comentamos anteriormente.

Figura 4. "Volumen de RCD instalaciones, medido en m^3/ha de parcela"



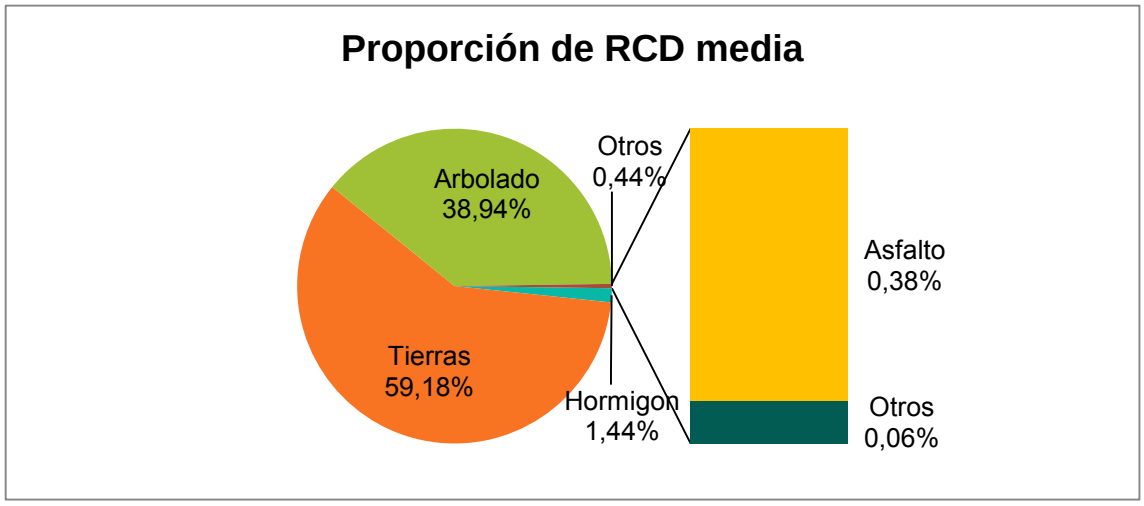
	Industrial 1	Industrial 2	Residencial 1	Residencial 2	Residencial 3	Residencial 4
Trabajos previos	2633,74	2802,27	3301,47	4865,32	4043,43	5048,014
Electricidad	309,25	168,20	232,81	4814,37	316,54	56,801
Alcantarillado	60,49	23,60	38,31	396,19	53,966	107,785
Telecomunicaciones	29,48	25,96	67,02	4723,71	91,572	184,717
Suministro agua	15,8	28,50	29,4	122,234	5,615	6,393
Jardineria y mobiliario	104,001	9,49	35,56	45,9	3,02	25,181

5.5 Proporción de media de volúmenes de RCD

Cabe destacar el porcentaje que representan las tierras en el volumen total de los residuos (sobre el 60%). Esto hace indispensable un buen estudio para la reutilización de las mismas, ya que esto se traducirá en un gran ahorro en los costes de gestión de RCD y en el consumo de recursos naturales, disminuyendo así el impacto ambiental que ocasionan los proyectos de urbanización. Ver la figura 5.

Así mismo, se hace obligada una buena valorización de los residuos de madera, ya que son casi el 40% de los RCD. En los proyectos estudiados, se plantea la situación de venta como biomasa, aunque pueden existir diversas alternativas para estos residuos. Un ejemplo puede ser la reutilización de los arboles existentes, proyectando su uso en los espacios verdes de la nueva urbanización.

Figura 5: "Proporción media de RCD en los proyectos"



5.6 Reducciones por Reutilización.

Como comentábamos con anterioridad, el alto porcentaje de residuos que representan las obras de urbanización, las hace muy importantes para optimizar los gastos de gestión. Con la herramienta creada para calcular las variaciones de los volúmenes de RCD de tierras y los costes, hemos obtenidos los porcentajes en función del porcentaje de reutilización de las tierras (0%, 30%, 50%, 80% ó 100%). De forma que, si el proyecto estudiado permite una reutilización del 100%, conseguiremos una reducción en torno al 40% en los proyectos de urbanización en los que haya arbolado que gestionar, o incluso un 90% para los proyectos en los que inicialmente sus parcelas estén libres de árboles. Será igualmente una opción más a seleccionar en la herramienta informática.

5.7 Interface de la herramienta generada.

El objetivo de este proyecto siempre fue el de agilizar cálculos. Así pues, partiendo de los datos obtenidos en el proyecto, se configurará la herramienta informática con la que se podrá insertar las características básicas de la parcela que nos ocupe y obtener en cuestión de segundos la cantidad total de residuos generados. La figura 6 presenta la interface inicial de la herramienta en desarrollo.

Figura 6. Pantalla de datos de la Aplicación Informática de cuantificación de residuos.

El funcionamiento sería el siguiente, al insertar los datos de la urbanización, la aplicación busca en la hoja de Excel que contiene todo el registro de coeficientes y

baremos generados en el proyecto, hasta que coincidan todas las características insertadas. Para llegar hasta ahí necesitamos introducir los campos de las variables que nos ofrece el programa:

- Tipo de urbanización: Residencial o Industrial.
- Limpieza inicial: Desbroce de 20 cm, Sólo retirada de árboles y vegetación, Limpieza completa con arbolado, Ninguna actuación.
- Porcentaje de reutilización de tierras: 0%,30%,50%,80% o 100%.
- Instalaciones que se incluyen: se marcarán las existentes en el proyecto en cuestión.
- PEM inicial: Presupuesto de ejecución material del proyecto en Euros.
- Superficie de la parcela (total del terreno a urbanizar) en m2.

Una vez que el programa calcula, extrae toda la columna Qi (cantidad del concepto en su unidad específica) generando las cantidades en toneladas (t) y en metros cúbicos (m3) de cada uno de los materiales que el RD 105/2008 nos exige a tener en cuenta a la hora de separar en diferentes contenedores. Para el resultado, el mismo programa nos indica si es necesario establecer esta separación por cubas según las cantidades que establece el decreto, o no, dependiendo de la cantidad obtenida, mediante el uso de dos iconos que se muestran en la figura 6.

6. Conclusiones

Del estudio realizado podemos destacar los siguientes aspectos:

- En las obras de urbanización del suelo, existe una clara diferencia en la proporción de los volúmenes de RCD generados, Tanto los trabajos de movimientos de tierras como los de eliminación de arbolado y desbroces, son los que más cantidades de residuos producen. Representan sobre el 98% del volumen total de los RCD de urbanizaciones..
- La correcta gestión y valorización de los residuos correspondientes a los terrenos y a arboleda, se traducen en un ahorro importante al promotor del proyecto de urbanización y en algunos casos incluso pueden suponer ingresos, lo que en el presente modelo es un presupuesto negativo.
- Con las reducciones de volúmenes de RCD, contribuimos de forma directa a la reducción del impacto ambiental, y en consecuencia se disminuye la Huella Ecológica, HE, asociada al proyecto de urbanización en cuestión. Los residuos son una parte fundamental del cálculo de la HE de los proyectos.
- La hipótesis de cálculo para proyectos con arboleda, se adapta fácilmente a cualquier proyecto, obteniendo resultados aceptables.
- La superficie será muy importante para configuración de la herramienta informática. Permitirá la clasificación inicial en proyectos de pequeña, mediana o gran extensión. Hemos podido comprobar, con los baremos obtenidos en función de la superficie, como los proyectos pequeños aumentan notoriamente sus costes de gestión en repercusión con su superficie.
- Los datos obtenidos, sirven para prevenir la generación de los residuos de urbanización. Sin embargo, es preciso continuar la investigación con nuevos casos que afinen los límites establecidos.
- Las herramientas diseñadas facilitará la labor de los técnicos en los estudios de gestión de residuos, así como las comprobaciones para los organismos responsables del cobro de tasas.

- La implantación en el modelo del Banco de Costes de la Construcción de Andalucía, BCCA, facilita la unificación de los criterios de medición permitiendo así la aplicación para cualquier proyecto de urbanización. En los trabajos futuros, se pretende implantar el sistema y los coeficientes para contabilizar el impacto ambiental producido a través de la Huella Ecológica en urbanizaciones.

7. Referencias

Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (2014). *Base de Costes de la Construcción en Andalucía.* Sevilla, España. Disponible en http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/portal-web/web/areas/vivienda/texto/7a0899c8-0038-11e4-8cc4-27ee69a25823

Consejería de Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (2014). *Clasificación Sistemática de Precios Básicos, Auxiliares y Unitarios.* Sevilla, España. Obtenido de https://ws147.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/davwebviv/Banco%20de%20precios/BCCA_2014/BCCA_2014_junio/Clasi_Sistematica_2014.pdf

España. Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se por el que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. *Boletín Oficial del Estado,* 19 de febrero de 2002, núm. 43, pp.6494-6515 [Consultado 16 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/2002/02/19/pdfs/A06494-06515.pdf

España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Texto refundido con modificaciones del RD 1371/2007, de 19 de octubre, y corrección de errores del BOE de 25 de enero de 2008. Revisión vigente desde 13 de Septiembre de 2013. *Boletín Oficial del Estado,* 28 de marzo de 2006, núm. 74, pp.11816-11831 [Consultado 16 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/2006/03/28/pdfs/A11816-11831.pdf

España. Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. *Boletín Oficial del Estado,* 13 de febrero de 2008, núm. 38, pp.7724-7730 [Consultado 6 abril 2015]. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/aplicaciones/Normativa/ficheros/A07724-07730.pdf

Freire Guerrero, Antonio, Marrero Meléndez, Madelyn, Solís Guzmán, Jaime, Rivero Camacho, Cristina (2014): Estudio de la Huella Ecológica de la Transformación del Uso del Suelo. *En: Seguridad y Medioambiente. Fundación Mapfre*. Vol. 20000. Núm. 136. Pag. 6-14

Llatas, C., 2011. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. Waste Manage. (Oxford) 31 (6), 1261–1276.

Marrero Meléndez, Madelyn, Ramírez de Arellano Agudo, Antonio (2010): The Building Cost System in Andalusia: Application to Construction and Demolition Waste Management. *En: Construction Management and Economics*. Vol. 28. Pag. 495-507

Pérez Carmona, Juan José, Marrero Meléndez, Madelyn, Solís Guzmán, Jaime (2013): Programa Informático. Modelo de Cuantificación de RCD Ajustado al Real Decreto 105/2008. Modelo de Utilidad, Propiedad industrial. Solicitud: 2013-03-07

Puerto Francés, Manuel (2011): Cuantificación de Residuos de Construcción y Demolición en la Transformación de Terrenos Rústico en Urbanos. Fase de

Urbanización. TFM Máster Gestión Integral en Edificación. ETSIE, Universidad de Sevilla.

Ramírez de Arellano, A. (2002). *Retirada selectiva de residuos: Modelo de presupuestación.* Sevilla: Fundación Cultural del Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla.

Ramírez de Arellano Agudo, Antonio, Solís Guzmán, Jaime, Pérez Monge, Javier (2008): Programa Informático de Evaluación de Residuos de Construcción y Demolición para Tramitación de Licencias Municipales. Modelo de Utilidad, Propiedad industrial. Solicitud: 2008-04-29

Ramírez de Arellano, A. y otros, 2010: Clasificación Sistemática de Precios Básicos, Auxiliares y Unitarios.

Shen, L.Y., Wu, Y.Z., Chan, E.H.W., Hao, J.L., 2005. Application of system dynamics for assessment of sustainable performance of construction projects. J. Zhejiang Univ. Sci. A 6 (4), 339–349.

Solís Guzmán, Jaime, Marrero Meléndez, Madelyn, De Montes Delgado, Mª Victoria, Ramírez de Arellano Agudo, Antonio (2009): A Spanish Model for Quantification and Management of Construction Waste. *En: Waste management (Elmsford)*. Núm. 29. Pag. 2542-2548.

04-003

STUDY OF THE KINETIC MODELING IN HYBRID AND PURE MOVING BED BIOFILM REACTOR-MEMBRANE BIOREACTOR SYSTEMS FOR MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT

Leyva Díaz, Juan Carlos; Muñío Martínez, María del Mar; González-López, Jesús; Poyatos Capilla, José Manuel
Universidad de Granada

The moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor (MBBR-MBR) is a novel technology which constitutes a solution to conventional processes. In this study, a membrane bioreactor (MBR), a hybrid MBBR-MBR and a pure MBBR-MBR, working in parallel, were compared under a hydraulic retention time (HRT) of 6 h. The hybrid MBBR-MBR had suspended and attached biomasses and the pure MBBR-MBR mainly contained attached biomass as biofilm. The kinetic parameters for heterotrophic and autotrophic biomasses were evaluated and related to organic matter and nitrogen removals. The pure MBBR-MBR had the highest efficiency of total nitrogen (TN) removal with a value of 63.21±11.01%. The hybrid MBBR-MBR showed the highest chemical oxygen demand (COD) removal efficiency with a value of 84.10±2.25%. The kinetic study supported the efficiencies of COD and TN removals as the hybrid MBBR-MBR and pure MBBR-MBR showed the best kinetic performances for the heterotrophic and autotrophic biomasses, respectively. The presence of the attached biomass improved the organic matter and nitrogen removals in the hybrid and pure MBBR-MBR systems, respectively.

Keywords: *Wastewater treatment; Moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor; Nitrogen removal; Biofilm; Autotrophic kinetics.*

ESTUDIO DEL MODELADO CINÉTICO EN BIORREACTOR DE MEMBRANA CON LECHO MÓVIL HÍBRIDO Y PURO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

El biorreactor de membrana con lecho móvil (MBBR-MBR) es una tecnología novedosa que soluciona los problemas de los procesos convencionales. En este estudio, un biorreactor de membrana (MBR), un MBBR-MBR híbrido y un MBBR-MBR puro, operando en paralelo, fueron comparados con un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 6 h. El MBBR-MBR híbrido tenía tanto biomasa suspendida como adherida y el MBBR-MBR puro contenía principalmente biomasa adherida en forma de biopelícula. Los parámetros cinéticos para las biomasas heterótrofa y autótrofa se evaluaron y relacionaron con las eliminaciones de materia orgánica y nitrógeno. El MBBR-MBR puro mostraba la mayor eficiencia respecto a la eliminación de nitrógeno total (NT) con un valor de 63.21±11.01%. El MBBR-MBR híbrido tenía el mayor rendimiento en eliminación de demanda química de oxígeno (DQO) con un valor de 84.10±2.25%. Las eficiencias en eliminación de DQO y NT se fundamentaron en el estudio cinético llevado a cabo ya que los sistemas MBBR-MBR híbrido y puro mostraban el mejor funcionamiento cinético para las biomasas heterótrofa y autótrofa, respectivamente. La presencia de la biomasa adherida mejoraba las eliminaciones de materia orgánica y nitrógeno en los sistemas MBBR-MBR híbrido y puro, respectivamente.

Palabras clave: *Tratamiento de aguas residuales; Biorreactor de membrana con lecho móvil; Eliminación de nitrógeno; Biopelícula; Cinética autótrofa*

Correspondencia: Juan Carlos Leyva Díaz jcleyva@ugr.es

Agradecimientos: This work was executed in the framework of the Tecoagua Project managed by Abengoa Water. The research was supported by the Spanish Ministry of Education, Culture and Sport in the training plan of Becas del Programa de Formacion de Profesorado Universitario (FPU) (grant no. AP2010-1552), the Ministry of Economy and Competitiveness of Spain and the Centre for the Development of Industrial Technology (CDTI) (Ref. CEN-20091028).

1. Introduction

The growing increase of urbanization, together with the industrial and farming development, has caused a rise in the consumption and deterioration of water resources (Wang et al., 2006). In the last years, the technical and scientific community has shown a growing interest in developing innovative treatment biological processes that, together with very high removal efficiencies concerning organic matter and nutrients, can lead to a very low space and volume request (Di Trapani et al., 2010a).

Among various technologies that have been introduced in the last decades, the moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor (MBBR-MBR) constitutes an advanced technology which combines suspended and attached biomass and represents a possible solution to conventional activated sludge processes (Leiknes and Ødegaard, 2007). These systems introduce plastic elements called carriers inside the bioreactor for the growth of attached biomass (Di Trapani et al., 2010a). This technology couples a moving bed biofilm reactor (MBBR) (Ødegaard, 2006) with a membrane bioreactor (MBR) (Visvanathan, Ben Aim and Parameshwaran, 2000), and the resulting process becomes economically attractive when compact technology is required to accommodate space constraints or stringent effluent quality requirements are mandatory regarding organic matter and nutrient removal (Yang, Chen and Zhang, 2006; Leyva-Díaz et al., 2013). Moreover, this process is more resilient to overloading conditions and toxic compounds and has low head loss, high specific biomass activity and large area for colonization (Guo et al., 2010; Feng et al., 2012).

There are two ways of working in an MBBR-MBR system, i.e. a hybrid MBBR-MBR and a pure MBBR-MBR. In a hybrid MBBR-MBR the biomass grows as suspended and attached biomass (Mannina and Viviani, 2009). The difference between the hybrid MBBR-MBR and pure MBBR-MBR resides in the biomass growth, which was mainly developed on carriers as attached biomass in the pure MBBR-MBR since there was no biomass recycling from the membrane tank to the MBBR and the mixed liquor suspended solids (MLSS) concentration in the bioreactor was similar to that in the influent (Falletti, Conte and Milan, 2009).

The analysis of available scientific literature shows a lack of knowledge in terms of heterotrophic and autotrophic kinetics in MBBR-MBR systems used to treat municipal wastewater. In such perspective, respirometry definitively represents a helpful method for kinetic modeling, providing kinetic parameters of heterotrophs and autotrophs under controlled conditions of temperature and pH (Ferrai, Guglielmi and Andreottola, 2010). The principles of respirometry for the characterization of these systems have been described in the literature (Leyva-Díaz et al., 2013). In light of this, kinetic modeling can be an important tool for design and operation of MBBR-MBR plants (Leyva-Díaz et al., 2014).

The kinetics of organic matter and nitrogen removal in the MBBR-MBR was studied based on the Monod first order substrate removal model (Rittmann and McCarty, 1980), taking into account the influence on the kinetics due to the coexistence of two kinds of biomass, suspended and attached (Di Trapani et al., 2010b). The identification and quantification of the heterotrophic and autotrophic microbial population present in the MBR, hybrid MBBR-MBR and pure MBBR-MBR were necessary to evaluate the different kinetic parameters.

2. Objectives

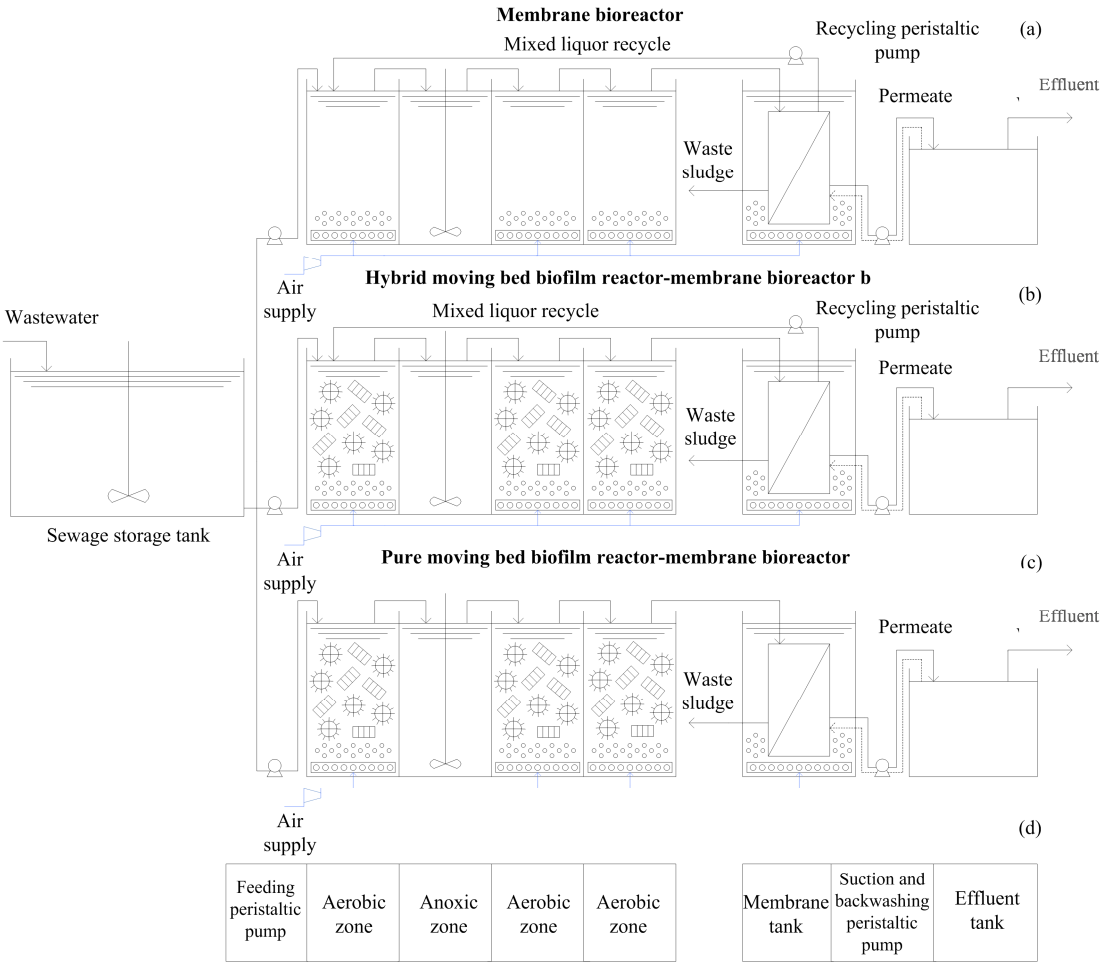
This research work was aimed at the experimental assessment of heterotrophic and autotrophic kinetics in an MBR, a hybrid MBBR-MBR and a pure MBBR-MBR, analyzing its influence on the removal of organic matter and nitrogen.

3. Materials and methods

3.1. Description of the experimental pilot plants and operation conditions

The wastewater treatment plants (WWTPs) consisted of an MBR (Figure 1a), a hybrid MBBR-MBR$_b$ (Figure 1b) and a pure MBBR-MBR (Figure 1c). These systems included a bioreactor divided into four zones: one anoxic zone and three aerobic ones, as well as a membrane tank. The MBR and hybrid MBBR-MBR$_b$ had a biomass recycling from the membrane tank to the bioreactor to get the working MLSS concentration inside the bioreactor and the nitrogen removal. The recycling rate was three times and a half the influent flow rate for the MBR and hybrid MBBR-MBR$_b$. Figure 1d shows the reactor zones, the membrane tank, the effluent tank and some peristaltic pumps.

Figure 1: Diagram of the experimental plants used in the study. (a) Membrane bioreactor (MBR). (b) Hybrid moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor b (Hybrid MBBR-MBR$_b$). (c) Pure moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor (Pure MBBR-MBR). (d) Nomenclature concerning the reactor zones, membrane tank, effluent tank and some peristaltic pumps.



The three pilot WWTPs, working in parallel, were fed with municipal wastewater from a sewage storage tank. This tank was filled with real wastewater coming from the outlet of the primary settler of a wastewater treatment plant (WWTP) located in Granada (Spain). Municipal wastewater was pumped into the first aerobic chamber of the bioreactor and went through the different chambers by a communicating vessel system. Aerobic zones were equipped with fine bubble disk diffusers at the bottom of the bioreactor; the air flow rate had a value of 30 L h^{-1}. The anoxic zones had mechanical stirrers. Both the diffusers and the stirrers kept the carriers moving inside the bioreactor and homogenized the mixed liquor. The outlet of the bioreactor was led into the membrane tank, which contained a submerged module of hollow-fiber ultrafiltration membranes; the air flow rate was 100 L h^{-1}. The total membrane area was 0.20 m^2. The permeate was extracted through the membrane using a suction-backwashing peristaltic pump to collect it in the effluent tank, with a cyclic mode of operation which consisted of production and backwashing periods of 9 min and 1 min, respectively. A fraction of the retentate was removed from the membrane tank as excess sludge.

The WWTPs operated under a hydraulic retention time (HRT) of 6 h, a flow rate of 4.70 L h^{-1}, a membrane flux of 23.5 L m^{-2} h^{-1}. The working volumes of the bioreactor and the membrane tank were 24 L and 4.32 L, respectively, and the anoxic zone of the bioreactor had a volume of 6 L. The sludge retention time (SRT) was 5.7 days for the MBR, 5.4 days for the hybrid MBBR-MBR_b and 4.5 days for the pure MBBR-MBR. The K1 media filling-fraction had a value of 35% in the aerobic zone; the anoxic zone did not contain carriers.

3.2. Experimental procedure and analytical determinations

Samples were collected every 24 h from the influent, the effluents and the anoxic and aerobic zones of the bioreactors and the membrane tank. Physical and chemical determinations were carried out regarding the pH, conductivity, temperature, dissolved oxygen, chemical oxygen demand (COD), five-day biochemical oxygen demand (BOD_5), total suspended solids (TSS), volatile suspended solids (VSS), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN) and the concentrations of ammonium (NH_4^+), nitrite (NO_2^-) and nitrate (NO_3^-) (APHA, 2012).

The kinetic parameters for heterotrophic, autotrophic and nitrite-oxidizing bacteria and the substrate degradation rate (r_{su}) were evaluated according to Leyva-Díaz et al. (2013). The concentrations of heterotrophic and autotrophic bacteria were necessary for the assessment of the different kinetic parameters and were evaluated by supposing the percentages of heterotrophic, autotrophic and nitrite-oxidizing bacteria in the MLSS and biofilm density (BD) attached to the carriers for the MBR and hybrid MBBR-MBR systems studied by Leyva-Díaz et al. (2015).

The evaluation of statistically significant differences between the results concerning COD, BOD_5, TSS, TN, TP and concentrations of NH_4^+, NO_2^- and NO_3^- was carried out using the software SPSS 20.0 for Windows.

4. Results and discussion

4.1. Biomass formation and physical and chemical parameters

The MBR, hybrid MBBR-MBR_b and pure MBBR-MBR worked at average MLSS concentrations of 2,777.78±282.27 mg L^{-1}, 2,243.75±216.95 mg L^{-1} and 258.75±79.99 mg L^{-1}, respectively, in the steady state. The values of BD concerning the steady state were 748.53±111.97 mg L^{-1} and 2,070.00±202.97 mg L^{-1} for the hybrid MBBR-MBR_b and pure MBBR-MBR, respectively. The concentration of MLSS in the MBR was slightly higher than that in the hybrid MBBR-MBR_b although this difference was

compensated by the attached biofilm on the carriers contained in the hybrid MBBR-MBR_b. The pure MBBR-MBR mainly had attached BD and the MLSS concentration in the bioreactor was similar to that of the influent. The values of MLSS concentrations and attached BD were similar to those reported by Leyva-Díaz et al. (2014).

Table 1 shows the average values of pH, conductivity, temperature and dissolved oxygen concentration of the influent, effluents and mixed liquors of the different bioreactors. The pure MBBR-MBR showed similar values of conductivity of the influent, mixed liquor and effluent since there was no biomass recycling from the membrane tank to the bioreactor. The temperature was 20.7±1.1ºC. The dissolved oxygen concentrations in the aerobic zone of the bioreactors were around 2.0 mg O_2 L^{-1}, which is recommended to achieve an efficient removal of organic matter and nitrogen, according to Wang et al. (2006).

Table 1: Average values of pH, conductivity, temperature and dissolved oxygen concentration of the influent, effluents and mixed liquors of the biological reactors of the experimental plants.

Parameter	Sampling zone									
	Influent	MBR			Hybrid MBBR-MBR_b			Pure MBBR-MBR		
		Effluent	Anoxic zone	Aerobic zone	Effluent	Anoxic zone	Aerobic zone	Effluent	Anoxic zone	Aerobic zone
pH	8.16±0.15	7.10±0.54	7.39±0.52	7.05±0.59	6.71±0.35	7.17±0.57	6.59±0.73	7.49±0.50	7.80±0.06	7.67±0.08
Conductivity (µS cm^{-1})	1,313±103	1,025±79	1,085±83	1,051±84	1,031±64	1,053±53	1,033±59	1,271±133	1,376±142	1,342±134
Temperature (ºC)	20.2±1.3	20.7±0.8	20.7±0.8	20.7±0.8	20.7±1.0	20.7±0.9	20.7±0.9	20.7±1.3	20.7±1.2	20.7±1.3
Dissolved oxygen (mg O_2 L^{-1})	-	-	0.3±0.2	2.0±1.1	-	0.2±0.1	1.8±0.8	-	0.3±0.1	2.1±0.5

4.2. Organic matter and nutrient removal

The values of COD and BOD_5 obtained from the influent and effluents relating to the MBR, hybrid MBBR-MBR_b and pure MBBR-MBR, as well as the removal percentages of these parameters for the steady state, are shown in Table 2.

Table 2: Average values of COD, BOD_5, TSS, TP, TN, NH_4^+, NO_2^- and NO_3^- of the influent and effluents of the experimental plants and removal percentages of COD, BOD_5, TSS, TP and TN during the steady state. COD (chemical oxygen demand), BOD_5 (five-day biochemical oxygen demand), TSS (total suspended solids), TP (total phosphorus), TN (total nitrogen), NH_4^+ (concentration of ammonium), NO_2^- (concentration of nitrite), NO_3^- (concentration of nitrate).

Parameter	Sampling zone				Removal percentage	Wastewater treatment plant		
	Influent	Effluent MBR	Effluent Hybrid MBBR-MBR_b	Effluent Pure MBBR-MBR		MBR	Hybrid MBBR-MBR_b	Pure MBBR-MBR
COD (mg O_2 L^{-1})	207.61±38.79	33.20±3.76	33.01±6.20	41.99±7.12	COD (%)	84.01±2.15	84.10±2.25	79.78±4.60
BOD_5 (mg O_2 L^{-1})	104.29±15.01	4.79±0.67	4.60±1.23	4.40±0.98	BOD_5 (%)	95.41±0.96	95.58±0.87	95.78±0.82
TSS (mg L^{-1})	83.07±20.26	4.58±2.38	5.41±2.46	3.14±2.62	TSS (%)	94.49±3.65	93.49±3.66	96.21±2.71
TP (mg TP L^{-1})	9.15±1.27	4.98±0.70	5.24±0.72	5.31±1.48	TP (%)	45.55±11.67	42.71±6.91	41.98±9.95
TN (mg TN L^{-1})	80.21±8.50	43.43±8.71	41.28±13.44	29.51±3.93	TN (%)	45.86±10.69	48.53±16.71	63.21±11.01
NH_4^+ (mg NH_4^+ L^{-1})	100.45±31.70	ND	ND	ND				
NO_2^- (mg NO_2^- L^{-1})	0.81±0.02	8.42±5.67	18.16±8.04	28.87±12.26				
NO_3^- (mg NO_3^- L^{-1})	8.14±4.11	180.97±69.88	158.36±47.34	91.77±25.22				

ND: Not Detected

The hybrid MBBR-MBR_b showed a better performance than the MBR and pure MBBR-MBR regarding COD removal, with a value of 84.10±2.25%. The differences between the hybrid MBBR-MBR_b and MBR regarding the COD removal were not statistically significant under an HRT of 6 h. However, these differences were statistically significant between the hybrid MBBR-MBR_b and pure MBBR-MBR with a p-value of 0.00030 (Table 3). The improvement regarding the removal of organic matter in the hybrid MBBR-MBR_b was probably due to the presence of suspended and attached biomass, as the pure MBBR-MBR mainly contained attached biomass, while the MBR only had suspended biomass.

Table 3: P-values of sequential comparison (ANOVA analysis) of removal percentages of COD, BOD_5, TSS, TN and TP between the different experimental plants. COD (chemical oxygen demand), BOD_5 (five-day biochemical oxygen demand), TSS (total suspended solids), TN (total nitrogen). TP (total phosphorus).

Wastewater treatment plants		Parameter				
		COD	BOD_5	TSS	TN	TP
MBR	Hybrid MBBR-MBR_b	0.06519	0.79999	0.99110	0.89674	0.99995
MBR	Pure MBBR-MBR	**0.00450**	0.22043	0.78543	**0.04478**	0.99956
Hybrid MBBR-MBR_b	Pure MBBR-MBR	**0.00030**	0.89992	0.23252	**0.03480**	0.99999

The differences between the pilot plants regarding the removal percentage of TSS were not statistically significant (Table 3) due to the physical process of ultrafiltration.

The concentrations of TP and TN in the influent and the effluents of the WWTPs and the removal percentages of these nutrients are indicated in Table 2. The experimental plants removed a fraction of TP due to the physical process of ultrafiltration and the creation of small anaerobic zones in the anoxic chambers. However, the process of

biological phosphorus removal could not be initialized since there was not a strict anaerobic compartment (Kermani et al., 2009), so the differences between the pilot plants were not statistically significant regarding the TP removal (Table 3).

The pure MBBR-MBR showed the best performance concerning TN removal, with a value of 63.21±11.01% (Table 2). The differences between the pure MBBR-MBR and the MBR and hybrid MBBR-MBR_b were statistically significant under an HRT of 6 h as the p-values obtained were lower than α=0.05 (Table 3). In light of this, the TN removal was more effective in the pure MBBR-MBR. This was probably due to the biomass growth as it was mainly developed on carriers as attached biomass, with a value of BD of 2,070.00±202.97 mg L^{-1}, involving a better contact between the nitrate and the microorganisms involved in the nitrogen cycle for its removal (Rusten, Hem and Ødegaard, 1995). Nitrification took place in the outer layer of the attached biomass (aerobic layer) and denitrification occurred in the deeper layer (anoxic layer). Consequently, the pure MBBR-MBR showed the highest performance of TN removal (Yang et al., 2009).

4.3. Kinetic modeling of MBR, hybrid MBBR-MBR_b and pure MBBR-MBR

Table 4 shows the parameters that fit the Monod model for the heterotrophic, autotrophic and nitrite-oxidizing bacteria contained in the different bioreactors.

Table 4: Kinetic parameters for the characterization of heterotrophic, autotrophic and nitrite-oxidizing bacteria. Y_H (yield coefficient for heterotrophic biomass), $\mu_{m,H}$ (maximum specific growth rate for heterotrophic biomass), K_M (half-saturation coefficient for organic matter), Y_A (yield coefficient for autotrophic biomass), $\mu_{m,A}$ (maximum specific growth rate for autotrophic biomass), K_{NH} (half-saturation coefficient for ammonia-nitrogen), Y_{NOB} (yield coefficient for nitrite-oxidizing bacteria), $\mu_{m,NOB}$ (maximum specific growth rate for nitrite-oxidizing bacteria), K_{NOB} (half-saturation coefficient for nitrite-nitrogen), k_d (decay coefficient for autotrophic and heterotrophic biomass).

Parameter	Sampling zone		
	MBR	Hybrid MBBR-MBR_b	Pure MBBR-MBR
Heterotrophic bacteria			
Y_H (mg VSS mg COD^{-1})	0.5632	0.5756	0.5941
$\mu_{m,H}$ (h^{-1})	0.0255	0.0658	0.0292
K_M (mg O_2 L^{-1})	7.0629	18.9121	2.9681
Autotrophic bacteria			
Y_A (mg O_2 mg N^{-1})	1.9591	2.2366	2.3657
$\mu_{m,A}$ (h^{-1})	0.1607	0.2250	0.3591
K_{NH} (mg N L^{-1})	0.3887	2.4179	3.1582
Nitrite-oxidizing bacteria			
Y_{NOB} (mg O_2 mg N^{-1})	0.5746	0.4918	0.4989
$\mu_{m,NOB}$ (h^{-1})	0.1482	0.2478	0.1828
K_{NOB} (mg N L^{-1})	0.5809	1.0025	1.2601
Total bacteria			
k_d (d^{-1})	0.0366	0.0390	0.0982

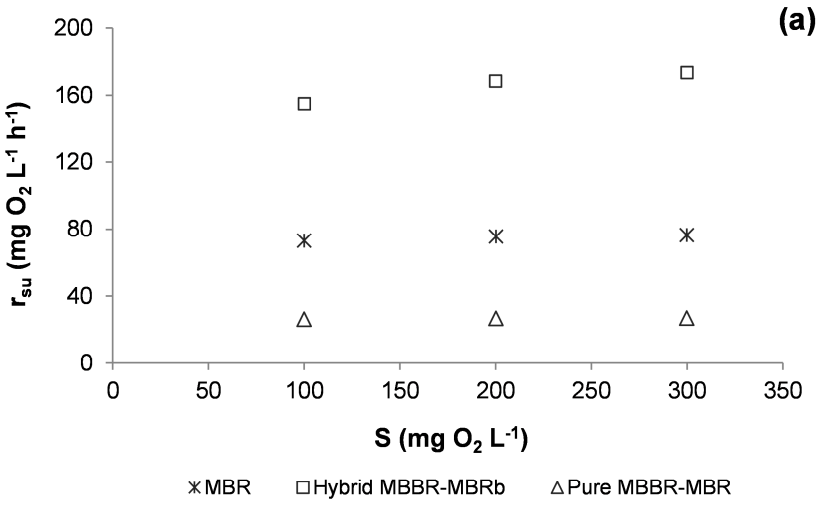
The heterotrophic biomass of the hybrid MBBR-MBR_b showed a kinetic performance that was better than those corresponding to the MBR and pure MBBR-MBR according to the evaluation of the r_{su}, depending on the kinetic parameters and the substrate and biomass concentrations, as shown in Figure 2a. Therefore, the heterotrophic biomass of the hybrid MBBR-MBR_b required less time for organic matter oxidation under the operation conditions of this study. Moreover, the detection of the maximum specific growth rate (μ_m) could be carried out with less available substrate and less time would be required to accomplish a steady state in the hybrid MBBR-MBR_b. This was in accordance with the highest COD removal efficiency of the hybrid MBBR-MBR_b, with a value of 84.10±2.25%, as indicated in Table 2.

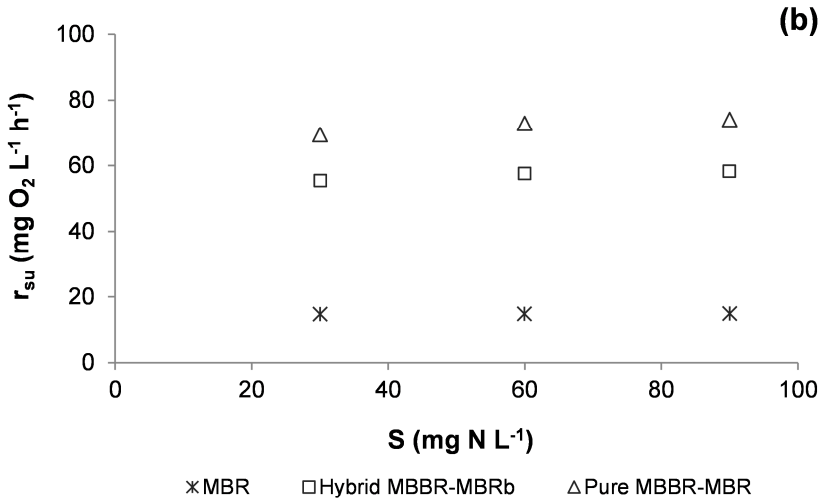
The autotrophic biomass of the pure MBBR-MBR showed a kinetic behavior that was better than those corresponding to the MBR and hybrid MBBR-MBR_b (Figure 2b). Thus, the autotrophic biomass of the pure MBBR-MBR needed less time for the oxidation of nitrogen contained in the influent under the operation conditions, the detection of the μ_m was carried out with less available substrate, and less time would be required to accomplish a steady state in the pure MBBR-MBR. This was probably due to the better accessibility to the available substrate by the attached biomass of the pure MBBR-MBR since there was practically no competition between suspended and attached biomass. This supported that the pure MBBR-MBR was the pilot plant with the highest percentage of TN removal, with a value of 63.21±11.01%, as shown in Table 2. The values of Y_A reported by Seifi and Fazaelipoor (2012) and Di Trapani et al. (2008) were slightly lower than those obtained in this study. Henze et al. (1987) and Seifi and Fazaelipoor (2012) obtained similar values regarding K_{NH} and $\mu_{m,\ A}$, respectively, in an MBBR.

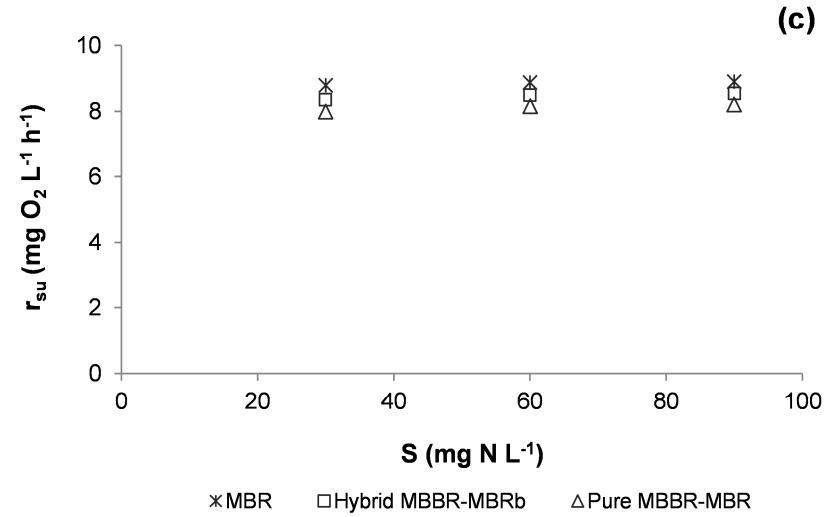
From the point of view of the nitrite-oxidizing bacteria (NOB), the MBR showed the best kinetic performance, with values of Y_{NOB} = 0.5746 mg O_2 mg N^{-1}, $\mu_{m,\ NOB}$ = 0.1482 h^{-1} and K_{NOB} = 0.5809 mg N L^{-1} (Henze et al., 2000; Pambrun, Paul and Sperandio, 2006; Iacopozzi, Innocenti and Marsili-Libelli, 2007), as shown in Figure 2c. This supported the fact that the nitrate concentration in the effluent from the MBR was higher than those from the hybrid MBBR-MBR_b and pure MBBR-MBR (Table 2). Consequently, the pure MBBR-MBR could have a better kinetic behavior regarding the ammonium-oxidizing bacteria (AOB) because, on the whole, the kinetics of autotrophic bacteria was better in this system, as previously mentioned, and the pure MBBR-MBR had the highest nitrite concentration in its effluent (Table 2). There were statistically significant differences regarding nitrite and nitrate formations between the MBR and pure MBBR-MBR as the p-values obtained were less than α=0.05, p-value $_{\text{MBR-Pure MBBR-MBR}}$ (NO_2^-) = 0.01315 and p-value $_{\text{MBR-Pure MBBR-MBR}}$ (NO_3^-) = 0.02289.

The values of the decay coefficient for total bacteria (k_d) are also indicated in Table 4. The k_d for the biomass of the pure MBBR-MBR was the highest. The value of SRT in the pure MBBR-MBR was the lowest compared to the MBR and hybrid MBBR-MBR_b, with a value of 4.5 days, as the flow rate of waste sludge was higher than those corresponding to the MBR and hybrid MBBR-MBR_b to keep a low MLSS concentration inside the bioreactor of the pure MBBR-MBR. In light of this, the biomass decay rate will be higher as the organic loading rate was similar in the WWTPs, but the MLSS concentration was lower in the pure MBBR-MBR.

Figure 2: Substrate degradation rate (r_{su}) obtained in the biological kinetic study depending on the substrate concentration for the different bioreactors from the WWTPs. (a) Heterotrophic bacteria. (b) Autotrophic bacteria. (c) Nitrite-oxidizing bacteria.







5. Conclusions

The pure MBBR-MBR had a higher potential to remove TN from municipal wastewater than the MBR or hybrid MBBR-MBR_b, with an efficiency of TN removal of 63.21±11.01%, as the attached biomass had a great quantity of available substrate and a better accessibility to it. The hybrid MBBR-MBR_b showed the best performance of COD removal as this system had a better heterotrophic kinetic performance. Thus, the effect of the attached biomass enhanced the organic matter and nitrogen removal through a hybrid MBBR-MBR_b or pure MBBR-MBR, respectively.

Consequently, the hybrid MBBR-MBR_b and pure MBBR-MBR would enable the rehabilitation of activated sludge plants and membrane bioreactors which, for any reason, did not comply with the Directive 91/271/EEC regarding the organic matter and nitrogen removal.

References

APHA (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater (22nd edn.)*. Washington DC, USA: American Public Health Association.

Di Trapani, D., Mannina, G., Torregrossa, M., & Viviani, G. (2008). Hybrid moving bed biofilm reactors: a pilot plant experiment. *Water Science and Technology, 57* (10), 1539-1545.

Di Trapani, D., Mannina, G., Torregrossa, M., & Viviani, G. (2010a). Quantification of kinetic parameters for heterotrophic bacteria via respirometry in a hybrid reactor. *Water Science and Technology, 61* (7), 1757-1766.

Di Trapani, D., Mannina, G., Torregrossa, M., & Viviani, G. (2010b). Comparison between hybrid moving bed biofilm reactor and activated sludge system: a pilot plant experiment. *Water Science and Technology, 61* (4), 891-902.

Falletti, L., Conte, L., & Milan, M. (2009). Nitrogen removal improvement in small wastewater treatment plants with hybrid and tertiary moving bed biofilm reactors. *Proceedings of the 2nd IWA Specialized Conference, Nutrient Management in Wastewater Treatment Processes* (pp. 803-810). Kraków, Poland.

Feng, Q., Wang, Y., Wang, T., Zheng, H., Chu, L., Zhang, C., Chen, H., Kong, X., & Xing, X. H. (2012). Effects of packing rates of cubic-shaped polyurethane foam carriers on the microbial community and the removal of organics and nitrogen in moving bed biofilm reactors. *Bioresource Technology* 117, 201-207.

Ferrai, M., Guglielmi, G., & Andreottola, G. (2010). Modelling respirometric tests for the assessment of kinetic and stoichiometric parameters on MBBR biofilm for municipal wastewater treatment. *Environmental Modelling & Software, 25*, 626-632.

Guo, W., Ngo, H. H., Dharmawan, F., & Palmer, C. G. (2010). Roles of polyurethane foam in aerobic moving and fixed bed bioreactors. *Bioresource Technology, 101*, 1435-1439.

Henze, M., Grady, C. P. L., Gujer, W., Marais, G. v. R., & Matsuo, T. (1987). Activated Sludge Model No. 1. *IAWPRC Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment, Scientific and Technical Report No. 1.* London, UK: IWA Publishing.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., & van Loosdrecht, M. (2000). Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. *IWA Task Group on Mathematical Modelling for Design and Operation of Biological Wastewater Treatment, IWA Scientific and Technical Report No. 9.* London, UK: IWA Publishing.

Iacopozzi, I., Innocenti, V., & Marsili-Libelli, S. (2007). A modified Activated Sludge Model

No. 3 (ASM3) with two-step nitrification-denitrification. *Environmental Modelling & Software, 22*, 847-861.

Kermani, M., Bina, B., Movahedian, H., Amin, M. M., & Nikaeen, M. (2009). Biological phosphorus and nitrogen removal from wastewater using moving bed biofilm process. *Iranian Journal of Biotechnology, 7* (1), 19-27.

Leiknes, T., & Ødegaard, H. (2007). The development of a biofilm membrane bioreactor, *Desalination, 202*, 135-143.

Leyva-Díaz, J. C., Calderón, K., Rodríguez, F. A., González-López, J., Hontoria, E., & Poyatos, J. M. (2013). Comparative kinetic study between moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor and membrane bioreactor systems and their influence on organic matter and nutrients removal. *Biochemical Engineering Journal, 77*, 28-40.

Leyva-Díaz, J. C., Martín-Pascual, J., Muñío, M. M., González-López, J., Hontoria, E., & Poyatos, J. M. (2014). Comparative kinetics of hybrid and pure moving bed reactor-membrane bioreactors. *Ecological Engineering, 70*, 227-234.

Leyva-Díaz, J. C., González-Martínez, A., González-López, J., Muñío, M. M., & Poyatos, J. M. (2015). Kinetic modeling and microbiological study of two-step nitrification in a membrane bioreactor and hybrid moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor for wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal, 259*, 692-702.

Mannina, G., & Viviani, G. (2009). Hybrid moving bed biofilm reactors: an effective solution for upgrading a large wastewater treatment plant. *Water Science and Technology, 60* (5), 1103-1116.

Ødegaard, H. (2006). Innovations in wastewater treatment: the moving bed bioreactor. *Water Science and Technology, 53* (9), 17-33.

Pambrun, V., Paul, E., & Sperandio, M. (2006). Modeling the partial nitrification in sequencing batch reactor for biomass adapted to high ammonia concentrations. *Biotechnology and Bioengineering, 95*, 120-131.

Rittmann, B. E., & McCarty, P. (1980). Model of steady state biofilm kinetics. *Biotechnology and Bioengeering, 22*, 2343-2357.

Rusten, B., Hem, L. J., & Ødegaard, H. (1995). Nitrification of municipal wastewater in moving-bed biofilm reactors. *Water Environment Research, 67* (1), 75-86.

Seifi, M., & Fazaelipoor, M. H. (2012). Modeling simultaneous nitrification and denitrification (SND) in a fluidized bed biofilm reactor. *Applied Mathematical Modelling, 36*, 5603-5613.

Visvanathan, C., Ben Aim, R., & Parameshwaran, K. (2000). Membrane separation bioreactors for wastewater treatment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 30* (1), 1-48.

Wang, X. J., Xia, S. Q., Chen, L., Zhao, J. F., Renault, N. J., & Chovelon, J. M. (2006). Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor. *Process Biochemistry, 41* (4), 824-828.

Yang, Q., Chen, J., & Zhang, F. (2006). Membrane fouling control in a submerged membrane bioreactor with porous, flexible suspended carriers. *Desalination, 189*, 292-302.

Yang, S., Yang, F., Fu, Z., & Lei, R. (2009). Comparison between a moving bed membrane bioreactor and a conventional membrane bioreactor on organic carbon and nitrogen removal. *Bioresource Technology, 100*, 2369-2374.

04-004

WATER MANAGEMENT AND EARLY WARNING TOOLS AT SAIH-JÚCAR

Niclós Ferragut, Joaquín [1]; Rodríguez Zurita, Miguel [2]
[1] Confederación Hidrográfica del Júcar, [2] TRAGSATEC

The Júcar River has a distinctly Mediterranean behaviour, characterised by a great disproportion between ordinary and extraordinary water flows, as well as an extreme system of water flows with high-magnitude rises that causes the river to overflow about every century, flooding its banks. Occasionally this causes significant damages to the land and the communities, as it happened in 1982. This situation led to the need of implementing Automatic Hydrological Information Systems (SAIH, in Spanish), which provides real-time hydrological-hydraulic information and enables the prediction of the future behaviour of the basins. The entire Júcar river basin is divided into sub-basins, in which there are Remote Stations (RS) and Points of Concentration (PC). The River Basin Processing Centre (RBPC) regularly examines concentrators and, as it is the final destination for the data, it oversees their organisation and management. This network has a hierarchical structure with two levels: the RSs communicate with the PCs via secondary network protocol and the PCs transfer information to the RBPC via primary network protocol. The aim of this presentation is to introduce the new applications that enable the optimization in the hydrological management and early warning.

Keywords: *Hydrological information; systems management; early warning; functional software.*

HERRAMIENTAS DE GESTIÓN HIDROLÓGICA Y DE ALERTA TEMPRANA EN EL SAIH-JÚCAR

El río Júcar tiene un comportamiento claramente mediterráneo, caracterizado por una gran desproporción entre los caudales ordinarios y extraordinarios, y por un régimen extremo de caudales con crecidas de elevada magnitud que provocan desbordamientos seculares que inundan las márgenes y, en ocasiones, son causa de daños considerables en los terrenos y poblaciones, como la producida en el año 1982. Ante esa situación nació la necesidad de implantar Sistemas Automáticos de Información Hidrológica (SAIH), que permiten disponer de datos hidrológico-hidráulicos en tiempo real, y prever, el comportamiento futuro de las cuencas. Toda la cuenca del Júcar se subdivide en subcuencas, en las que se encuentran las Estaciones Remotas (ER) y los Puntos de Concentración (PC). El Centro de Proceso de Datos (CPD), interroga periódicamente a los concentradores, y siendo punto final de los datos, se encarga de su organización y gestión. Esta red tiene una estructura jerárquica con dos niveles: las ER se comunican con los PC mediante protocolo de red secundaria y los PC transfieren la información al CPD por el protocolo de red primaria. El objetivo de esta presentación es exponer las nuevas aplicaciones que posibilitan la optimización en la gestión hidrológica y de alerta temprana.

Palabras clave: *Información hidrológica; gestión de sistemas; alerta temprana; software funcional.*

Correspondencia: Joaquín Niclós Ferragut joaquin.niclos@chj.es Miguel Rodríguez Zurita mrodri29@tragsa.es

1. Introducción

El Júcar es un río de comportamiento claramente mediterráneo, caracterizado por una gran desproporción entre los caudales ordinarios y extraordinarios, y por un régimen extremo de caudales con crecidas de elevada magnitud que provocan desbordamientos seculares, que inundan las márgenes y son causa de daños considerables en los terrenos y poblaciones que alcanzan, especialmente, en las zonas inundables de las comarcas de la Ribera Alta y Ribera Baixa de la Comunitat Valenciana. Ello es debido a que en las cuencas media y baja del río es relativamente frecuente la aparición de una situación meteorológica denominada "Gota Fría", como ha quedado claramente de manifiesto en las distintas avenidas históricas, entre las que se pueden destacar las de 1864, 1982 y 1987 (Ej.: Confederación Hidrográfica del Júcar, 2011).

De todos es conocido el evento meteorológico extremo del año 1982, que condujo al colapso de la presa de Tous, y que supuso necesidad de disponer de un sistema que diera apoyo técnico sustancial y ayudara a la toma de decisiones en relación con los dos tipos de problemas de gestión hidráulica, por un lado, el seguimiento de avenidas a efectos de prevenir y minimizar daños, y por otro, la gestión de los recursos hidráulicos, a efectos de optimizar su asignación y operación, especialmente en las situaciones de escasez a corto y medio plazo, que exigen un especial control de tales recursos.

Para poder alcanzar los objetivos indicados, se diseñó en su día, un sistema de captación, transmisión, presentación y proceso de la información hidrológico/hidráulica descriptiva del estado de la cuenca en cada momento, denominado SAIH, Sistema Automático de Información Hidrológica (Ej.: Utrillas y Gabaldó, 1996).

Pero este sistema ha dado lugar al desarrollo de distintas aplicaciones, capaces de facilitar los estudios hidrológicos e hidráulicos, a través de la recepción de las señales que se reciben en tiempo real, y de planificar de forma eficiente las gestión de los recursos humanos y las necesidades de material tecnológico para el mantenimiento de la red SAIH así como herramientas para el análisis de las causas y fallos.

Estas nuevas aplicaciones, que posibilitan la optimización en la gestión hidrológica, alerta temprana y gestión del sistema, se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Herramientas de gestión hidrológica: gestión de de la situación de los embalses, aforos y pluviómetros (Saihwin, Interpomap, Ríos y Vistas).
- Herramientas de gestión no hidrológica: gestión de los mantenimientos preventivo y correctivo (Geo_Saih), expuesta en el anterior Congreso (Ej.: Niclós y Rodríquez, 2014) y de las comunicaciones basadas fundamentalmente en radioenlaces (Svecor).

2. Objetivos

Con la presente comunicación se expone una nueva herramienta de gestión de las comunicaciones denominada Svecor_Android: Sistema de visualización del estado de las comunicaciones en tiempo real.

Con la aparición del sistema operativo sobre dispositivos móviles Android, se ha adaptado la aplicación Svecor (en formato texto), a un formato gráfico e inteligente, para su uso exclusivo en cualquier dispositivo móvil, facilitando en tiempo real (cinco minutos) los datos obtenidos por las estaciones de medida o puntos de control de la red del SAIH, siendo accesible desde cualquier lugar incrementando la operatividad en la gestión.

3. Caso de estudio. SVECOR_ANDROID

3.1 Breve exposición del funcionamiento y estructura general del sistema de comunicaciones del SAIH

La red de transmisión de datos tiene una estructura ramificada en dos niveles, el primer nivel o red primaria une el Centro de Proceso de Cuenca con los puntos de concentración y el segundo nivel o red secundaria, enlaza los puntos de concentración con los puntos de control.

Las comunicaciones de la red secundaria se hacen por medio de radioenlaces mientras que las comunicaciones de la red primaria utilizan seis enlaces vía satélite y dos vía microondas. Existe la posibilidad de alternar las comunicaciones vía satélite por radioenlaces a fin de tener una mayor garantía en la transmisión de datos.

Adicionalmente existen algunos puntos comunicados vía 3G y GPRS, con transmisión de imágenes de video, así como por vía email.

Este sistema de comunicaciones se estructura en tres niveles jerárquicos:

1. Punto de control o Estación Remota.
2. Punto de Concentración.
3. Centro de Proceso de Cuenca.

En el Punto de Control o Estación Remota se efectúa la adquisición de los datos de campo, realizándose un almacenamiento de la información y una primera elaboración de la misma. La red de telemedida está formada por un total de 218 puntos de toma de datos que realizan las lecturas de los respectivos sensores y almacenan la información durante un tiempo variable de hasta 10 días, en función del modelo de la estación remota y cantidad de sensores

En los Puntos de Concentración se gestionan la comunicación vía la red secundaria de todas las estaciones remotas de un ámbito geográfico y a requerimiento del Centro de Proceso de Cuenca (C.P.C.) le transmite toda la información de su subcuenca a través de la red primaria de comunicaciones.

Los Puntos de Concentración, 8 en total, tienen la finalidad de agrupar por áreas una serie de puntos de control para acortar la amplitud del barrido de los procesos de interrogación-respuesta. Éstos constituyen el segundo nivel y están situados en los embalses de Sichar, Arenós, Loriguilla, Contreras (ubicado en el repetidor del Remedio de Utiel), Beniarrés, Amadorio, Bellús y en Valencia, situado éste último en el Centro de Proceso de Cuenca desde el cual se controla la red de comunicaciones, se reciben y almacenan los datos y se ejecutan los procesos de tratamiento y presentación de la información para los distintos usuarios del servicio.

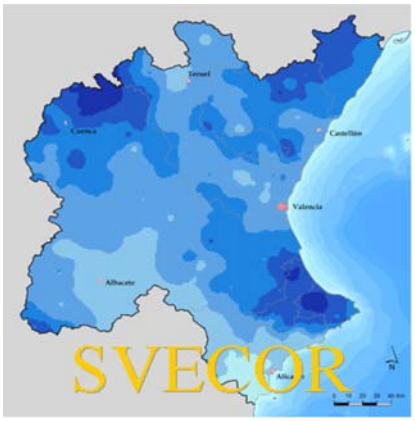
En el Centro de Proceso de Cuenca, situado en la sede de la Confederación Hidrográfica del Júcar en Valencia, se realiza la interrogación a los Puntos de Concentración de los cuales, seis están situados en embalses que comunican sus datos vía satélite y dos están conectados por vía microondas, ya que se encuentran físicamente en el Centro de Proceso de Cuenca.

3.2 Herramienta SVECOR_ANDROID en la estructura general del SAIH

Svecor (Sistema de Visualización del Estado de las COmunicaciones en tiempo Real) es un programa propio e independiente que extrae en tiempo real y desde un dispositivo móvil los datos obtenidos de cada una de las estaciones de medida de la red del SAIH (figura 1), para verificar su funcionamiento correcto.

Para ello, Svecor se conecta periódicamente con el SAIH, que centraliza y distribuye esta información. Debido a esto, es necesario que el dispositivo móvil en el cual se instale la aplicación, tenga contratada una conexión de datos o que se conecte por Wifi a una red que posea acceso a Internet.

Figura 1: Ventana principal de la aplicación sobre dispositivo móvil



La cantidad de datos descargados por la aplicación dependerá del tiempo que esté activa la aplicación y del periodo de refresco entre actualización de datos. No es frecuente que dicha cantidad exceda los 60-70 MB semanales, incluso con un uso intensivo.

En cualquier caso, es importante tener esto en cuenta si se va a trabajar sin Wifi, debido al carácter limitado de las descargas que ofrecen los proveedores de servicios de telefonía móvil.

En la versión actual, Svecor puede geolocalizar y representar las estaciones sobre un mapa de Google Maps (marca registrada de Google Inc., 1600 Amphitheatre Parkway, Mountain View, CA 94043, Estados Unidos).

El uso de Google Maps es gratuito pero posee sus propios requerimientos específicos para la aplicación:

- Versión mínima de Android: Android 3.2 Honeycomb (API level 13).
- Espacio de almacenamiento: 7 MB para Svecor + 65 MB para Google Play Services.
- Conexión de datos.
- Usuario de Google.

Figura 2: Ventana de las Estaciones con problemas (7)

Tras la carga inicial de datos, la aplicación muestra la siguiente información sobre las estaciones que dispongan algún tipo de problema de comunicación (figura 2):

Los estados de las estaciones siguen el siguiente código de colores (tabla 1):

Tabla 1: Código de colores en el sistema de comunicaciones

	ESTADO 0	VERDE	COMUNICA (SIN ERROR)	La estación comunica desde hace más de 15 minutos
	ESTADO 1	VERDE OSCURO		La estación comunica desde hace menos de 15 minutos (recuperación fallo/error reciente)
	ESTADO 2	ROJO OSCURO	FALLO (CON ERROR)	La estación está en fallo/error desde hace menos de 15 minutos
	ESTADO 3	ROJO		La estación está en fallo/error desde hace más de 15 minutos

Con una ventana inicial que sólo muestra las estaciones en error: las que estén en el estado 2 o 3 (no muestra las estaciones en verde por simplificación los estados 0 y 1)

Desde esta ventana principal de la aplicación, se puede acceder al resto de funcionalidades, que se describen a continuación.

Los datos mostrados no son estáticos, sino que se vuelven a consultar al servidor cada cierto tiempo prefijado. Las estaciones pueden cambiar de estado durante ese intervalo, y esos cambios se verán reflejados en la aplicación en cuanto termine la última sincronización.

La sincronización es automática y no requiere intervención alguna del usuario. El usuario sí puede, en cambio, configurar el intervalo de tiempo entre sincronizaciones.

Cuando Svecor está sincronizando, en la segunda línea de la cabecera aparece el mensaje “Actualizando…”. Cuando ha terminado la sincronización, aparece el mensaje “Actualizado a …”, indicando la “fecha y hora” de la última actualización.

La sincronización sigue funcionando mientras la aplicación siga en ejecución, aunque no esté en primer plano, y también afecta a los datos mostrados en el mapa. Debido a ello, si no se está conectado por Wifi y no se va a usar el programa, es preferible cerrarlo (pulsar Atrás dos veces) para no consumir nuestra cuota de descargas mensual que tengamos contratada.

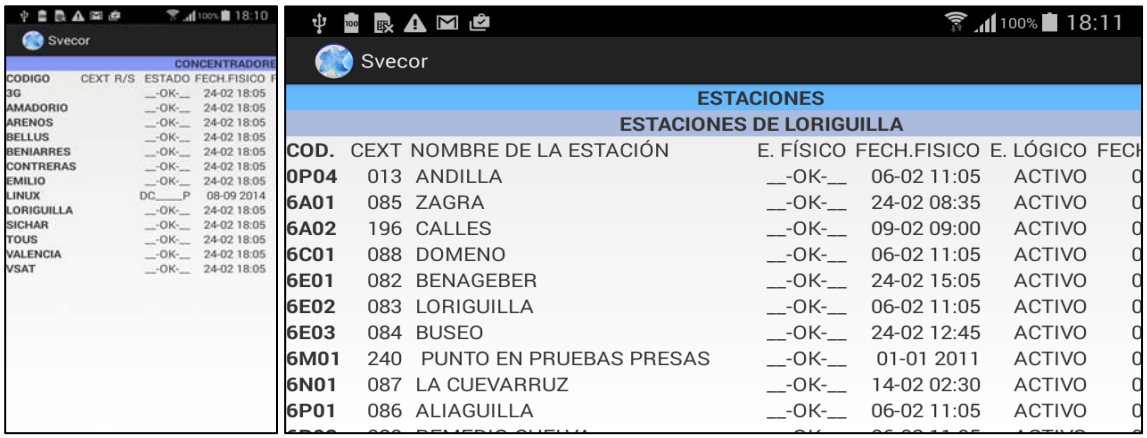
Si se quieren ver los datos de una estación con problemas, se pulsa sobre ella en la ventana anterior (‘Estaciones con problemas’) (figura 3).

Figura 3: Ventana con datos de una estación con problemas

Los datos que se muestran, en este caso, son los estados físico y lógico de la estación, fechas de dichos estados, y el estado del concentrador al que pertenece la estación junto con sus propio estado y fecha de estado.

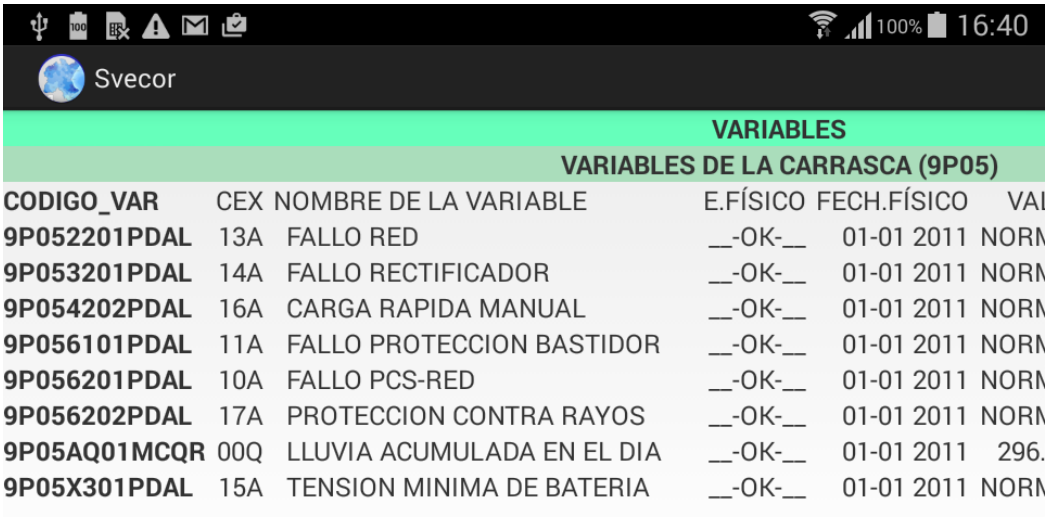
Otra opción importante son los concentradores, que agrupan todas las estaciones que le pertenecen, para ello con el botón 'Concentradores' se puede observar todos los concentradores que existen, así como algunos de sus datos, entre ellos las variables de una estación en concreto pulsando sobre su código (figura 4).

Figura 4: Ventana con los datos de un concentrador y sus estaciones



En la ventana "Variables" se disponen de las variables con sus códigos correspondientes y los datos de las variables asociados a esta estación (figura 5).

Figura 5: Ventana con datos de las variables



Obsérvese que para visualizar estos datos se ha girado el dispositivo para poder verlos con mayor claridad. Todas las ventanas de Svecor permiten ser visualizadas tanto horizontal como verticalmente, según prefiera el usuario en cada momento.

El listado anterior de datos no cabe entero en la pantalla. Para ver las partes no visibles, se puede deslizar el dedo por la pantalla de derecha a izquierda o de arriba abajo hasta que se muestren las partes deseadas.

Figura 6: Ventana con las características del mapa y estaciones

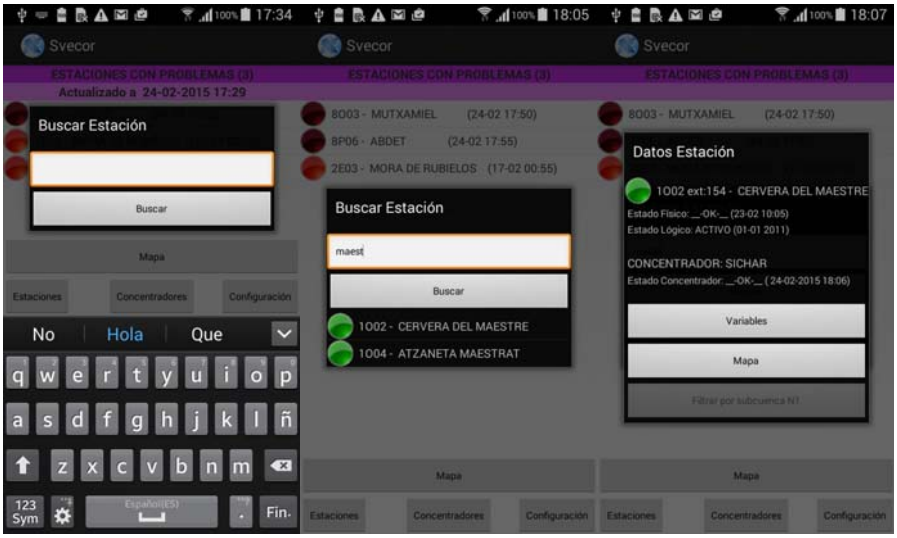
Para volver al diálogo ‘Datos Estación’, hay que pulsar la tecla ‘Atrás’ del dispositivo móvil.

En general, y salvo que se indique lo contrario, ese será el método adecuado para cerrar una ventana y volver a la ventana anterior en Svecor.

También se puede pulsar el botón “Mapa” desde la ventana de los datos de una estación, lo cual nos conducirá a un mapa de la zona centrado en la estación (figura 6).

También se pueden visualizar los datos y variables de las estaciones que no están en fallo, mediante el buscador de estaciones, que se presenta pulsando el botón ‘Estaciones’ de la ventana principal (“Estaciones con Problemas”), y se pueden buscar las estaciones por su nombre y/o su código, de manera total o parcial (figura 7).

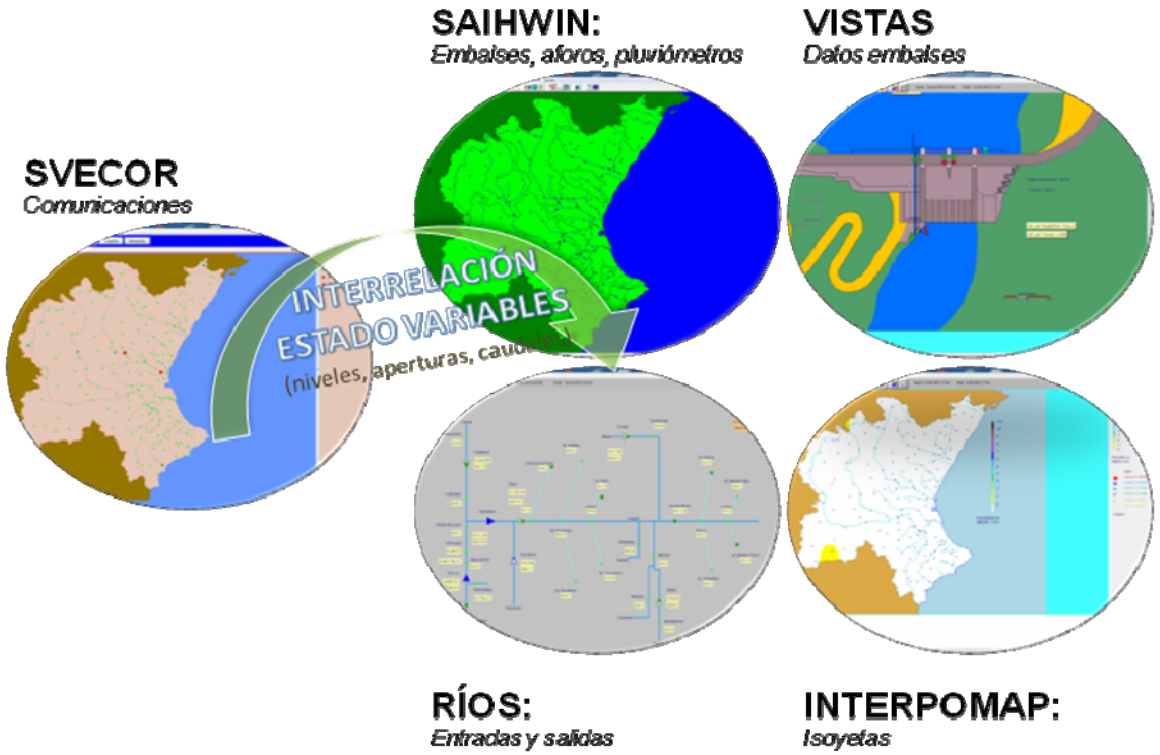
Figura 7: Ventana con las características de búsqueda en mapa



De la herramienta Svecor_Android, para la gestión del sistema de comunicaciones del SAIH, dependen otras aplicaciones por las cuales se realizan las gestiones hidrológicas y de alerta temprana, permite que los datos se reciban cada cinco minutos.

De forma esquemática se puede describir la relación entre todas estas aplicaciones en la que Svecor es la puerta de entrada (figura 8):

Figura 8: Interrelaciones entre las aplicaciones



Otras opciones del programa se refieren al cálculo de rutas, filtros por subcuenca, opciones de configuración, refresco de datos, tipo de mapas, etc. Todas ellas encaminadas a dar información sobre el estado de las estaciones, concentradores, variables hidrológicas y no hidrológicas.

4. Resultados y conclusiones

El Sistema Automático de Información Hidrológica de la Confederación Hidrológica presta un servicio que se encuentra dentro del proceso de ayuda a la toma de decisiones en lo referente a la seguridad de presas y canales, comunicación a otros usuarios de primer nivel (Delegaciones del Gobierno, AEMET, Protección Civil, Comunidades de Regantes, y sociedad en general a través de la página web www.chj.es) y conocimiento de la cuenca en lo referente a la planificación y explotación.

El SAH está sujeto permanentemente a los cambios tecnológicos en lo referente a la administración del sistema informático, mantenimiento y puesta a punto de las comunicaciones, así como de las aplicaciones para el tratamiento en tiempo real, con o sin procesamiento, de las variables hidráulicas obtenidas.

Con esta nueva aplicación Svecor_Android se posibilita el conocimiento en tiempo real del estado de las comunicaciones del sistema en cualquier localización geográfica, ya sea en campo o en oficina, siempre que se disponga de cobertura por internet, y con una implantación sencilla sobre equipos móviles.

Con ella se consigue el conocimiento inmediato de un conjunto de parámetros tan elementales e importantes del sistema como son aquéllos que afectan a las

comunicaciones, siendo éstas complementarias de otras de carácter meteorológico e hidráulico que también se captan con este sistema, y cuya suma, ayudan a valorar las situaciones que se dan a diario, aumentando la eficiencia de los trabajos necesarios para actuar rápidamente e informar de las situaciones derivadas de las sequías así como en caso de inundaciones, y finalmente servir de apoyo en el proceso de análisis de la toma de decisiones, sean hidrológicas o de cualquier otra índole.

5. Referencias

Confederación Hidrográfica del Júcar (2011). *Memoria del 75 aniversario de la Confederación Hidrográfica del Júcar*. Valencia.

Niclós J., Rodríguez M. (2014). *Aplicación de la herramienta Geocampo al Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH JÚCAR)*. XVIII Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos. Alcañiz (Zaragoza).

Utrillas J. L., Gabaldó O. (1996). *Explotación y mantenimiento del SAIH en la Confederación Hidrográfica del Júcar,* Revista de Obras Públicas.

04-005

ADDRESSING STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF MEXICO'S TRANSITION TOWARDS RENEWABLE ENERGY.

Diez Rodríguez, José J. [1]; Cremades Oliver, Lázaro V. [1]; Ahumada Cervantes, Brenda [2]
[1] Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech, [2] Gestión Costera, S.C.

The transition to environmentally sustainable societies entails a significant shift in the field of planning process strategy. Strategic Environmental Assessment (SEA) applied to Policies, Plans and Programmes, i.e., planning tools that precede the Project in the decision-making process and surpass it in terms of spatial and subject scope and level of abstraction involved, is recognised internationally as an instrument which is strategic in nature, and is conceived as a flexible framework of key elements, acting strategically in a decision process to enable a facilitating role, ensuring an added-value to decision-making. From this perspective, and taking into consideration the current state of environmental assessment in Mexico as a basis of knowledge and understanding, this work attempts to develop a novel methodological approach for the appraisal of infrastructure project planning on renewable energy, addressing SEA and looking upon the current transition process as a matter of interest, as well as the strategies and public policies proposed by governmental bodies; all towards creating mechanisms that allow the effective execution of policies in the field of green energies, acknowledging energy development as a valuable opportunity for improving transparency in strategic decision-making as well as the quality and level of public participation.

Keywords: *Strategic Environmental Assessment; decision-making process; renewable energy; Mexico*

ABORDANDO LA EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA DE LA TRANSICIÓN DE MÉXICO HACIA LAS ENERGÍAS RENOVABLES.

La transición hacia sociedades ambientalmente sustentables implica un cambio estratégico importante en el campo de los procesos de planificación. La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) aplicada a Políticas, Planes y Programas, es decir a los instrumentos de planificación que preceden al Proyecto en los procesos de toma de decisiones y le superan en nivel de abstracción y en amplitud de los ámbitos espacial y temático comprendidos, es reconocida internacionalmente como un instrumento de carácter estratégico que garantiza un valor añadido para la toma de decisiones. Desde esta perspectiva, y tomando en consideración el estado actual de la evaluación ambiental en México, este trabajo busca desarrollar un enfoque metodológico novedoso para la planificación de proyectos de infraestructura en materia de energías renovables, abordando la EAE y considerando el actual proceso de transición energética como cuestión de interés, así como las estrategias y políticas públicas propuestas por los organismos gubernamentales; todo ello para la creación de mecanismos que permitan la ejecución efectiva de las políticas en el campo de las energías limpias, reconociendo el desarrollo energético como una oportunidad valiosa para la mejora de la transparencia en la toma de decisiones estratégicas así como del nivel y la calidad de la participación ciudadana.

Palabras clave: *Evaluación Ambiental Estratégica; proceso de toma de decisiones; energías renovables; México*

Correspondencia: José J. Diez Rodríguez jose.jose.diez@estudiant.upc.edu

Agradecimientos: We specially thank the National Council of Science and Technology of Mexico (CONACYT) for its valuable support.

1. Introduction

Even though Strategic Environmental Assessment (SEA) has been neither formalised nor fully integrated into Mexican legislation, Mexico has been conducting Environmental Impact Assessment (EIA) practice for over twenty years. It could be argued that Mexico has been using practices and approaches which resemble the idea behind Strategic Environmental Assessment, but which are neither close enough nor sufficiently consolidated to convert SEA into a change enabler, and a valid mechanism for generating development under a doctrine of sustainability. Significant efforts have been made, including the development and introduction of government initiatives, proposals for amendments to relevant laws, and the initiation of pilot projects by governmental bodies.

Given the above, it is puzzling that there have been such delays and shortcomings in follow-ups after changes in administration, and that SEA has ultimately failed to materialise. The Federal Public Administration claims that progress has been made, but the societal and environmental benefits envisioned have not yet been realised. These benefits shall remain unrealised as long as there is no shift in focus, no promotion of structural reforms, and while the SEA formalisation process remains stagnant and constantly side-lined. Additionally, without discussion of SEA principles; a willingness to engage in constant dialogue and ongoing debate; and a consensus on the conceptualisation of SEA, its implementation mechanisms and explicit inclusion, neither a transformation in the approach to SEA project management nor the development of a true state vision towards sustainable development, and with it the sought after change of direction in the country, will be realised.

It should be pointed out, however, that there are strong foundations from which to move towards a new approach to Environmental Assessment in Mexico. The country has considerable experience in the field, consolidated institutional structures, a defined environmental legal framework to host it, as well as the acknowledgement in the country that environmental considerations must be taken into account at the same level as economic and social issues, and be part of all public policies formulated and established in Mexico (Ahumada, 2011).

2. Objectives

Through this work seeks to contribute to the development of an adaptable, repeatable, logical, systematic approach, for the appraisal of infrastructure project planning on renewable energy in Mexico, adopting Strategical Environmental Assessment (SEA) philosophy as a tool for boosting sustainability. In addition, is intended to carry out a systematic decision support process, aimed at ensuring that environmental and sustainability aspects are considered in Plan, Policy, and Programme (PPP) development for the Mexican renewable energy sector, as well as providing a basis for a structured decision framework, aimed at supporting more effective and efficient decision-making, and improving governance in terms of energy transition and the sustainable exploitation of energy.

3. Case study

3.1 Setting the scene: Environmental Assessment in Mexico

An increasing number of countries and institutions require SEA, as it has become a useful and timely tool to reduce social and environmental impacts of PPP´s (Ahumada, Espejel, & Arámburo, 2011). Among the first countries to implement SEA were the United States in 1970, Canada in 1990, and New Zealand in 1991.

The European Community was revolutionised with the adoption of the Directive 2001/42/EC on the assessment of the environmental effects of certain plans and programmes, and with the Protocol on Strategic Environmental Assessment, formalised in 2003. The application of SEA has also been increasing in developing countries and the member countries of the Central American Commission on Environment and Development (CCAD, 2007). The World Bank has been using SEA for over twenty years, and the Canadian International Development Agency, the Asian Development Bank and the Inter-American Development Bank have been working in this field about ten years. These agencies, as well as The Paris Declaration on Aid Effectiveness -issued within the framework of the Organisation for Economic Cooperation and Development and signed by Mexico and more than one hundred other countries in 2005- have added further impetus to SEA design and implementation. Under the Declaration, donors and partner countries commit to strengthening the implementation of the EIA and to "develop and apply common approaches for SEA at national and sectoral level" (OCDE, 2005). These efforts to reduce global poverty focus on the Millennium Development Goals adopted in 2000, where Mexico together with 189 countries signed the Millennium Declaration (UNDP, 2000). The SEA provides a practical mechanism to move towards achieving MDG 7 on *ensuring environmental sustainability*, which seeks to integrate the principles of sustainable development into national policies and programmes.

However, despite having acceded to various international agreements, SEA has neither been formalised nor fully integrated into Mexican legislation, and it can be argued that at present Strategic Environmental Assessment *per se* does not exist in Mexico. In Mexico, the Secretary responsible for the environment sector (SEMARNAP from 1994-1999; SEMARNAT from 2000 to the present) has recognized the limitations of EIA for more than ten years, and has considered SEA a complementary instrument to the EIA, as well as a preventive mechanism of growing importance to stimulate sustainable development. It is noteworthy that under a federal administration initiative during the 1994-2000 administration, the current Secretary (SEMARNAP, 2000) stressed the importance of taking firm steps for the development and adoption of this philosophy; acknowledged its scope and the potential areas of application; and stressed the urgent need for Mexico to create an SEA instrument of its own, taking into account international experience in the field and configuring this instrument according to Mexico’s own circumstances.

Furthermore, this same authority anticipated that it might be difficult to design a unique model of SEA, because of, among other things, the complexity of the dynamic processes of decision making. However, while recognizing this complexity in the design of one or more models, it was deemed essential that progress be made in this area through an approach that overcomes limitations of the current method of analysis and project-based EIA. At the end of the six-year term from 2000-2006, SEA did qualify as a valuable tool, albeit a highly complicated one to use (SEMARNAT, 2006). It argued that in order to apply SEA it might be necessary to modify the General Law of Ecological Equilibrium and Environmental Protection (LGEEPA) and its regulations. It was also stated that a development of methodologies and progress towards their implementation through various pilot projects was expected (neither of which materialised, however). It also acknowledged that sufficient progress was not achieved, and it was suggested that this work be continued into the next administration, hoping for better conditions for its development. In this regard, the Environment and Natural Resources Sectoral Programme (SEMARNAT, 2007) established that SEA should be adopted, and in its objective 7.2.3 pledged to develop the methodology for its implementation, as well as running further workshops on this matter.

As part of the activities related to this challenge, the SEMARNAT, through the Environmental Impact and Risk Directorate (DGIRA), conducted in 2007 the first national course on SEA, in order to establish the conceptual and methodological bases of SEA.

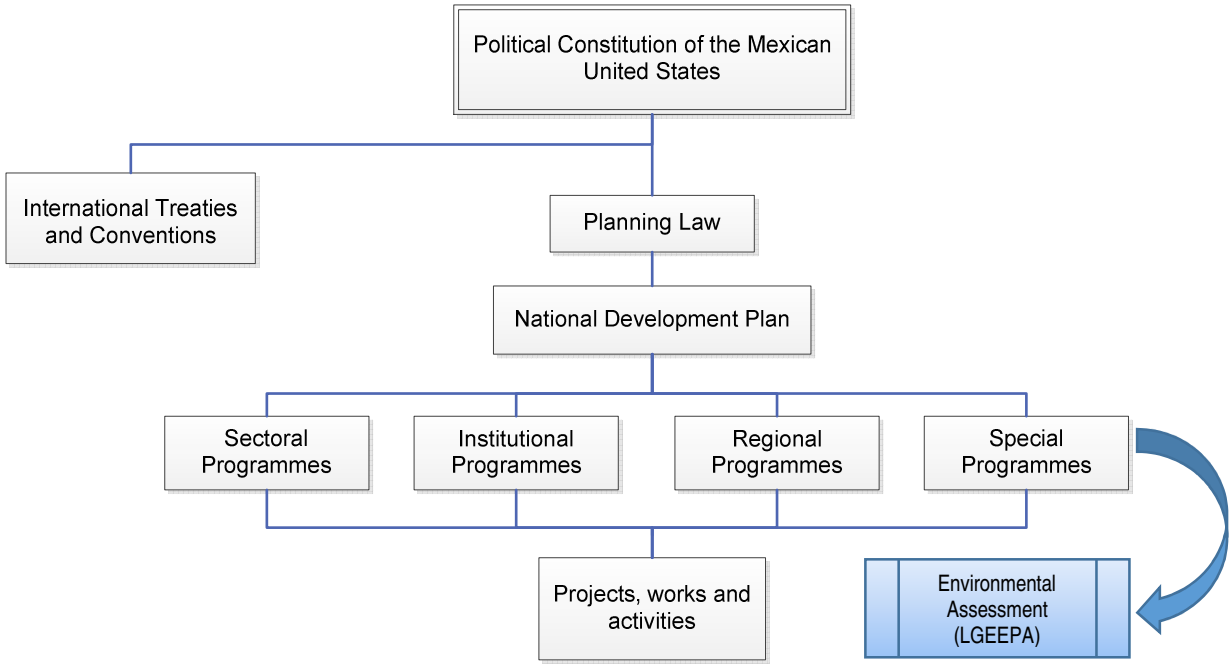
In 2008, as a result of the second SEA training event, a methodological proposal with the goal of implementation in a regional programme for the federal electricity sector was formulated. In 2009, in conjunction with the Federal Electricity Commission (CFE), and derived from a pilot programme, this proposal - applicable to the selection of alternatives and configuration of electrical networks (CFE, 2009) - was completed and implemented. In addition, and in order to reinforce previous attempts, the DGIRA itself developed a political-technical document to define and present Strategic Environmental Assessment as a new tool for environmental management in Mexico[1] (DGIRA, 2010). Subsequently, in this context Ahumada (2011) addressed the current state of the relationship between environmental assessment and development planning in Mexico, and proposed a methodological framework for conducting SEA of the National Infrastructure Programme 2007-2012 (SCT, 2007). This research work chose the National Infrastructure Plan as a case study due to its association with a portfolio of more than three hundred projects; and, given its political and strategic nature, its suitability for setting in context the scope and benefits of the implementation of SEA. It is worth mentioning that the development of the SEA process was hypothetical.

Ahumada et al., (2011) also suggest that formal and timely incorporation of environmental variables into development planning in Mexico requires an initial review and analysis of the process, which is supported by the Constitution of the United Mexican States (SEGOB, 2014) and the Planning Law (SEGOB, 2012). For the purposes of this law, democratic national planning can be defined as: the rational and systematic management of actions that lead to the transformation of the country's reality through the implementation and evaluation of the National Development Plan. This One Plan has to specify among other things: national objectives; strategy of and priorities for the comprehensive and sustainable development of the country; policy guidelines from which sectoral, institutional, regional and special programmes can be drawn up to meet such priorities; and the requirement to remaining in accordance with the provisions of the law.

In turn, these programs are made up of a series of projects with potential impact on the natural environment, which are subject to a procedure of Environmental Impact Assessment considered in the General Law of Ecological Balance and Environmental Protection (LGEEPA). Figure 1 outlines the hierarchical relationship of development planning in Mexico and the current scope of application of the environmental assessment. However, after almost thirty years of its implementation in the country, the practice of EIA as a tool for environmental assessment has failed to halt environmental degradation trends. For this reason Ahumada states that SEA should be incorporated as preventive instrument in environmental policy, reinforcing arguments for a reform of the LGEEPA (SEGOB, 2013), given the importance of defining the relevant competences on this matter, determining which strategic decisions to focus on, establishing a reference procedure for application, and drawing up methodological frameworks or guidelines that permit its development.

[1] It is noted that during the review of the study, a number of important inconsistencies and limitations were found in terms of content and structure. The beginning of the document suggested a promising work, but some approaches are diffuse, and final recommendations neither promote the breaking down of existing bureaucratic barriers, nor drive important changes in the laws and related regulations.

Figure 1: Hierarchical display of development planning in Mexico and the current scope of application of the environmental assessment



Source: adapted from Ahumada (2011)

3.2 SEA for renewable energy development in Mexico

Mexico stands out globally for ambitiousness of its alternative energy generation objectives. Its Law for the Use of Renewable Energy and for the Financing of Energy transition (LAERFTE) requires that by 2024, 35% of energy generation must come from alternative energy source (SENER, 2008). This calls for increased and accelerated use of renewable energy sources, leading to both greater energy security and environment sustainability. This also requires a diversification in energy sources and reduced consumption of fossil fuels, resulting in a reduced greenhouse gas emissions. Mexico is blessed with a high renewable energy technical potential which, properly used, makes achievement of this objective entirely possible. For example, over most of its territory, Mexico has the world's highest levels of solar irradiance: double that of Germany, the country with the highest installed photovoltaic power. Most of Mexico's geothermal power comes from an area known as "Cinturón de Fuego", making Mexico the world's fourth largest producer of geothermic energy, and this while using a mere 10% of its resources. Mexico's rivers provide huge potential for hydroelectric power, and solid waste and agroforestry potential remains largely untapped. In addition, Mexico has many regions with steady prevailing winds which are appropriate for high capacity factor wind farms.

As can be seen, technological and social evolution towards an economy based on alternatives to fossil fuels has become an issue of great importance in Mexico, since it is increasingly clear that the energy consumption model of last decades is completely unsustainable due to the exhaustion of non-renewable fossil energy resources and the effect of this consumption on climate change. We are undoubtedly witnessing an energy generation revolution with regards to both non-renewable and renewable sources (Koeppel & Fischer, 2013). Concerning this theme, Mexico, like several other newly industrialised nations, is steadily expanding its renewable energy capacity and building new facilities to meet its renewable energy goals.

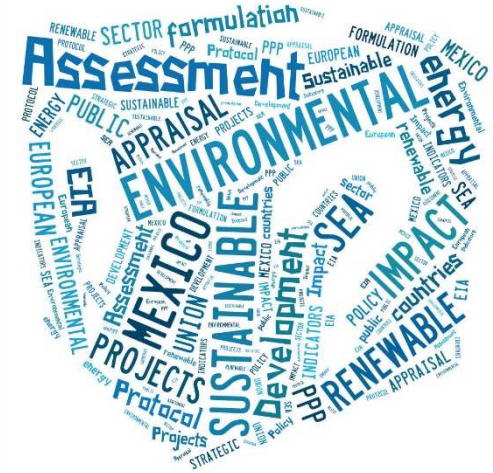
Decentralised energy generation such as wind farms or solar plants, although beneficial for climate protection, can however result in unavoidable impacts on other natural resources (Bagliani, Dansero, & Puttilli, 2010; Chiabrando, Fabrizio, & Garnero, 2009; Johnson, Perlik, Erickson, & Strickland, 2004; Tsoutsos, Frantzeskaki, & Gekas, 2005). As a means of consideration of environmental effects of renewable energy expansion, Mexico employs impact assessments. With the increase of existing and planned renewable energy generation facilities in the country, the call for strategic-level impact assessments becomes louder; in particular as cumulative effects of many individual projects need to be considered to ensure a sustainable development of renewables (Jay, 2010; Stemmer, 2011). Strategic Environmental Assessment enables such cumulative impact assessment (Athanas & McCormick, 2013; Canter, 1999; Dalal-Clayton & Sadler, 2005) and furthermore allows for a broader discussion of alternative actions (Athanas & McCormick, 2013) and earlier public involvement in decision making (Eales & Sheate, 2011) than current impact assessment on the project level.

Accordingly, it is recognised that climate change and security of energy supply are primary sustainability issues in current Mexican policy development, and an energy systems shift towards renewable energy sources is therefore urgent. However, unless environmental impacts of such a shift are carefully taken into account, imposed resource and land use changes may counteract other sustainability goals, such as preserving biodiversity and ecosystem services. Since both climate change and biodiversity are increasingly seen as being of highest priority, there is a need for an integrated approach for addressing these issues that can take both energy and environmental impacts into account (Pang, Mörtberg, & Brown, 2014). Strategic Environmental Assessment represents the window of opportunity for that straightforward approach, providing a comprehensive framework for PPP integration, and playing a key role in helping to achieve more environmentally sustainable practices and processes related to the aforementioned transformation.

4. Methodology

The following methodological proposal is intended to organise, assemble and put into context the main concepts and components that make up this research work. The tag cloud below (Figure 2), which depicts some keyword metadata obtained from different scientific sources, attempts to represent that significant challenge.

Figure 2: SEA as an evolving question



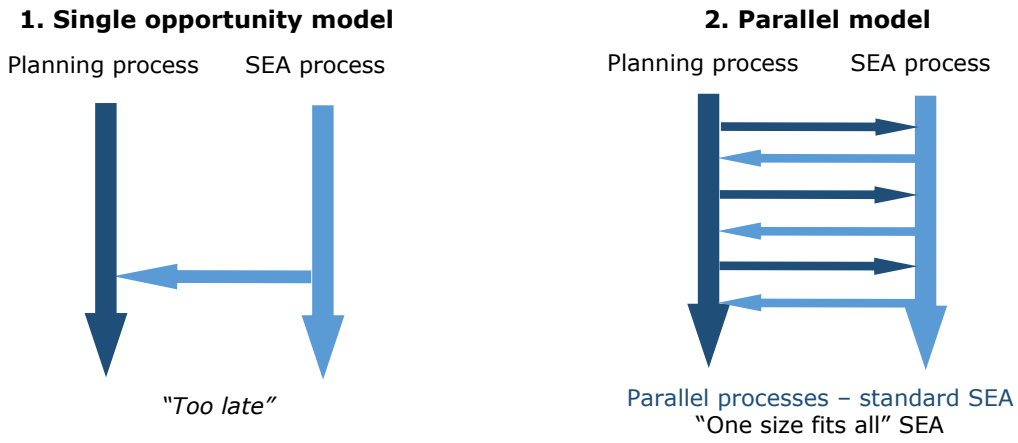
In order to have a deeper understanding of the research scheme proposed, the principal process elements are described below.

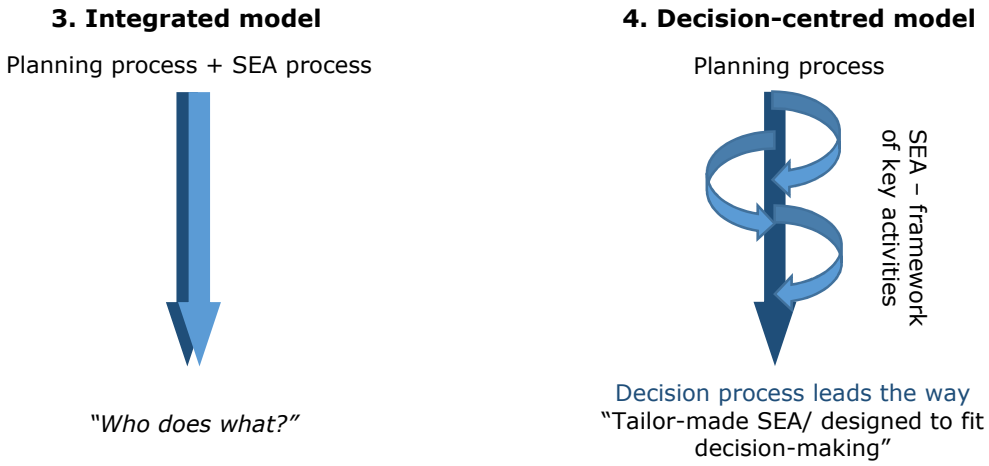
Firstly, being aware that the practice of SEA requires an earlier analysis of the general legal framework within the context of the study, a framework concerning the relevant law is settled up. Here are some of the main instruments that are taken into account for the identification of such framework. It should be clarified that the legal instruments listed below may include, but are not limited to:

- Political Constitution of the Mexican United States.
- Kyoto Protocol.
- Agenda 21.
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC).
- United Nations Conference on Sustainable Development (UNCSD Rio+20).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2014 IPCC report).
- Planning Law.
- National Development Plan.
- General Law of Ecological Balance and Environmental Protection (LGEEPA).
- National Infrastructure Programme.
- National Programme of Protected Areas.
- National Strategy on Climate Change.
- Environment and Natural Resources Sectoral Programme.
- Energy Sectoral Programme.
- National Strategy for Energy Transition and Sustainable use of Energy.
- National Energy Strategy.

Secondly, a SEA approach is applied. Different models on how SEA and the policy-making/planning processes may link were identified some years ago (Partidário, 2004). Figure 3 serves as an illustration of possible linkages. The first two models (1 and 2) relate more closely to the EIA-based SEA approaches, the parallel model (2) being the most frequently used. Models 3 and 4 relate to more integrated and strategic approaches in SEA. While the integrated model (3) may eventually represent the best SEA model in the long-term, the decision-centred model (4) seems to be the most flexible and adaptable. Decision-centred SEA is viewed as a facilitator of decision-making rather than a technical assessment that satisfies an assessment process. It is also a conceptual framework that helps identify development opportunities that are environmentally sustainable. In this model, SEA can be tailor-made to, and aligned with, the processes of decision-making. According to Partidário, for decision makers, SEA works like an *aide-memoire* which must be considered when making decisions. The decision-centred model (model 4 in Figure 3) is adopted in this research project.

Figure 3: Models of SEA





Source: Partidário (2007)

Finally in this regard, a methodological framework is structured in three interrelated stages in a cyclical process. This is not a recipe that applies to all cases, but a number of key driving elements for conducting SEA; hence that should be considered as an interactive, flexible and adaptive process (Ahumada et al., 2011). This methodological structure is outlined in Figure 4, indicating the main strategic steps and key process activities per phase, considered suitable to carry out a SEA for the transition towards renewable energy in Mexico. It should be highlighted that the methodological framework suggested attempts to follow the policy planning strategic-based school (discarding the EIA-based school), and is based on the strategic thinking model supported by Partidario (Partidário, 2007), adopting the United Nations guidelines on mainstreaming sustainability into policymaking (UNEP, 2009), as well as considering the Impact Assessment Guidelines of the European Commission (Commision, 2009).

Among the aspects of this work to be highlighted, it is worth mentioning the introduction of a consensus process as one of the most distinctive features, which in turn is intended to permeate key phases of the assessment procedure. It is well known that consensus-based decision making can result in informed decisions that are better, more fully supported, and more easily implemented. In particular, it is actually proposed the adoption of an interdisciplinary approach which integrates knowledge and tools from Collective Intelligence, Complexity Theory, and Geoprospective, via the implementation of a technological Group Decision Support System-Spatial Decision Support System (GDSS-SDSS) type application so-called SIGIC (Castillo Rosas, Jiménez Vélez, Diez Rodríguez, Monguet Fierro, & Núñez Andrés, 2015), capable of generating spatio-temporal scenarios for infrastructure project planning on renewable energy, through future trends obtained from an interdisciplinary *geo-consensus* of a multidisciplinary group of experts, and without strict dependency on a spatial analysis based on a single cognitive stance as well as the availability of geospatial data (Castillo Rosas, Núñez Andrés, Monguet Fierro, & Jiménez Vélez, 2015).

The steps of this process are essentially composed as follows:

- *Identification of sustainability considerations for an efficient transition to renewable energy, their relationships, and acknowledgement of the complexity involved.*
- *Generation of prospective scenarios of spatio-temporal locations of renewable energy infrastructure, using the SIGIC application.*
    a. Expert panel selection.
    b. Building and mapping out scenarios through the platform.
    c. Evaluation of renewable energy planning alternatives.
    d. Analysis of results and drawing conclusions.

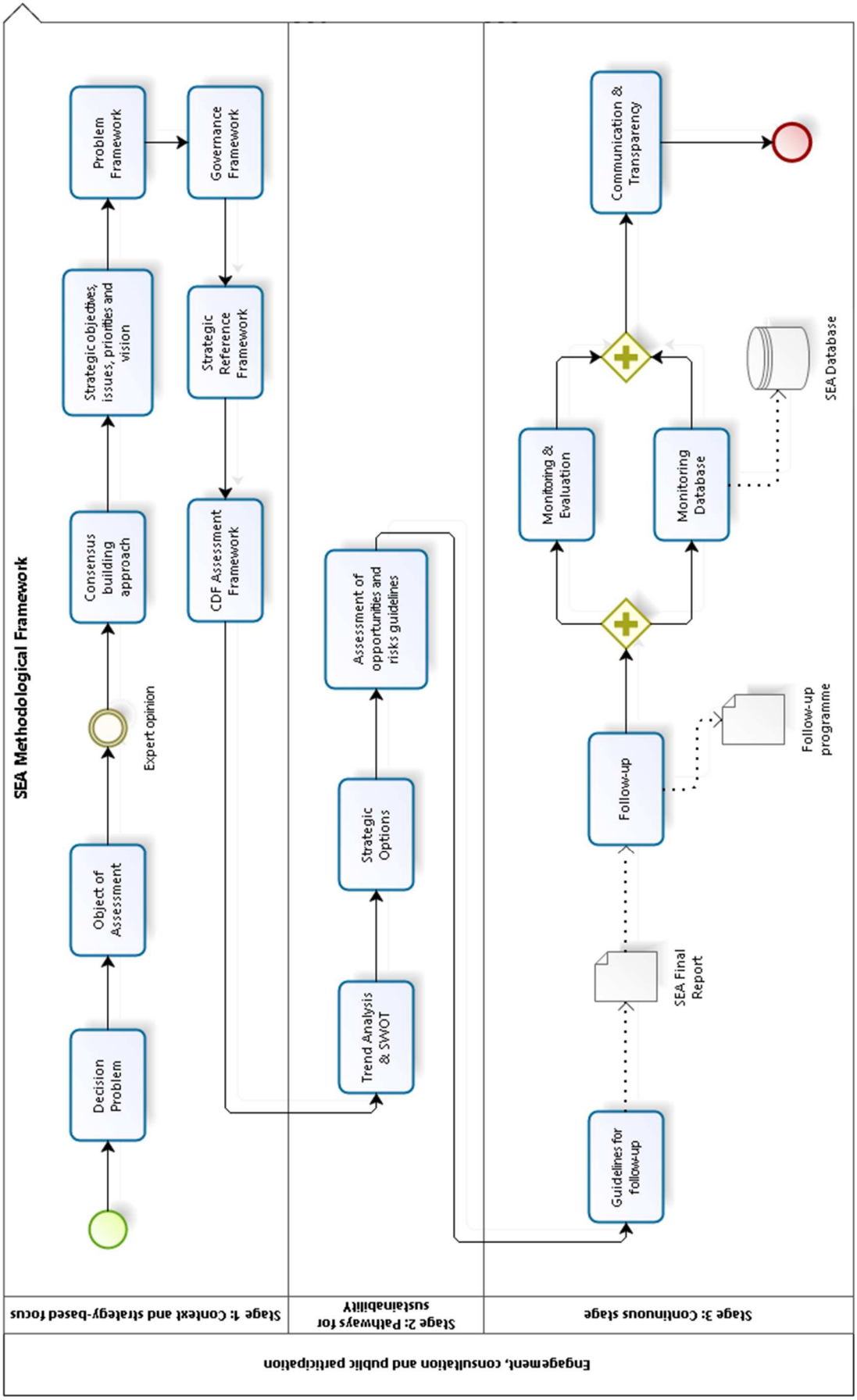


Figure 4: SEA diagram

5. Discussion

The implementation of an integrated SEA approach in the national energy transition process will enable the development of a comprehensive framework for assessing future energy scenarios, integrating main policy concerns when appraising renewable energy options, thus leading to increased sustainability, and enabling:

- A more systematic and effective consideration of wider environmental impacts and alternatives at higher tiers of decision-making, leading to more effective and less time-consuming decision-making and implementation.
- Proactive decision tools that support the formulation of strategic action for sustainable development.
- Better integration with EIA and thus the realisation of the full potential of Environmental Assessment (EA).

This research work is an ambitious attempt to raise the level of consideration given to sustainable development issues on strategic documents such as plans, programmes and strategies, identifying significant impacts on environmental and sustainability that are likely to result from the implementation of the plan, or alternative approaches to the plan, in the context of Mexican renewable energy. Furthermore, it is expected to provide support for the development of more transparent strategic decisions. It will strive to provide relevant and reliable information for those involved in timely and effective PPP (Policies, Plans and Programmes) making.

The proposed approach openly envisage a shift in focus under a philosophy of strategic thinking, and a coherent, consistent, transparent and sustainable management of environmental impacts sustained over time through the SEA. Accordingly, it can be stated that there are interesting proposals to face the dilemma and the questions posed by sustainable development. One of the most important perhaps (Strategic Environmental Assessment) implicitly includes a number of important measures that can be taken to address the problem once and for all at its root, which goes beyond the traditional concept of Environmental Impact Assessment of projects (approach of independent evaluation, and hence, usually limited and isolated under certain circumstances). Besides, SEA also gives particular attention to indirect environmental impacts and the cumulative effects of multiple successive projects within the context of study. Likewise, it does provide a further analysis, making the approval of the plans and programmes conditional upon concepts of public consultation, environmental sustainability, analysis of alternatives, and mainstreaming of sustainability into decision-making.

Nevertheless, it is essential to remember that the Strategic Environmental Assessment itself, represents a special way that precedes and does not replace the practice of Environmental Impact Assessment (Orea, 2007) that in each case shall be undertaken for each of the projects and actions considered within the plans and/or programmes. Finally, it can be argued that the conduction of a comprehensive Strategic Environmental Assessment will lay the foundations for a review not only of the environmental model, but also the economic, social and geopolitical model of the nation, and those regions where it is carried out. This in turn will enable to achieve other solutions more prospective in nature, e.g., boosting and consolidating certain productive sectors as key drivers of regional and national economy; and in parallel promoting greater independence from the traditional exploitation of sources of energy and natural resources; likewise, leading to the gradual transition *-yet accelerated and sustained-* towards renewable energy, and the ultimate goal of sustainable development.

6. Bibliography

Ahumada, B. (2011). *Fortalecimiento de los instrumentos de la política ambiental en México: la evaluación ambiental estratégica.* Universidad Autónoma de Baja California.

Ahumada, B., Espejel, M., & Arámburo, G. (2011). Beneficios potenciales de la evaluación ambiental estratégica en la planeación del desarrollo en México, caso de estudio el Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012. *Investigación Ambiental Ciencia Y Política Pública*, *3*(2). Retrieved from http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/653.pdf#page=6

Athanas, A. K., & McCormick, N. (2013). Clean energy that safeguards ecosystems and livelihoods: Integrated assessments to unleash full sustainable potential for renewable energy. *Renewable Energy*, *49*, 25–28. doi:10.1016/j.renene.2012.01.073

Bagliani, M., Dansero, E., & Puttilli, M. (2010). Territory and energy sustainability: the challenge of renewable energy sources. *Journal of Environmental Planning and Management*, *53*(4), 457–472. doi:10.1080/09640561003694336

Canter. (1999). Cumulative effects assessment. In *Handbook of Environmental Impact Assessment*. Oxford: Blackwell Science.

Castillo Rosas, J. D., Jiménez Vélez, A. F., Diez Rodríguez, J. J., Monguet Fierro, J. M., & Núñez Andrés, M. A. (2015). Geospatial System of Collective Intelligence: a technological application for the interdisciplinary study of the geographical space complexity. In *2015 Collective Intelligence Conference*. Santa Clara: Center for the Study of Complex Systems. University of Michigan.

Castillo Rosas, J. D., Núñez Andrés, M. A., Monguet Fierro, J. M., & Jiménez Vélez, A. (2015). Towards a Collective Spatial Analysis: proposal of a new paradigm for supporting the spatial decision-making from a Geoprospective approach. In *1st International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management, GISTAM.* Barcelona: Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication (INSTICC).

CCAD. (2007). Lineamientos para la aplicación de la Evaluación Ambiental Estratégica en Centroamérica. San José: UICN.

CFE. (2009). Proyecto Piloto: Evaluación Ambiental Estratégica del Programa de Obras del Sector Eléctrico en la Región Noreste para la Selección de Sitios y Trayectorias. México D.F.

Chiabrando, R., Fabrizio, E., & Garnero, G. (2009). The territorial and landscape impacts of photovoltaic systems: Definition of impacts and assessment of the glare risk. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*(9), 2441–2451. doi:10.1016/j.rser.2009.06.008

Commision, E. (2009). Impact Assessment Guidelines. Brussels. Retrieved from http://ec.europa.eu/

Dalal-Clayton, D. B., & Sadler, B. (2005). *Strategic Environmental Assessment: A Sourcebook and Reference Guide to International Experience (Google eBook)*. Earthscan. Retrieved from http://books.google.com/books?id=tFqoHJrUnb4C&pgis=1

DGIRA. (2010). Documento Político Técnico que defina a la Evaluación Ambiental Estratégica como una nueva herramienta de Gestión Ambiental en México.

Eales, R. P., & Sheate, W. R. (2011). Effectiveness of Policy Level Environmental and Sustainability Assessment: challenges and lessons from recent practice. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, *13*(01), 39–65. doi:10.1142/S146433321100378X

Jay, S. (2010). Strategic environmental assessment for energy production. *Energy Policy*, *38*(7), 3489–3497. doi:10.1016/j.enpol.2010.02.022

Johnson, G. D., Perlik, M. K., Erickson, W. P., & Strickland, M. D. (2004). Bat activity, composition, and collision mortality at a large wind plant in Minnesota. *Wildlife Society Bulletin*, *32*(4), 1278–1288. doi:10.2193/0091-7648(2004)032[1278:BACACM]2.0.CO;2

Koeppel, J., & Fischer, T. (2013). Editorial: Special Issue on Environmental Assessment in the context of Renewable Energy Deployment. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, *15*(2), 5. Retrieved from http://www.worldscientific.com/toc/jeapm/15/02

OCDE. (2005). Declaración de París sobre la eficacia de la ayuda al desarrollo. Paris. Retrieved from http://www.oecd.org/

Orea, G. (2007). *Evaluación Ambiental Estratégica. Un instrumento para integrar el medio ambiente en la elaboración de planes y programas*. (Mundi-Prensa, Ed.). Madrid.

Pang, X., Mörtberg, U., & Brown, N. (2014). Energy models from a strategic environmental assessment perspective in an EU context—What is missing concerning renewables? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *33*, 353–362. doi:10.1016/j.rser.2014.02.005

Partidário, M. R. (2004). Designing SEA to fit decision-making. 24th Annual Conference of the International Association for Impact Assessment. In *Abstracts Volume. Who's business is it? Impact Assessement for Industrial Development.* Vancouver. Retrieved from http://www.iaia.org/conferences/iaia04/

Partidário, M. R. (2007). Scales and associated data - What is enough for SEA needs? *Environmental Impact Assessment Review*. Retrieved from www.sciencedirect.com

SCT. (2007). Programa Nacional de Infraestructura 2007-2012. México D.F.: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from http://www.dof.gob.mx

SEGOB. (2012). Ley de Planeación. México D.F.: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from http://www.dof.gob.mx

SEGOB. (2013). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. México D.F.: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from http://www.dof.gob.mx

SEGOB. (2014). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. México D.F.: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from http://www.dof.gob.mx

SEMARNAP. (2000). La Evaluación de Impacto Ambiental: logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000. México D.F.: INE.

SEMARNAT. (2006). Hacia el desarrollo sustentable: avances, retos y oportunidades. México D.F.: SGPA.

SEMARNAT. (2007). Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012. México D.F.: Diario Oficial de la Federación.

SENER. (2008). Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. México D.F., Mexico: Diario Oficial de la Federación. Retrieved from http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAERFTE.pdf

Stemmer, O. (2011). Clearing the Air: A Comparison of Regulatory Frameworks for Siting Wind Farms. *George Washington Journal of Energy and Environmental Law*, *2*. Retrieved from http://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/gwjeel2&id=189&div=&collection=

Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, *33*(3), 289–296. doi:10.1016/S0301-4215(03)00241-6

UNDP. (2000). The Millenium Development Goals. New York. Retrieved from http://www.undp.org

UNEP. (2009). Integrated Assessment: Mainstreaming sustainability into policymaking. Geneva. Retrieved from http://www.unep.org/

04-006

STATISTICAL MODELS FOR AESTHETIC LANDSCAPE ATTRIBUTES CHARACTERIZATION

Zubelzu Mínguez, Sergio [1]; Hernández Colomina, Ana [2]
[1] Universidad Complutense de Madrid, [2] ANSER Ingenieros SL

In the present work a strategy to objectively characterize landscapes based on aesthetics attributes (lines, forms, texture, color, spatial composition and scale) through photographs has been deduced. A set of variables based on physical dimensions (length, angle, area or luminosity) measurable by computer aided design software (CAD) have been proposed. In parallel, population preferences for every analyzed aesthetic attribute have been collected through surveys. Thus, using collected preferences and the deduced set of variables to characterize the aesthetic attributes, respective models to characterized preferences for every attribute have been developed through linear and non-linear regression techniques. Results show that color (R2c=0.522), followed by lines (R2c=0.346) and forms (R2c=0.335), are the most important attributes in order to explain landscape preferences. Accordingly, the deduced expressions to characterize preferences for every attribute, allow incorporating in engineering projects landscape integration criteria according to preferences.

Keywords: *landscape; aesthetic attributes; landscape preferences; landscape assessment; statistical models; regression techniques*

MODELOS ESTADÍSTICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS PREFERENCIAS POR LOS ATRIBUTOS ESTÉTICOS CONSTITUYENTES DE LOS PAISAJES

En el presente trabajo se propone una estrategia para la caracterización objetiva de los paisajes basada en la medición de sus atributos estéticos (líneas, formas, colores, textura, composición espacial y escala) en fotografías. Se ha deducido una relación de variables basadas en dimensiones físicas (longitudes, superficies, ángulos, luminosidades) medibles mediante software de diseño asistido por ordenador (CAD). En paralelo se han realizado encuestas encaminadas a recopilar las preferencias de la población por cada uno de los atributos estudiados. A partir de la relación de variables propuesta, mediante técnicas de regresión lineal y no lineal, se han deducido expresiones que permiten explicar las preferencias de la población por cada uno de los atributos en las fotografías. Los resultados muestran que la variable con mayor relevancia en las preferencias es el color (alcanzando el modelo deducido una coeficiente de determinación de 0,522), seguido de formas (coeficiente de determinación de 0,346) y líneas (coeficiente de determinación de 0,335). Las expresiones deducidas y la relevancia del color proporcionan una herramienta relevante de cara a incorporar en los proyectos criterios de integración de actividades en el paisaje que tengan en consideración las preferencias de la población.

Palabras clave: *paisaje; atributos estéticos; preferencias paisajísticas; gestión paisajística; modelos estadísticos; técnicas de regresión*

Correspondencia: Sergio Zubelzu szubelzu@ucm.es

1. Introducción

La relación de necesidad entre percepción y paisaje es conocida y aceptada tanto por algunas de las normas más relevantes para la gestión del paisaje (Consejo de Europa, 2000) como por los primeros trabajos de carácter científico que se llevaron a cabo en relación al paisaje (Laurie, 1975; Tuan, 1979). Pero la vinculación entre percepción y paisaje complica en gran medida la gestión práctica del recurso debido a la incorporación de la subjetividad (Tveit, 2009) lo que ha hecho que muchos de los modelos para la valoración del paisaje traten de soslayar esta presencia y persigan caracterizar el recurso en base a sus cualidades intrínsecas de carácter físico, ambiental o territorial (Coeterier, 1996; Zubelzu y Allende, 2015).

A pesar de la complejidad inherente a la percepción, sí existen determinados modelos que afrontan su existencia, básicamente mediante dos tipos de soluciones: relacionando los atributos físicos con la percepción mediante técnicas estadísticas o incorporando atributos estéticos o psicológicos en la propia caracterización del paisaje.

Dentro de la primera clase de soluciones pueden incluirse los denominados modelos mixtos (Daniel, 2001), desarrollados mayoritariamente mediante técnicas de regresión (Arriaza et al, 2004, Cañas, Ayuga y Ayuga, 2009; Schirpke, Tasser y Tappeiner, 2013; Ramírez et al, 2011, Zubelzu y Hernández, 2015). Esta clase de modelos cuentan con el inconveniente de la escasa aplicabilidad más allá del tipo de paisaje específico a partir del cual se han desarrollado debido a las propias características de la técnica estadística de regresión.

Por su parte, los modelos que incorporan variables de carácter estético en el proceso de percepción podrían incluirse dentro de la denominada clase de métodos indirectos (Arriaza et al, 2004) y entre ellos se encuentran algunos de los métodos más aplicados en la práctica como por ejemplo los propuestos por las agencias estadounidenses (BLM, 1989a; BLM, 1989b; BLM, 1989c; Smardon et al., 1979) o aquellos mediante los que se han llevado a cabo la caracterización oficial de regiones (Otero et al, 2007) o de países completos (Mata Olmo y San Herraiz, 2003).

Entre todos los anteriores, quizás las propuestas más relevantes son las que proceden de las agencias estadounidenses tanto por su carácter obligatorio en los Estados Unidos como por la cantidad de trabajos que posteriormente se han desarrollado a partir de ellos (García et al. 2003; García et al, 2006; García-Moruno et al, 2010; Zubelzu y del Campo, 2014; Zubelzu y Hernández, 2014). Estos modelos exigen caracterizar un conjunto de atributos (líneas, formas, color, textura, composición espacial y escala) que constituyen la base de los procesos de percepción humana (Lewis, Borst y Kosslyn, 2011; Moutoussis y Zeki, 1997a; 1997b), hecho que garantiza la proximidad del proceso de gestión del paisaje con la percepción humana.

El hecho de desagregar en atributos tal y como proponen estos autores permite un conocimiento desagregado de las características constituyentes del paisaje lo que avala una gestión del recurso particularizada y específica para cada necesidad paisajística concreta. Además, la vinculación de cada atributo constituyente con la percepción permite una gestión del paisaje acorde con los procesos de percepción y por tanto con las preferencias de la población. Pero sin embargo, la concepción holística del paisaje (Antrop, 2001) desacreditaría el valor global deducido por esta clase de métodos puesto que implica que el paisaje resulta ser una entidad superior a la simple adición de sus elementos constituyentes.

No obstante, la crítica al resultado global de esta clase de métodos no debe impedir analizar de forma aislada cada uno de los atributos constituyentes. Es más, este ejercicio referido a los atributos formales en los que se basan las etapas iniciales objetivas de la percepción (líneas, formas, colores, textura, composición espacial y escala), permitiría modelizar las

preferencias por cada uno de los elementos que componen el paisaje identificando los elementos relevantes y permitiendo una gestión del recurso adaptada a las preferencias de la población.

De esta forma, el objetivo principal del presente trabajo ha sido caracterizar las preferencias de la población por cada uno de los atributos estéticos (líneas, formas, colores, textura, composición espacial y escala) en los que puede desagregarse el paisaje. De forma complementaria al objetivo anterior se han propuesto una serie de objetivos secundarios:

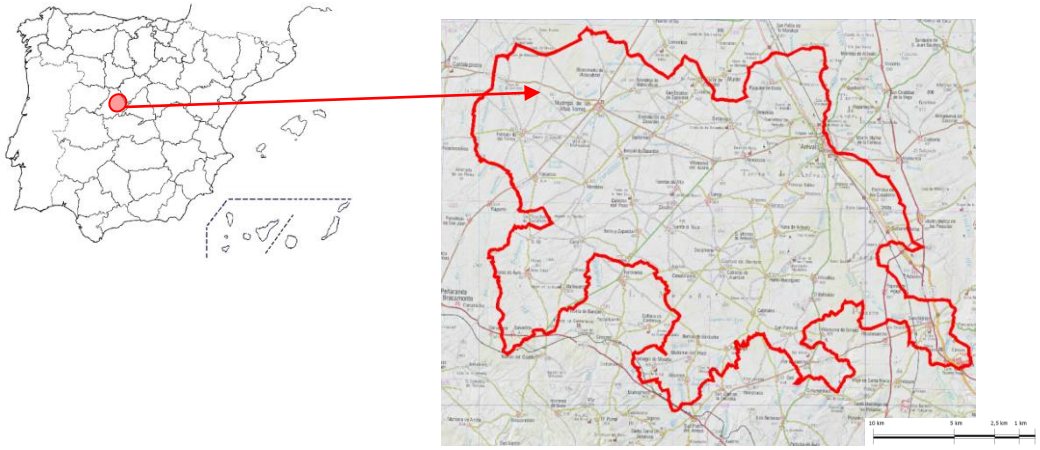
– Proponer una estrategia para la medición objetiva de los atributos formales considerados: líneas, formas, colores, textura, composición espacial y escala.

Analizar las relaciones existentes entre las preferencias por cada uno de los atributos.

2. Materiales y métodos

Para alcanzar los objetivos referidos se ha procedido a trabajar en varias líneas. En primer lugar se ha delimitado el tipo de paisaje sobre el que se realiza el estudio. En la medida en la que, de acuerdo con Berleant (2010), no tiene sentido buscar jerarquías universales de paisajes, se ha optado por circunscribir el estudio a un tipo de paisaje caracterizado por la presencia mayoritaria de cultivos de cereal en régimen extensivo, seleccionado la Comarca de La Moraña (Ávila), cuya localización puede observarse en la figura 1.

Figura 1. Localización de la comarca de La Moraña (Ávila, España)



Para caracterizar los atributos que definen el tipo de paisaje se realizó una campaña de campo identificando un total 1.518 fotografías representativas del mismo. En la medida en la que no es posible representar fielmente cada una de las posibles gamas que presentan los 6 atributos estudiados, así como las posibles combinaciones entre ellos, finalmente se optó por seleccionar un número de fotografías suficiente para representar los atributos y garantizar que las encuestas encaminadas a recopilar la opinión de los individuos proporcionasen resultados fiables. El número definitivo ascendió a 100 fotografías, algunas de las cuales pueden observarse en la figura 2.

Figura 2. Ejemplo de fotografías empleadas para caracterizar los atributos presentes en las fotografías

Sobre estas fotografías se realizó una encuesta a un conjunto de individuos solicitando que valorasen mediante una escala tipo Lykert (entre los valores 1 –me gusta poco– 5 –me gusta mucho–) cada uno de los atributos analizados (líneas, formas, colores, textura, composición espacial y escala). El tamaño final de la muestra ascendió a 125 individuos (suficiente para garantizar que se estimaban los valores medios con una amplitud del intervalo de confianza del 5% de la extensión de la escala de valoración, suponiendo una deviación típica máxima del 10%, también de la extensión de escala de valoración, y para un nivel de significación del 5%, lo cual requería una muestra mínima de 62 individuos). Las encuestas se realizaron en diferentes sesiones en las que las fotografías se expusieron en diferentes órdenes para evitar el efecto derivado del cansancio o de la influencia de la fotografía previamente valorada.

Para caracterizar los atributos hubieron de definirse en primer lugar cada uno de ellos como sigue:

- Las líneas se generan por el contraste entre dos colores adyacentes y son rectas (unen dos puntos sin cambios de dirección) o curvas (arcos de circunferencia).
- Las formas proceden de delimitar objetos aislables sobre un fondo, sin que alcancen a constituir un patrón en la escena.
- La textura se origina a partir de un conjunto de granos que se repiten hasta formar un patrón en la escena.
- La composición espacial la definen las líneas del horizonte (entendidas de igual forma que en el atributo líneas) y las superficies ocupadas en la fotografía por el cielo y por el resto de elementos presentes.
- Dentro de la escala se incluye cualquier elemento (entendido de igual manera que en el atributo formas) que generase contraste respecto de cualquiera de los atributos medidos en el resto de la escena.
- El color se define a partir de los modos de medida RGB (rojo, verde, azul) y Lab (L, a, b), para contrastar los resultados en dos modos de medición diferentes.

Las variables que permiten caracterizar de forma objetiva los atributos anteriores se basan en la propuesta de medición ya desarrollada en trabajos previos (Zubelzu y del Campo,

2014; Zubelzu y Hernández, 2014) que consiste en caracterizar cada uno de ellos mediante dimensiones físicas medibles en fotografías. La relación de variables empleadas para cada uno de los atributos queda expuesta en la tabla 1.

Tabla 1. Relación de variables empleadas para caracterizar los atributos formales empleados

<table>
<tr><td colspan="4">LÍNEAS</td></tr>
<tr><td colspan="4">Número total de líneas (CTL), Longitud media (LML), Desviación típica longitud media (DTLL),</td></tr>
<tr><td colspan="2">Líneas rectas: Número (LCR)
Longitud: media (LLR), desviación típica (LDTLLR)
Ángulo: media (LAR), desviación típica (LDTAR)</td><td colspan="2">Líneas curvas: Número (LCC)
Longitud: media (LLC), desviación típica (LDTLC)
Radio: media (LRC), desviación típica (LDTRC)</td></tr>
<tr><td colspan="4">FORMAS</td></tr>
<tr><td colspan="4">Número (CTF), media superficie (SMF), desviación típica superficie media (DTSMF), media longitud eje (LMEJEF), desviación típica longitud eje (DTLMEJEF), media ángulo eje (AMEJEF), desviación típica ángulo eje (DTAMEJEF)</td></tr>
<tr><td>Geometría</td><td colspan="3">Geométricas: Número (FCGG), superficie media (FSGG), desviación típica (FDTSGG)
Intermedias: Número (FCIG), superficie media (FSIG), desviación típica (FDTSIG)
Amorfas: Número (FCAG), superficie media (FSAG), desviación típica (FDTSAG)</td></tr>
<tr><td>Complejidad</td><td colspan="3">Simple: Número (FCSC), superficie media (FSSC), desviación típica (FDTSSC)
Intermedias: Número (FCIC), superficie media (FSIC), desviación típica (FDTSIC)
Complejas: Número (FCCC), superficie media (FSCC), desviación típica (FDTSCC)</td></tr>
<tr><td colspan="4">TEXTURA</td></tr>
<tr><td colspan="4">Número (CTT), superficie media (SMT), desviación típica (DTSMT)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Granos finos: Número (TCF), superficie media (TSF), desviación típica (TDTSF)</td><td>Granos medios: Número (TCF), superficie media (TSF), desviación típica (TDTSF)</td><td>Granos gruesos: Número (TCG), superficie media (TSG), desviación típica (TDTSG)</td></tr>
<tr><td colspan="4">COMPOSICIÓN ESPACIAL</td></tr>
<tr><td colspan="4">Número de líneas del horizonte (CTLCE), longitud media (LMLCE), desviación típica (DTLMCE)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Líneas rectas: Número (LCR)
Longitud: Mean (LLR), desviación típica (LDTLLR)
Ángulo: Media (LAR), desviación típica (LDTAR)</td><td colspan="2">Líneas curvas: Número (LCC)
Longitud: Media (LLC), desviación típica (LDTLC)
Radio: Media (LRC), desviación típica (LDTRC)</td></tr>
<tr><td colspan="4">Superficies en la fotografía: proporción de cielo (SSK), proporción del resto de superficie (STER)</td></tr>
<tr><td colspan="4">ESCALA</td></tr>
<tr><td colspan="4">Elementos: Número de elementos incluidos en el atributo escala (CE), superficie media (SME), desviación típica (DTSME)</td></tr>
<tr><td>Eje</td><td colspan="3">Longitud: Media (LEJEE), desviación típica (DTLEJEE)
Ángulo: Media (AME), desviación típica (DTAME)</td></tr>
<tr><td colspan="4">COLOR</td></tr>
<tr><td colspan="4">RGB: media (MRGB), desviación típica (DTRGB)
RGB-verde: valor absoluto de la diferencia entre RGB y verde (RGBGREEN)
RGB-azul: valor absoluto de la diferencia entre RGB y azul (RGBBLUE)
RGB-rojo: valor absoluto de la diferencia entre RGB y rojo (RGBRED)
Lab: media (MMIX), desviación típica (DTMMIX)</td></tr>
</table>

RGB	Rojo: media (CMR), desviación típica (CDTR) Verde: media (CMV), desviación típica (CDTV) Azul: media (CMA), desviación típica (CDTA) Rojo-Verde: valor absoluto de la diferencia entre rojo y verde (RV) Rojo-Azul: valor absoluto de la diferencia entre rojo y azul (RA) Azul-Verde: valor absoluto de la diferencia entre azul y verde (VA).
Lab	L: media (CML), desviación típica (CDTL) a: media (CMa), desviación típica (CDTa) b: media (CMb), desviación típica (CDTb) a-b: valor absoluto de la diferencia entre los valores de los ejes a y b (Ca-b)

Una vez caracterizados los atributos y medidas las variables en las fotografías se analizaron las características de la relación existente entre los atributos y las preferencias. Para ello se estudiaron los coeficientes de correlación lineal y se realizaron ajustes estadísticos basados en técnicas de regresión lineal múltiple y regresión no lineal. La solución para el modelo lineal se obtuvo mediante el método de los mínimos cuadrados generalizados (Zubelzu, 2014) a partir de un proceso de eliminación de variables, mientras que para los ajustes no lineales se empleó el método de Gauss-Newton y se probaron modelos logarítmico, inverso, cuadrático, cúbico, power, curva-S, curva crecimiento, exponencial, compuesto, logístico, así como combinaciones entre los referidos métodos y el modelo lineal de cara a obtener el mejor resultados posible.

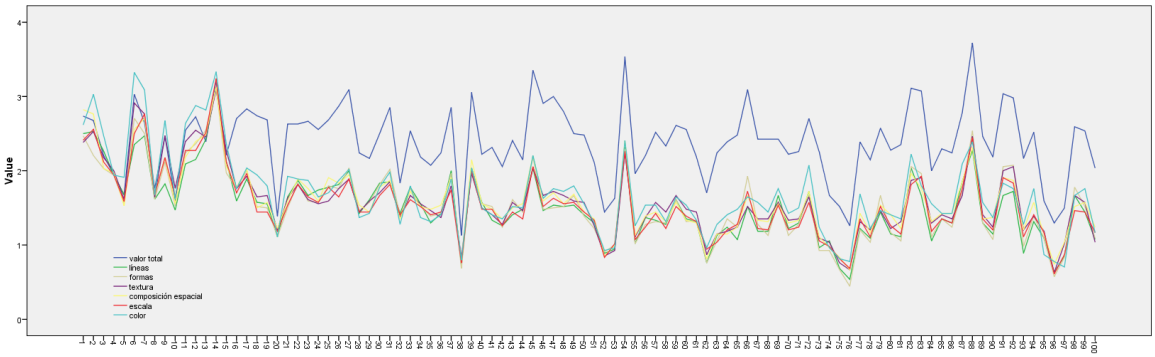
Para el tanteo de los modelos de regresión citados se definió como variable dependiente las preferencias expresadas por la población para cada uno de los atributos mientras que las variables que caracterizan los atributos adoptaron el papel de variables independientes.

La selección del modelo óptimo de entre los lineales y no lineales se realizó empleando el coeficiente de determinación corregido (Achen, 1982), mientras que para testear la bondad de los coeficientes de regresión y determinación se emplearon los contrastes basados en los estadísticos t-Student y F-Snedecor (Gujarati, 1995) para sendos niveles de significación del 5%.

3. Resultados y discusión

Las variables expuestas en la tabla 1 constituyen las variables independientes de los modelos de regresión a deducir de cara a explicar las preferencias. Los resultados de las preferencias por cada una de las 100 escenas muestran en general unas preferencias superiores por el conjunto de las escenas de las que expresan por cada uno de los atributos (figura 3), lo que tendería a confirmar las conclusiones de Antrop (2001) sobre el carácter holístico del paisaje y las críticas a los modelos indirectos respecto del valor global deducido para el paisaje.

Figura 3. Valores promedio globales y para cada uno de los atributos en cada una de las fotografías analizadas



Esta diferencia entre el valor total otorgado a las escenas y el valor otorgado a cada uno de los atributos podría también justificar la componente interpretativa subjetiva que se observa en las etapas finales del proceso de percepción y en la que influyen los componentes aprehendidos (sociales y culturales de cada individuo) en la línea de las conclusiones de los trabajos de Hörnstern y Fredman, (2000), Kaltenborn y Bjerke (2002), Misgav (2000), Hunziker et al. (2008) o Tveit (2009) quienes han puesto de manifiesto la relevancia de esta clase de factores en las preferencias de loa individuos por los paisajes.

El hecho de que el valor de ninguno de los atributos se aproxime al valor de la escena en su conjunto implicaría además que ninguno de los atributos tiene una relevancia especial en la formación del valor de la escena, hecho que se confirma a la vista de los coeficientes de correlación lineal entre el valor otorgado al conjunto de la escena y el proporcionado a cada uno de los atributos (tabla 2) en los que se observa que todos los atributos mantienen una relación de intensidad similar con el valor final otorgado.

Tabla 2. Coeficientes de correlación lineal entre los valores asignados a cada uno de los atributos y el valor asignado a la escena en conjunto

		VALOR LÍNEAS (VL)	VALOR FORMAS (VF)	VALOR TEXTURA (VT)	VALOR COMPOSICIÓN ESPACIAL (VCE)	VALOR ESCALA (VE)	VALOR COLOR (VC)
Valor promedio	Correlación	0,696	0,746	0,686	0,710	0,687	0,677
	Significación (bilateral)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

El paso siguiente ha consistido en identificar los modelos óptimos para explicar las preferencias por cada uno de los atributos a partir de cada uno de los conjuntos de variables que las caracterizan. Los resultados de este ejercicio quedan expuestos en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados para los ajustes lineales óptimos obtenidos para cada atributo a partir de la mejor combinación lineal de de variables

	MODELO	R^2	R^2_c
LÍNEAS	LDTRC, LCC, LDTLLR, LDTLC	0,319	0,290
FORMAS	FDTSCC, FCIG, FSIC, FDTSAG, FCAG, FCGG, FCIC, FSCC, FCSC, FDTSIG, FSGG, FCCC	0,357	0,268
TEXTURA	TDTSM, TCF, TSM	0,104	0,076
COMPOSICIÓN ESPACIAL	CEDTLC, CECC, CEAR, CERC, CECR, CELR, CEDTAR	0,200	0,140

MODELO		R^2	R^2_c
ESCALA	EL, EDTS, ES, EC, EDTL	0,055	0,005
COLOR	CDTV, CDTR, CDTA, RA	0,542	0,522

Los resultados muestran en general coeficientes de determinación reducidos destacando los vinculados al color y a las líneas. Analizando los resultados de los ajustes no lineales (tabla 4), puede observarse cómo los mejores coeficientes de determinación corregidos proporcionados por esta clase de modelos son superiores para todos los atributos salvo para color, composición espacial y formas.

Tabla 4. Resultados de los coeficientes de determinación para los mejores modelos no lineales

ATRIBUTO	TIPO DE MODELO	VARIABLE	R^2_c
LÍNEAS	Cuadrático, cúbico	LCC	0,310
FORMAS	Cúbico	FSCC	0,165
TEXTURA	Cúbico	TDTSM	0,129
COMPOSICIÓN ESPACIAL	Cúbico	CECR, CEDTAR	0,094
ESCALA	Cúbico	EDTS	0,059
COLOR	Cúbico	RA	0,472

Vista la aptitud de determinados tipos de modelos no lineales basados en expresiones polinómicas se realizaron pruebas adicionales empleando diferentes tipos de combinaciones polinómicas con las variables expuestas en la tabla 1, obteniendo mejores resultados para todos los atributos excepto para el atributo color. La composición de los modelos definitivos óptimos junto con los coeficientes de determinación de cada uno de ellos quedan reflejados en la tabla 5.

Tabla 5. Composición y coeficiente de determinación de los modelos óptimos para explicar las preferencias por cada uno de los atributos

ATRIBUTO	TIPO DE MODELO	R^2_c
Líneas	Combinación de modelos no lineales (cúbicos para número total de líneas y longitud de líneas curvas)	0,346
Formas	Combinación de modelos no lineales (cúbicos para número de formas intermedias según geometría, superficie y superficie de geométricas y cuadrático para desviación típica de formas complejas).	0,335
Textura	Combinación de modelos no lineales (cúbicos para número total de granos, superficie y desviación típica del total de granos).	0,233
Composición espacial	Combinación de modelos no lineales (cúbicos para la superficie del terreno y la longitud media y número de líneas en total).	0,275
Escala	Combinación de modelos no lineales (cúbicos para la desviación típica de la superficie media y de la longitud del eje).	0,067
Color	Lineal (incluye desviaciones típicas de rojo, azul y verde y diferencia entre rojo y azul).	0,522

Los resultados expuestos en la tabla 5 muestran cómo la capacidad explicativa de color, especialmente, de líneas y formas es superior al resto de atributos lo que puede interpretarse en la línea de una mayor comprensión de estos atributos por parte de los encuestados o en el sentido de su mayor influencia en la formación de las preferencias por la fotografías tal y como dedujo González (2000), con carácter general, o vinculado a

determinadas formaciones vegetales y su relación con el color verde, como propusieron Hörnstern y Fredman (2000) o Kaltenborn y Bjerke (2002). La capacidad explicativa intermedia alcanzada tanto en textura como en composición espacial puede vincularse con las características de las escenas observadas en las que la textura presenta una elevada homogeneidad vinculada con los granos del cereal y la composición espacial es propia de zonas eminentemente llanas o con suaves ondulaciones. Por último la escala queda vinculada a la presencia de elementos que de forma significativa contrastar con lo existente en el entorno, circunstancia que justificaría la escasa capacidad explicativa de los modelos desarrollados.

En la tabla 6 se incluye la caracterización de cada uno de los modelos óptimos expuestos en la tabla 5.

Tabla 6. Estructura de los modelos óptimos deducidos para explicar las preferencias por cada uno de los atributos

ATRIBUTO LÍNEAS
$VL = 1{,}156 + 0{,}13CTL + 0{,}0001CTL^2 + 8{,}02 \cdot 10^{-6} CTL^3 + 0{,}053LCC + 0{,}0001LCC^2 + 2{,}23 \cdot 10^{-5} LCC^3$
ATRIBUTO FORMAS
$VF = 1{,}225 + 0{,}06FCIG - 0{,}002FCIG^2 + 4{,}4 \cdot 10^{-7} FCIG^3 + 0{,}005FSCC - 3{,}88 \cdot 10^{-5} FSCC^2 +$ $+1{,}17 \cdot 10^{-7} FSCC^3 + 0{,}008FDTSCC - 8{,}1 \cdot 10^{-5} FDTSCC^2 - 0{,}005FSGG +$ $+0{,}0001FSGG^2 - 1{,}12 \cdot 10^{-6} FSGG^3$
ATRIBUTO TEXTURA
$VT = 1{,}301 + 6{,}624TDTSM - 39{,}423TDTSM^2 + 69{,}22TDTSM^3 + 0{,}004TCG + 0{,}0001TCG^2 +$ $+4{,}6 \cdot 10^{-7} TDG^3 + 0{,}38TSG - 0{,}001TSG^2 + 7{,}2 \cdot 10^{-6} TSG^3$
ATRIBUTO COMPOSICIÓN ESPACIAL
$VCE = 3{,}26 - 0{,}001STERRENO + 2 \cdot 10^{-7} STERRENO^2 - 9{,}4 \cdot 10^{-12} STERRENO^3 -$ $-0{,}01LMLINEACE - 0{,}0001LMLINEACE^2 + 1{,}8 \cdot 10^{-6} LMLINEACE^3 + 0{,}22CTLINEA -$ $-0{,}03CTLINEA^2 + 0{,}001CTLINEA^3$
ATRIBUTO ESCALA
$VE = 1{,}15 + 0{,}004DTSME - 5{,}9 \cdot 10^{-6} DTSME^2 + 2{,}76 \cdot 10^{-9} DTSME^3 + 0{,}048DTLEJE -$ $-0{,}005DTLEJE^2 + 5{,}8 \cdot 10^{-5} DTLEJE^3$
ATRIBUTO COLOR
$VC = -0{,}818 + 0{,}031CDTR - 0{,}052CDTV + 0{,}031CDTA + 3{,}008RA$

La interpretación de los modelos expuestos en la tabla 6 en términos de caracterización de las preferencias no es sencilla debido a la aparición de coeficientes de distinto signo y orden de magnitud vinculados a variables de orden cúbico y cuadrático, lo que compensaría el efecto de las variaciones en las variables.

Sí parece poder afirmarse que las preferencias aumentan, débilmente, al hacerlo el número de líneas presentes en las escenas. Relación que puede considerarse vinculada con la presencia de mosaicos de parcelas (figura 4).

Figura 4. Ejemplos que justifican las relaciones observadas entre las variables referidas al atributo líneas y las preferencias por dicho atributo

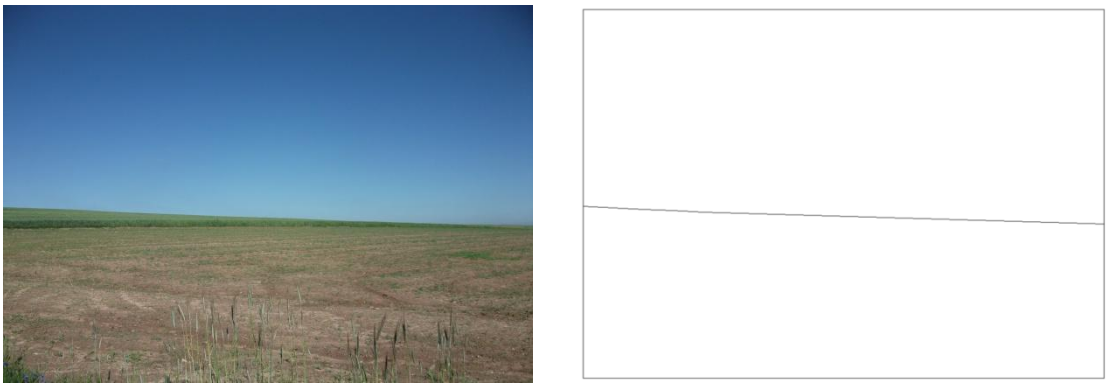
Las preferencias son decrecientes para las variables referidas al valor medio y la variabilidad de las superficies de las formas simples y geométrica. Esto parece guardar relación con las formas generadas por las edificaciones (figura 5) al haberse observado un descenso del valor otorgado a estas fotografías.

Figura 5. Ejemplos que justifican las relaciones observadas entre las variables referidas al atributo formas y las preferencias por dicho atributo

Las relaciones con la textura son complejas de analizar y no cabe extraer ninguna conclusión relevante.

En cuanto a la composición espacial parecen descender las preferencias al aumentar la superficie de terreno, lo que invitaría a pensar en preferencias crecientes por escenas panorámicas. También parecen decrecer al aumentar la longitud de las líneas rectas, indicativo de horizontes sencillos como el expuesto en la figura 6.

Figura 6. Ejemplos que justifican las relaciones observadas entre las variables referidas al atributo composición espacial y las preferencias por dicho atributo



Finalmente, los modelos vinculados tanto a escala como a color no permiten deducir ninguna relación evidente.

4. Conclusiones

La relación de variables expuestas empleadas permite una caracterización objetiva de los paisajes. Los resultados de las preferencias por cada uno de los atributos no permiten deducir la preponderancia de ninguno de ellos de cara a explicar las preferencias por el conjunto de la escena. La comparación entre el valor otorgado al conjunto y el valor otorgado a los atributos para cada una de las escenas permite además concluir las cifras más elevadas del primero en relación a los segundos lo que induciría a pensar en la existencia de una componente interpretativa en la percepción del conjunto de la escena ausente en la valoración individualizada de cada uno de los atributos.

Los procesos de percepción de cada uno de los atributos son complejos y no pueden explicarse mediante modelos lineales, sino a partir de expresiones cúbicas y cuadráticas en las que las características de cada variable ejercen diferentes efectos en función de la intensidad con la que se presenta en la escena. A pesar de tal complejidad, el atributo cuyas preferencias mejor se explican a través de la relación de variables que las caracterizan es el color, seguido de líneas y formas.

Dentro de los atributos, los patrones extraídos permiten concluir que las preferencias son crecientes en general ante la presencia de líneas, ante cualquier tipo de formas excepto las geométricas o simples, ante la presencia de granos de tamaño medio y ante la variabilidad en la luminosidad entre las tres gamas de color. Por el contrario, las preferencias decrecen ante la presencia de líneas curvas, granos finos o gruesos o elevados valores medios de luminosidad de las tres gamas de color.

5. Referencias

Achen, C. H. (Ed.). (1982). *Interpreting and using regression* (Vol. 29). London: Sage Publications.

Antrop, M. (2001). Background concepts for integrated landscape analysis. *Agriculture, ecosystems and environment* 77, 17-28.

Arriaza, M. Cañas-Ortega, J. F., Canas-Madueño, J. A., & Ruiz-Aviles, P. (2004). Assessing the visual quality of rural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 69(1), 115-125.

Berleant, A. (2010). Reconsidering Scenic Beauty. *Environmental Values*, 19(3), 335-350.

BLM (1980a). Visual Resource Management. Manual 8400. Washington: Bureau of Land Management.

BLM (1980b). Visual Resource Inventory. Manual H-8410-1. Washington: Bureau of Land Management. Washington.

BLM (1980c). Visual Resource Contrast Rating. Manual 8431. Washington: Bureau of Land Management. Washington.

Cañas, I., Ayuga, E. & Ayuga, F. (2009). A contribution to the assessment of scenic quality of landscapes based on preferences expressed by the public. *Land Use Policy*, 26(4), 1173-1181.

Coeterier, J. F. (1996). Dominant attributes in the perception and evaluation of the Dutch landscapes. *Landscape Urban Planning* 34, 27–44.

Consejo de Europa, (2000). Council of Europe, (2000). European Landscape Convention. CETS Nº 176. Disponible on line en: http://conventions.coe.int/Treaty/Commun/QueVoulezVous.asp?NT=176&CM=8&CL=ENG.

Daniel, T. C. (2001). Whither scenic beauty? Visual landscape quality assessment in the 21st century. *Landscape and Urban Planning* 25: 267-281.

García, L., Hernández, J. & Ayuga, F. (2003). Analysis of the exterior colour of agroindustrial buildings: a computer aided approach to landscape integration. *Journal of Environmental Management*, 69(1), 93-104.

García, L., Hernández, J. & Ayuga, F. (2006). Analysis of the materials and exterior texture of agro-industrial buildings: a photo-analytical approach to landscape integration. *Landscape and Urban Planning* 74(2), 110-124.

García-Moruno L., Montero-Parejo M. J., Hernández-Blanco J. & López-Casares, S. (2010). Analysis of lines and forms in buildings to rural landscape integration. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3), 833-847.

González, R. (2000). La fotografía como elemento para el análisis y la simulación del paisaje forestal. Unpublished Ph.D dissertation. Polytechnic University of Madrid. Madrid.

Gujarati, D. N. (1995). *Basic Econometrics*. New York: McGraw-Hill.

Hörnstern, L. & Fredman, P. (2000). On the distance to recreational forests in Sweden. *Landscape and urban planning*, 51(1), 1-10.

Hunziker, M., Felber, P., Gehring, K., Buchecker, M., Bauer, N., & Kienast, F. (2008). Evaluation of landscape change by different social groups. *Mountain Research and Development*, 28, 140–147.

Kaltenborn, B. & Bjerke, T. (2002). Visualization on forest landscape preference research: a finish perspective. *Landscape and urban planning*, 59(1), 1-11.

Laurie, I.C. (1975). Aesthetic factors in visual evaluation. In: Zube, E.N., Brush, R.O., Fabos, J.G. (Eds.), Landscape Assessment: Values, Perceptions and Resources. Dowden Hutchinson and Ross, Stroudsburg, 102–117.

Lewis, K. J. S., Borst, G. & Kosslyn, S. M. (2011). Integrating visual mental images and visual percepts: new evidence for depictive representations. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 75(4), 259-271.

Mata Olmo, R. & Sanz Herraiz, C. (Dirs.) (2003) *Atlas de los paisajes de España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Misgav, A. (2000). Visual preference of the public for vegetation groups in Israel. *Landscape and urban planning*, 48(3-4), 143-159.

Moutoussis, K. & Zeki, S. (1997a). A direct demonstration of perceptual asynchrony in vision. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences, 264(1380), 393-399.

Moutoussis, K. & Zeki, S. (1997b). Functional segregation and temporal hierarchy of the visual perceptive systems. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences, 264(1387), 1407-1414.

Otero, I. Mancebo, S. Ortega, E. & Casermeiro, M. A. (2007). Mapa de calidad del paisaje en España. *Revista electrónica de medio ambiente Universidad Complutense de Madrid*, 4, 18-34.

Ramírez. A., Ayuga, E., Gallego, E., Fuentes, J. M. & García, A. I. (2011). A simplified model to assess landscape quality from rural roads in Spain. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 142(3-4), 205-212.

Riitters, K. H., O'Neill, R. V., Hunsaker, C. T., Wickham, J. D., Yankee, D. H., Timmins, S. P., et al. (1995). A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 10, 23–39.

Schirpke, U., Tasser, E. & Tappeiner, U. (2013). Predicting scenic beauty of mountain regions. *Landscape and Urban Planning*, 111, 1-12.

Smardon. R. C., Appleyard, D., Sheppard, S. R. J. & Newman, S. (1979). Prototype Visual Impact Assessment Manual. New York: Syracusa State University.

Tuan, Y. F. (1979). Thought and landscape. In: Meining, D.W. (Ed.), The interpretation of ordinary landscapes. New York: Oxford University Press.

Tveit, M. S. (2009). Indicators of visual scale as predictors of landscape preference; a comparison between groups. *Journal of Environmental Management*, 90(9), 2882–2888.

Zubelzu S, & Allende, F. (2015). El concepto del paisaje y sus elementos constituyentes. Requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España. Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 18(1), 71-81.

Zubelzu, S., & del Campo, C. (2014). Assessment method for agricultural landscapes through the objective quantification of aesthetic attributes. *International Journal of Environmental Research*, 8(4), 1251-1260.

Zubelzu, S. & Hernández, A. (2014). Methodology to calculate landscape impacts through aesthetic attributes. Aplication to road transport infrastructures on rural landscapes. XVIII International Congress on Project Management and Engineering.

Zubelzu, S. & Hernández, A., (2015). Método de valoración de paisajes forestales basado en el uso de atributos estéticos como variables explicativas de las preferencias. *Madera y Bosques* 21(1).

04-007

LANDSCAPE ASSESSMENT METHODS COMPARISON AND ABILITY TO CHARACTERIZE LANDSCAPE POPULATION PREFERENCES

Zubelzu Mínguez, Sergio [1]; Hernández Colomina, Ana [2]
[1] Universidad Complutense de Madrid, [2] ANSER Ingenieros SL

Landscape assessment methods are divided as valuing landscape from its complete observation (direct methods), from its individual constitutive attributes valuation (indirect ones) or from a combination of both approaches (mixture ones). Either way, according to the European Landscape Convention, every method has to be able to faithfully represent landscape population preferences. Therefore, in the present work we have selected a set of 100 photographs, valued them using the most representative landscape assessment methods: Yeomans (1979), Otero et al. (2007), Cañas y Ruiz (2001), Bureau of Land Management (BLM, 1989a; BLM, 1989b; BLM, 1989), Smardon et al (1979), Arriaza (2004) and Muñoz-Pedreros (2004); and compared results with population preferences for the referred photographs. Results show that indirect methods usually provide results closer to population preferences and that methods which explicitly consider anthropogenic elements often identify the elements that respondents point out as landscape negative influencing elements (such as transport infrastructure or buildings). Thus, results also allow identifying the optimum method, according to every landscape or anthropogenic elements characteristics, to consider in landscape valuation processes in order to include it in engineering project management.

Keywords: *landscape; landscape assessment methods; landscape preferences; landscape impacts assessment*

COMPARACIÓN ENTRE LOS MÉTODOS PARA LA VALORACIÓN DE LOS PAISAJES Y APTITUD PARA MODELIZAR LAS PREFERENCIAS DE LA POBLACIÓN

Los modelos de valoración del paisaje se clasifican según deduzcan el valor mediante la observación de la totalidad (directos), la división en sus atributos constituyentes (indirectos) o combinen ambas técnicas (mixtos). Cualquiera de ellos, de acuerdo con el Convenio Europeo del Paisaje, debe representar fielmente las preferencias de la población. En el presente trabajo se han seleccionado 100 fotografías, valorado utilizando los métodos de mayor aplicación práctica: Yeomans (1979), Otero et al. (2007), Cañas y Ruiz (2001), Bureau of Land Management (BLM, 1989a; BLM, 1989b; BLM, 1989), Smardon et al. (1979), Arriaza (2004) y Muñoz-Pedreros (2004) y, por último contrastado los resultados obtenidos con las preferencias de la población por tales fotografías. Los resultados muestran cómo los métodos indirectos proporcionan resultados más próximos a las preferencias de la población y cómo los métodos que incluyen referencias a elementos antrópicos identifican los elementos que los encuestados entienden que influyen negativamente sobre el paisaje (edificaciones o infraestructuras). Los resultados permiten identificar el método que mejor modeliza las preferencias por cada tipo de paisaje o elemento antrópico de manera que puede seleccionarse el modelo óptimo a incorporar en los proyectos de cara a evaluar los efectos sobre el paisaje de cada actividad.

Palabras clave: *paisaje; modelos de valoración del paisaje; preferencias paisajísticas; evaluación de impactos paisajísticos*

Correspondencia: Sergio Zubelzu szubelzu@ucm.es

1. Introducción

El territorio se convierte en paisaje únicamente a través de la percepción, circunstancia que impone la necesidad de tomar en consideración la subjetividad a la hora de considerar los instrumentos mediante los que gestionar el paisaje.

Esta necesaria consideración de la percepción y por tanto de la subjetividad ha sido explicitada por algunas de las normas en las que se basa la gestión del paisaje como por ejemplo el Convenio Europeo del Paisaje (Consejo de Europa, 2000). A pesar de ello, no existe un acuerdo en la comunidad científica respecto de la adecuación de los instrumentos para la gestión del paisaje de cara a satisfacer los requisitos impuestos por la percepción y la subjetividad (Zubelzu y Allende, 2015).

La consideración de la subjetividad conduce a la emisión de juicios de valor por parte del receptor, lo que se traduce en preferencias diferenciales respecto los elementos físicos que componen el paisaje o, en mayor medida, respecto de la interpretación que cada perceptor hace de tales elementos. Esta circunstancia exige que los métodos de de valoración del paisaje deban considerar la subjetividad y la percepción en el valor deducido puesto que de otro modo el resultado del modelo de valoración no será el valor del paisaje sino la caracterización de un conjunto de elementos ambientales, territoriales o de cualquier otro tipo según la naturaleza de las variables que incorpore (Zubelzu y del Campo, 2014).

Ha lugar por tanto cuestionarse la validez de los diferentes métodos de valoración del paisaje existentes en la actualidad de cara a proporcionar soluciones que respeten la percepción y la subjetividad inherente. Para ello resulta interesante la clasificación de métodos expuesta, entre otros, por Muñoz-Pedreros (2004), según la cual los métodos pueden clasificarse en directos, indirectos y mixtos. Los primeros obtienen el valor del paisaje mediante la observación de la totalidad, los segundos mediante la desagregación del paisaje en sus atributos constituyentes y los terceros tratan de explicar el valor otorgado a la totalidad mediante la desagregación en componentes gracias al uso de técnicas estadísticas.

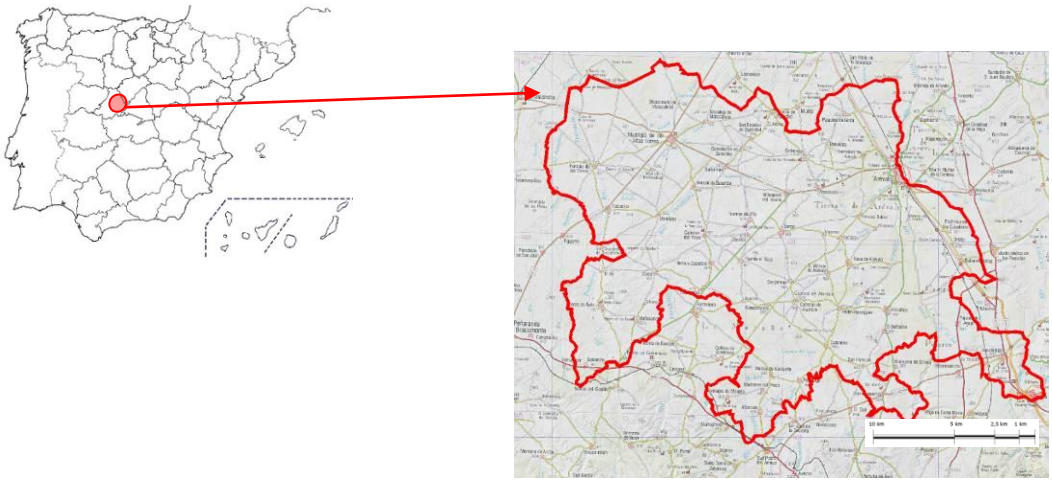
Así, el objetivo principal del presente trabajo ha sido comprobar la validez de las categorías de métodos de valoración del paisaje para proporcionar un valor acorde con las preferencias expresadas por la población. Como complemento al objetivo global referido, se han planteado una serie de objetivos secundarios:

- Caracterizar las preferencias en términos generales por un determinado tipo de paisaje.
- Identificar los principales métodos de valoración dentro de cada una de las categorías y aplicarlos para el paisaje en concreto.
- Identificar las variables más relevantes de las que depende cada tipo de modelo y contrastarlas con las preferencias expresadas.
- Comparar las preferencias expresadas por la población con los resultados procedentes de las valoraciones de expertos.

2. Materiales y métodos

En primer lugar se seleccionó el tipo de paisaje sobre el que centrar el estudio, optando por un uso del suelo caracterizado por la presencia mayoritaria de cultivos de cereal en régimen extensivo. Se seleccionó la comarca de La Moraña en Ávila (España), buscando un tipo de paisaje carente a priori de singularidades que afectasen a las preferencias expresadas por la población. La figura 1 muestra la localización de la zona de estudio.

Figura 1. Localización de la comarca de La Moraña (Ávila, España)



En la comarca en cuestión se realizó una selección de un conjunto de escenas sobre las que consultar a la población y aplicar los métodos de valoración. Tras los trabajos de campo se seleccionó una muestra de 100 escenas representativas de las diferentes vistas existentes en la zona de estudio. En la figura 2 se observan algunas de las fotografías representativas de las diferentes escenas existentes y que han sido empleadas para el presente trabajo.

Figura 2. Ejemplo de fotografías características de las diferentes escenas y empleadas en el presente trabajo

Se han empleado fotografías, tanto para caracterizar las preferencias como para aplicar los métodos para la valoración, asumiendo la validez de tal vehículo ya demostrada por Shuttleworth (198) o Sevenant y Antrop (2011).

Una vez identificado y caracterizado el paisaje se procedió a recopilar las preferencias de la población desde una doble perspectiva que considerase tanto el valor que los observadores debían otorgar al paisaje como la presencia y efecto de los posibles elementos que ejerciesen influencia negativa sobre lo observado. Para ello se definieron cuestionarios en los que los individuos otorgasen valor a cada una de las escenas (utilizando una escala del tipo Likert de 1 – no me gusta nada – a 5 – me gusta mucho –), identificasen los elementos que ejercen influencia negativa, si los hubiese y cuantificasen el valor que les otorgarían (igualmente mediante una escala tipo Likert de 1 a 5).

La selección de la muestra sobre la que realizar la consulta se basó en la asunción de la existencia de factores culturales que condicionan las preferencias por los paisajes en la línea de expresado por Van den Berg and Koole (2006). De esta forma se seleccionaron los

individuos equilibrando los factores sociales potencialmente influyentes sobre las preferencias de la población: lugar de nacimiento, lugar de residencia, tipo de relación con el paisaje y nivel educativo. Se empleó una muestra de 125 individuos, cifra que superó el objetivo inicial de 62 fijado con el objeto de limitar el error de estimación de la media de las preferencias mediante un intervalo de confianza. La amplitud del intervalo de confianza inicialmente fijada fue del 5% (Error = 2,5%) de la extensión de la escala de valoración, suponiendo una deviación típica (σ) máxima del 10%, también de la extensión de escala de valoración, y para un nivel de significación (α) del 5%. La expresión concreta para el cálculo (Zubelzu, 2014) y el resultado quedan expuestos en la ecuación [1]:

$$Error \leq Z_{1-(\alpha/2)}[\sigma/(n)^{1/2}] \quad (1)$$

$$n \geq 62$$

En paralelo al proceso de consulta referido en los párrafos precedentes se valoraron cada una de las 100 escenas estudiadas mediante los métodos de valoración el paisaje más relevantes existentes en la bibliografía. Existe en la literatura una gran variedad de métodos para la valoración del paisaje, muchos de los cuales cuentan con un campo objetivo de aplicación muy acotado, razón por la que en el presente trabajo se ha optado por tener en cuenta únicamente los principales modelos con vocación generalista. Todos los modelos referidos en los párrafos siguientes han sido aplicados por una relación de 5 expertos profesionales de la gestión paisajística. Igualmente ha sido necesario transformar la escala de resultados de cada uno de los métodos para hacerla comparable con la escala Likert en la que se han obtenido los resultados de las preferencias de la población.

Los modelos finalmente empleados dentro de cada una de las categorías fueron los expuestos en los puntos siguientes.

- Métodos directos.

Se ha empleado el método de subjetividad controlada expuesto por Fines (1968). Ha requerido la valoración por parte de 5 expertos que han expresado sus preferencias por las 100 fotografías. Frecuentemente se les ha criticado el problema de asignación a los valores intermedios de la escala.

- Métodos indirectos.

Los modelos indirectos son los que poseen en la actualidad una mayor aplicación en la práctica profesional del estudio del paisaje, razón por la que constituyen la categoría más representada en el presente estudio. Se ha empleado un modelo ecológico y varios combinados debido a la poca relevancia de los métodos estrictamente formales. El método ecológico propuesto es el desarrollado por Otero et al. (2007) en el marco de la elaboración del Mapa de Calidad de los Paisajes de España.

Los métodos indirectos combinados son los más frecuentes en la práctica de la valoración del paisaje, hecho probado por la cantidad de modelos existentes y su relevancia. De esta forma, en el presente trabajo se han empleado algunas de las técnicas propuestas por la Bureau of Land Management (BLM, 1989a; BLM, 1989b; BLM, 1989c), así como los modelos desarrollados por Smardon et al. (1979), Cañas y Ruiz (2001) o Yeomans (1989).

La propuesta desarrollada por la Bureau of Land Management se enmarca dentro del análisis de la situación sin proyecto en el procedimiento denominado Valoración del Contraste de Recursos Visuales (VRCR) definido en el Manual 8431 (BLM, 1989c) que exige caracterizar el paisaje a la vista de sus atributos estéticos (líneas, formas, colores, textura, composición espacial y escala).

La propuesta desarrollada por Smardon et al. (1979) se asemeja a los trabajos de la Bureau of Land Management habiendo optado en este trabajo por aplicarse el procedimiento

denominado Visual Impact Assessment (VIA) y dentro de éste, el esquema detallado que exige la valoración de cada atributos formal (líneas, formas, colores, textura) para cada uno de los atributos ecológicos identificados en la fase de caracterización paisajística previa (denominada Management Classification System – MCS–).

El método expuesto por Yeomans (1979) trata de determinar la capacidad de absorción visual de un paisaje como medida de su aptitud para absorber cambios sin sufrir modificaciones de carácter visual. El proceso implica la identificación de las unidades de paisaje y la valoración de un conjunto de atributos físicos (todos ellos de forma subjetiva asignando valores entre 1 y 3 salvo la pendiente a la que se le asignan valores de 1 a 5 en función de los porcentajes) para obtener la capacidad de absorción visual.

También se ha empleado, entre los métodos indirectos, el desarrollado por Cañas y Ruiz (2001), quienes proponen deducir el valor del paisaje mediante un modelo aditivo de los valores otorgados a un conjunto de atributos. El último de los métodos indirectos combinados es el desarrollado por Muñoz-Pedreros (2004) basado en los trabajos desarrollados por Escribano et al. (1991) para determinar la fragilidad visual intrínseca. Este modelo incluye la relación de factores biofísicos y culturales a partir de los cuales se deduce el valor paisajístico.

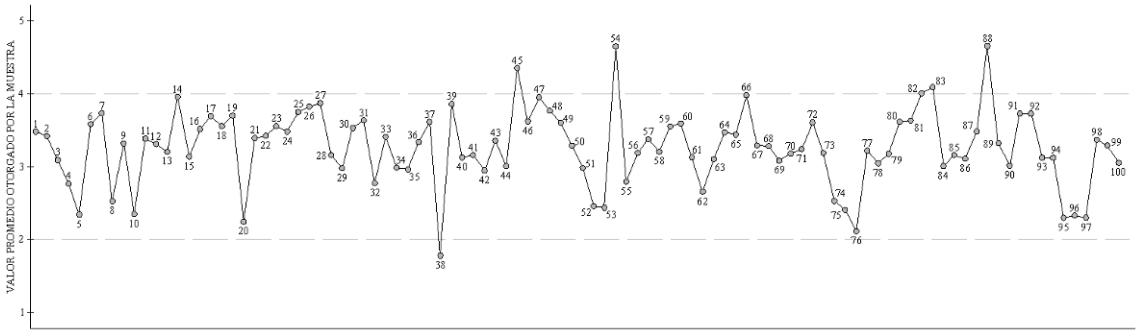
- Métodos mixtos.

Se empleará el modelo expuesto por Arriaza et al. (2004) que se define a partir de un modelo de regresión lineal incorporando variables de carácter físico y estético.

3. Resultados y discusión

Los resultados de la consulta de las preferencias a la población muestran la dominancia de las clases intermedias de la escala de valoración tal y como puede observarse en la figura 3 en la que se han representado los valores medios que para cada una de las 100 fotografías.

Figura 3. Valores promedio expresados por la muestra para cada una de las 100 fotografías



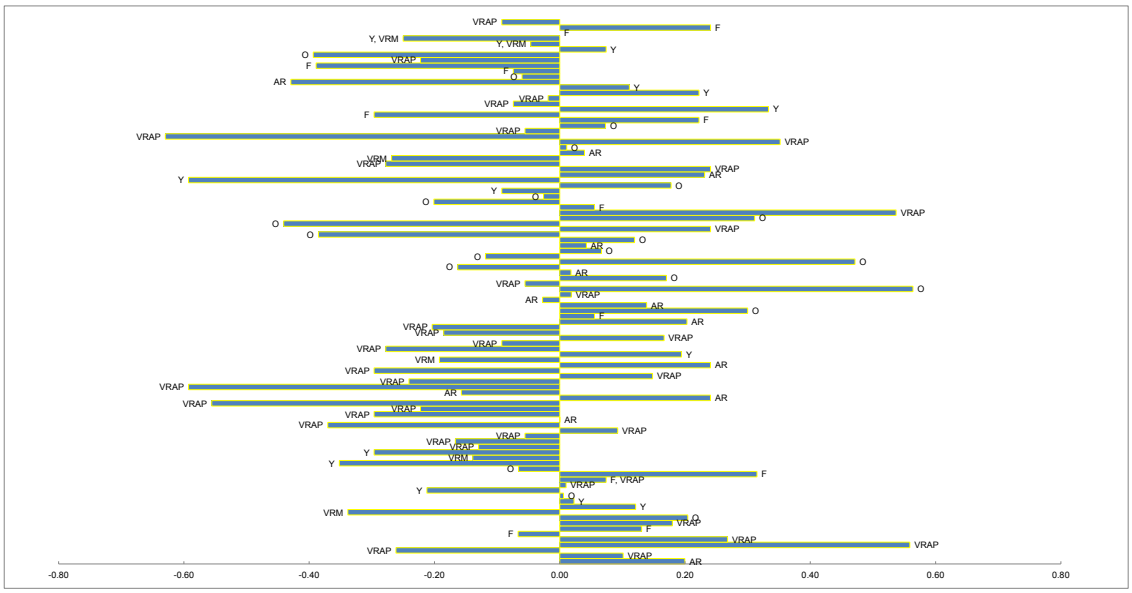
Únicamente seis fotografías han sido valoradas por encima de las clases intermedias (se trata de fotografías que incluyen singularidades respecto del continuo paisaje cerealista) y una en la parte inferior (caracterizara por la presencia de una parcela labrada en primer plano). Todas ellas pueden observarse en la figura 4.

Figura 4. Fotografías mejor valoradas (45, 54, 82, 83 y 88) y peor valorada (38)

La relevancia de las clases intermedias en las escalas de valoración de los paisajes ya ha sido puesta de manifiesto por algunos autores (Fines, 1968), aludiendo a ella como inconveniente para la aplicación de los métodos directos. Los resultados del presente trabajo confirman la relevancia de esta clase de valoración pero sin embargo no permiten inferir que se trate de un problema de los métodos directos puesto que en general el paisaje analizado es característico por su homogeneidad visual, lo que propiciaría la dominancia de las clases intermedias.

Estas preferencias son representadas de distinta manera por cada uno de los métodos analizados tal y como queda reflejado en la figura 5 en la que se observa para cada fotografía cuál es el método que proporciona un valor más próximo al expresado por la población así como la diferencia en valor absoluto entre el valor proporcionado por cada modelo y el valor otorgado por la la muestra.

Figura 5. Diferencias entre el valor promedio otorgado por la muestra y los valores deducidos por cada uno de los modelos analizados



Como se percibe a la vista del gráfico en la figura 7, las diferencias aparecen equilibradas entre los resultados que sobrevaloran y los que infravaloran las escenas. El valor máximo de la diferencia asciende a 0,63 unidades, lo que no excede de una clase cualitativa y resulta ser indicativo de la bondad en general de los modelos analizados para expresar las preferencias. Este resultado contrasta con el obtenido por Daniel (2001) para el que las diferencias entre las preferencias de la población y el juicio de los expertos resultaba más evidente.

Entrando en detalle en los resultados proporcionados por cada uno de los modelos, la tabla 1 presenta la caracterización de los resultados de cada modelo respecto de las preferencias.

Tabla 1. Resultados comparativos entre las preferencias expresadas por la población y los obtenidos para cada uno de los modelos

Método	Suma diferencias (valor absoluto)	Promedio diferencias por fotografía	Coeficiente correlación lineal*	Número de fotografías para las que proporciona el mejor resultado
Yeomans (1979)	91,76	0,92	0,27	12
Otero et al. (2007)	86,89	0,87	0,29	19
Cañas y Ruiz (2001)	134,14	1,34	0,38	0
Fines (1968)	99,60	1,00	0,61	9
VRM	112,30	1,12	0,38	5
VRAP	56,49	0,56	0,13	32
Arriaza et al. (2004)	103,76	1,04	0,31	13
Muñoz-Pedreros (2004)	93,06	0,93	-0,12	12

*coeficiente de correlación lineal entre el valor otorgado por los encuestados y el calculado a partir de cada uno de los métodos

Las cifras expuestas en la tabla 1 permiten deducir que el modelo VRAP propuesto por Smardon et al. (1979) resulta ser el que en un mayor número de ocasiones proporciona un resultado más próximo a las preferencias otorgadas por la población y además es el método cuyos resultados difieren en menor medida y en el que mayor es el coeficiente de correlación lineal entre el valor que proporciona y las preferencias expresadas por la población.

El modelo de Cañas y Ruiz (2001) proporciona los peores resultados debido a la relación de atributos incluida puesto que tiende a infravalorar los paisajes que no cuentan con elementos que proporcionan singularidad (agua, fauna o vegetación singulares, elementos patrimoniales…), mientras que la aplicación del modelo desarrollado por Fines (1968) muestra cómo los expertos tenderían a sobrevalorar los paisajes peor valorados por la población e infravalorar los resultados para los paisajes a los que la población otorga los peores resultados. Estos resultados para el modelo de Fines (1968) ponen de manifiesto las diferencias existentes entre los valores otorgados por los expertos y los procedentes de la población y coinciden con las apreciaciones de Schirpke Tasser y Tappeiner (2013), en contraposición a los resultados de Kopka y Ross (1984).

El modelo de Yeomans (1979) proporciona los mejores resultados para las fotografías que la muestra valora en los estratos inferiores debido a la presencia de elementos humanos (gracias a su aptitud para penalizar escenas con riesgo de degradación). El modelo VRAP de Smardon et al. (1979) proporciona los mejores resultados para una amplia variedad de escenas (figura 9), ya destacasen por su geomorfología o vegetación variada y por lo contrario, al igual que por la presencia de elementos humanos o su ausencia. Esta mayor aptitud permitiría superar la discusión entre atributos formales y ecológicos citada puesto que la mayor capacidad para representar las preferencias la proporciona un modelo que incluye atributos ambientales valorados a la vista de sus características formales.

Si se analizan los resultados de la tabla 1 en términos de categorías de modelos, los indirectos (Otero et al., 2007; Yeomans, 1979; BLM 1980a; BLM, 1980b, BLM, 1980c; Smardon et al., 1979) proporcionan en general los resultados más adecuados, excepción hecha del método de Cañas y Ruiz (2001) más orientado a paisajes con singularidades. El modelo propuesto por Arriaza et al. (2004) cuenta con la penalización derivada de la propia construcción de los métodos mixtos para los que la correcta definición del campo de aplicación resulta inevitable de cara al desarrollo de la técnica de regresión.

El modelo de Otero et al. (2007) proporciona resultados buenos para escenas (figura 6) en las que la simplicidad es dominante, los atributos que valora hacen referencia a la presencia de elementos físicos o biológicos referidos a la naturalidad, ausentes en la mayoría de las escenas para las que proporciona un resultado más adecuado).

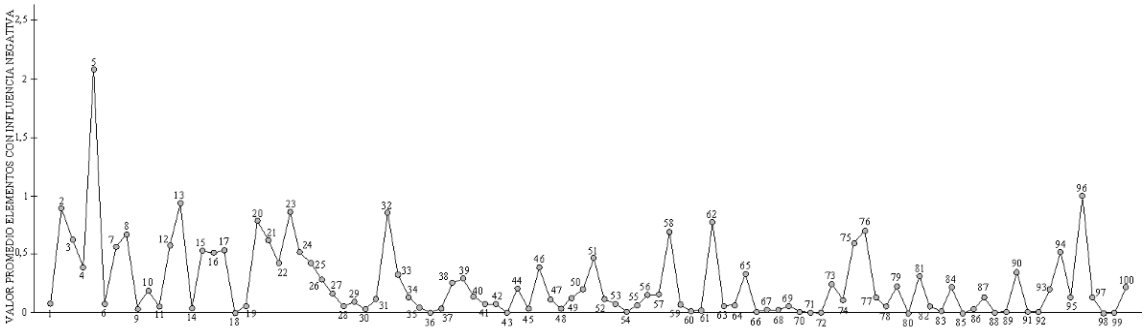
Figura 6. Escenas para las que el modelo de Otero et al. (2007) proporciona los resultados más próximos a las preferencias expresadas por la población

El modelo VRAP de Smardon et al. (1979) proporciona los mejores resultados para una amplia variedad de escenas (figura 7), ya destacasen por su geomorfología o vegetación variada y por lo contrario, al igual que por la presencia de elementos humanos o su ausencia. Esta mayor aptitud permitiría superar la discusión entre atributos formales y ecológicos citada puesto que la mayor capacidad para representar las preferencias la proporciona un modelo que incluye atributos ambientales valorados a la vista de sus características formales.

Figura 7. Escenas para las que el modelo de Smardon et al. (1979) proporciona los resultados más próximos a las preferencias expresadas por la población

Los resultados referidos a los elementos con influencia negativa muestran como en general los encuestados son propensos a identificar esta clase de elementos puesto que en 90 de las 100 fotografías se han detectado esta clase de elementos. La figura 8 muestra la cantidad de identificaciones (un individuo puede identificar o no y si lo hiciese puede señalar cuantos elementos considere que ejercen influencia, valorando cada uno de ellos).

Figura 8. Número de elementos con influencia negativa identificados en cada fotografía.



Los encuestados han identificado una extensa relación de elementos con influencia negativa tal y como queda reflejado en la tabla 2.

Tabla 2. Relación de elementos negativos identificados, número total de veces que se han identificado y promedio de identificaciones por cada fotografía en la que se detectan y valor promedio otorgado

	Total identificaciones	Número de veces que se detecta en cada fotografía en la que aparece	Valor promedio otorgado
Parches carretera	86	43,00	2,69
Piedras	24	3,43	1,85
Tendido eléctrico	608	14,83	1,77
Nave	242	10,52	1,94
Camino	302	15,89	2,40
Color primer plano	5	2,50	2,50
Antenas	88	22,00	1,80
Autovía	236	47,20	3,63

	Total identificaciones	Número de veces que se detecta en cada fotografía en la que aparece	Valor promedio otorgado
Vegetación	64	3,56	1,83
Puente	4	4,00	1,33
Aerogeneradores	263	20,23	3,45
Pueblo	161	10,06	1,91
Carretera	569	21,07	2,06
Tierras labradas	231	8,88	2,29
Terraplén	1	1,00	2,29
Árbol	2	2,00	0,00
Parcelación	2	2,00	2,00
Cultivos	27	3,00	2,25
Erosión	2	2,00	2,00

La tabla 2 muestra varios grupos de elementos con influencia negativa tales como las infraestructuras (autovía, carreteras, parches, camino, puente, tendido eléctrico, aerogeneradores, antenas), edificaciones y elementos urbanos (pueblo, naves) y, por último, un conjunto de elementos con influencia negativa de carácter natural (piedras, color del primer plano, vegetación, tierras labradas, terraplén, árbol, parcelación, cultivos, erosión).

La relevancia del efecto negativo de los elementos antrópicos sobre el paisaje ha sido observada por otros trabajos (Luckmann, Lagemann y Menzel, 2013) al igual que determinadas operaciones, mayoritariamente forestales, sobre los elementos naturales (Lindemann-Matthies et al., 2010; Deng et al., 2013; Tempesta, 2010). Sin embargo, al contrario que nuestro trabajo, todos estos trabajos identifican a priori los elementos cuyo efecto negativo quieren analizar, lo que podría condicionar las preferencias de los encuestados.

El grupo de elementos negativos con mayor influencia, tanto en número de identificaciones como en valor otorgado, son las infraestructuras y dentro de estas la autovía observada en la fotografía 005 (figura 8). Cabe también mencionar la relevancia de las tierras labradas en cuanto a número de identificaciones como en cuanto al valor otorgado y al hecho de que la fotografía menor valorada (fotografía 038 en la figura 4) estuviese caracterizada por la presencia de este elemento. Sin embargo, a pesar de esta coincidencia, el promedio de los coeficientes de correlación lineal significativos (contraste t-student para detectar coeficientes de correlación lineal nulos con p=0,05) para cada fotografía entre el valor otorgado a la escena y a los elementos con influencia negativa asciende -0,259, valor que no permite deducir una relación lineal intensa entre ambas variables.

Figura 9. Fotografía 005 con la autovía referida.

A pesar de la evidente identificación y valoración de los elementos con influencia negativa por parte de los encuestados, no existe una relación lineal relevante entre el menor valor otorgado a la escena y la mayor presencia de elementos con influencia negativa como puede observarse a la vista de los resultados incluidos en la tabla 3.

Tabla 3. Coeficientes de correlación lineal entre las preferencias de la muestra y los resultados de cada modelo y tanto el número de elementos negativos identificados como el valor otorgado a su efecto

Método	Coeficiente correlación lineal número identificaciones	Coeficiente correlación valor otorgado elementos influencia negativa
Yeomans (1979)	0,17	-0,04
Otero et al. (2007)	-0,05	-0,27
Cañas y Ruiz (2001)	-0,13	-0,20
Fines (1968)	-0,30	-0,30
VRM	0,09	-0,02
VRAP	0,41	0,06
Arriaza (2004)	-0,42	-0,32
Muñoz-Pedreros (2004)	-0,01	0,12
Preferencias muestra	-0,28	-0,39

De entre los resultados expuestos en la tabla 8, cabe reconocer al modelo expuesto por Arriaza et al. (2004) la mayor sensibilidad para otorgar menores valores en las escenas en las que los individuos han detectado la presencia de elementos con influencia negativa, destacando también los modelos de Otero et al. (2007) y Cañas y Ruiz (2001) en cuanto a la relación de su resultado con el valor otorgado a los elementos con influencia negativa. Estos métodos cuentan con atributos directamente vinculados con la presencia de elementos humanos o que alteran el paisaje, lo que explica la mayor aptitud para explicar las escenas en las que se han identificado elementos con influencia negativa.

Resultan significativos los signos de los coeficientes positivos de los modelos VRAP, VRM y del método de Yeomans (1979), pero que tienen su justificación en la ausencia de atributos que de manera específica permitan identificar la presencia de elementos que ejercen influencia negativa sobre la escena.

Aunque a priori el único método de los estudiados que permitiría identificar elementos negativos relacionados con variables naturales sería el método de Yeomans (1979), lo cierto es que ninguno de ellos resulta óptimo para identificar e incorporar en sus resultados la presencia de elementos con influencia negativa vinculados a características naturales del paisaje (determinado tipo de vegetación, colores o incluso la presencia de parcelas labradas).

4. Conclusiones

Los métodos directos proporcionan una herramienta potencialmente óptima para caracterizar las preferencias de la población pero sin embargo carecen del desglose necesario para una adecuada gestión del paisaje a la vista de sus elementos constituyentes. El estudio llevado a cabo no ha puesto de manifiesto diferencias significativas entre los juicios de valor de los expertos en el paisaje y del resto de la población.

Los métodos indirectos proporcionan una información con un mayor nivel de detalle que permitiría una gestión más particularizada del paisaje. Por otro lado, a pesar de las críticas basadas en el carácter holístico del paisaje, los métodos indirectos analizados en el presente trabajo han mostrado una mayor aptitud para modelizar las preferencias expresadas por la población para los paisajes analizados. Dentro de los métodos estudiados, el que proporciona los mejores resultados es el que plantea la mayor desagregación del paisaje en sus atributos constituyentes y que obtiene el valor a partir de la valoración de atributos ecológicos mediante descriptores formales, lo que permite superar la discusión entre la bondad de los atributos estéticos y los ecológicos.

Los métodos mixtos cuentan con problemas de aplicación fuera del ámbito a partir de cuál se han definido lo que minimiza la bondad de los resultados obtenidos.

Por otra parte, los individuos son propensos a identificar elementos que ejercen influencia negativa en las escenas pero no establecen una intensa relación entre éstos y el valor otorgado a las escenas. Identifican elementos de carácter antrópico, especialmente infraestructuras viarias, aunque también una serie de elementos relacionados con características naturales como determinados tipos de vegetación o características de los cultivos.

Los modelos con mayor aptitud para incorporar en sus resultados la presencia y el valor de los elementos con influencia negativa son los que cuentan con variables específicamente orientadas a la consideración de esta clase de elementos.

5. Referencias

Arriaza, M. Cañas-Ortega, J. F. Cañas-Madueño, J. A. & Ruiz-Avilés, P. (2004). Assessing the visual quality of rural landscape. *Landscape and urban planning*, 69, 115-125.

BLM (1980a). Visual Resource Management. Manual 8400. Washington: Bureau of Land Management..

BLM (1980b). Visual Resource Inventory. Manual H-8410-1. Washington: Bureau of Land Management.

BLM (1980c). Visual Resource Contrast Rating. Manual 8431. Washington: Bureau of Land Management.

Cañas, I. & Ruiz, M. A. (2001). Método de Valoración del Impacto Paisajístico. En Ayuga, F. coordinador (2001). Gestión sostenible de paisajes rurales. Técnicas e ingeniería. Fundación Alfonso Martín Escudero. Madrid.

Consejo de Europa, (2000). Council of Europe, (2000). European Landscape Convention. CETS Nº 176. Disponible on line en: http://conventions.coe.int/Treaty/Commun/QueVoulezVous.asp?NT=176&CM=8&CL=ENG.

Daniel, T. C. (2001). Whither scenic beauty? Visual landscape quality assessment in the 21st century. *Landscape and Urban Planning*, 54, 267–281.

Deng, S. Q., Yan, J. F., Guan, Q. W. & Katoh, M. (2013). Short-term effects of thinning intensity on scenic beauty values of different stands. *Journal of Forest Research*, 18(3), 209-219.

Escribano, M., De Frutos, M., Iglesias, E., Mataix, C., & Torrecilla, I. (1991). El Paisaje. Unidades temáticas ambientales de la Secretaría del Estado para las Políticas del Agua y del Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas y Transportes de España. 177 pp.

Fines, K. D. (1968) Landscape evaluation: a research project in East Sussex. *Regional Studies* 2: 41-55.

Kopka, M., & Ross, M. (1984). A study of the reliability of the Bureau of Land Management visual resource assessment scheme. *Landscape Planning* 11, 161-166.

Lindemann-Matthies, P., Briegel, R., Schupbach, B. & Junge, X. (2010). Aesthetic preference for a Swiss alpine landscape: The impact of different agricultural land-use with different biodiversity. *Landscape and Urban Planning*, 98(2), 99-109.

Luckmann, K., Lagemann, V. & Menzel, S. (2013). Landscape Assessment and Evaluation of Young People: Comparing Nature-Orientated Habitat and Engineered Habitat Preferences. *Environmental and behavior*, 41(1), 86-112.

Muñoz-Pedreros, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77: 139-156.

Otero, I. Mancebo, S. Ortega, E. & Casermeiro, M. A. (2007). Mapa de calidad del paisaje en España. *Revista electrónica de medio ambiente Universidad Complutense de Madrid*, nº 4, pp 18-34.

Schirpke, U., Tasser, E. & Tappeiner, U. (2013). Predicting scenic beauty of mountain regions. *Landscape and Urban Planning*, 111, 1-12.

Sevenant, M., & Antrop, M. (2011). Landscape Representation Validity: A Comparison between On-site Observations and Photographs with Different Angles of View. *Landscape Research*, 36(3): 363-385.

Smardon. R. C., Appleyard, D., Sheppard, S. R. J. & Newman, S. (1979). Prototype Visual Impact Assessment Manual. (New York: Syracusa State University).

Shuttleworth, S. (1980). The use of photographs as an environmental presentation medium in landscape studies. *Journal of Environmental Management*, 11, 61–76.

Tempesta, T. (2010). The perception of agrarian historical landscapes: A study of the Veneto plain in Italy. *Landscape and Urban Planning*, 97(4), 258-272.

Van den Berg A. E., & Koole, S. L. (2006). New wilderness in the Netherlands: An investigation of visual preferences for nature development landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 78(4), 362-372.

Yeomans, W. C. (1979). A proposed biophysical approach to visual Absortion Capacity (VAC). National Conference on the Applied techniques for the analysis and management of the visual resource. Nevada. En Elsner, GH. Smardon, RC. Editores Our National Landscape Pacific S.W. For. Range Exp. Stn., Berkeley, CA, pp 172-181.

Zubelzu, S. (2014). *Estadística. Teoría y Problemas.* Madrid: García Maroto Editores, SL.

Zubelzu S, & Allende, F. (2015). El concepto del paisaje y sus elementos constituyentes. Requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España. Cuadernos de Geografía: *Revista Colombiana de Geografía*, 18(1), 71-81.

Zubelzu, S. & del Campo, C. (2014). Assessment Method for Agricultural Landscapes through the Objective Quantification of Aesthetic Attributes. *International journal of Environmental Research*, 8(4): 1251-1260.

Zubelzu, S., & Hernández, A. (2014). Methodology to calculate landscape impacts through aesthetic attributes. Aplication to road transport infrastructures on rural landscapes. XVIII International Congress on Project Management and Engineering.

Zubelzu, S., & Hernández, A. (2015). Método de valoración de paisajes forestales basado en el uso de atributos estéticos como variables explicativas de las preferencias. *Madera y Bosques*, 21.

04-008

DRINKING WATER PRODUCTION FROM LOW-QUALITY INFLUENTS BY ULTRAFILTRATION WITH OZONATION PRE-TREATMENT

Rojas Serrano, Fátima ; Pérez Pérez, Jorge Ignacio ; Gómez Nieto, Miguel Ángel
Universidad de Granada

Ultrafiltration is not fully applied to drinking-water production because of the two main drawbacks of the membranes: low retention of natural organic matter and fouling. Nevertheless, the application of pre-treatments can help to improve the membrane performance; thus, a study was made with ozonation prior to ultrafiltration for a fixed influent water quality. The experiments were conducted with real-scale spiral-wound membranes in a pilot plant located in Granada (Spain), for 1.1 m3/h flow rate and high-humic-content influents (7.5 mg DOC/L). The aim of the study was to compare the effluent quality achieved with and without pre-ozonation. Doses between 5 and 25 g O3/Nm3 were tested to determine whether the ozone concentration affected the resulting effluent quality and membrane fouling. The results showed that the ozone application slightly improved DOC removal efficiency, from 13 to 30%, and helped control fouling, reducing the average fouling rate by almost 3-fold compared to single ultrafiltration. However, raising the ozone rate from 5 to 25 g/Nm3, (equivalent to 0.84 and 4 mg/L) had no appreciable influence. These findings question the suitability of ozonation as pre-treatment for ultrafiltration applied to drinking-water production and suggest that other processes should be applied instead.

Keywords: *Ozonation; ultrafiltration; fouling; natural organic matter; low-quality influents; Dissolved Organic Carbon (DOC)*

PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE MEDIANTE ULTRAFILTRACIÓN A PARTIR DE INFLUENTES DE BAJA CALIDAD CON OZONIZACIÓN COMO PRETRATAMIENTO

La obtención de agua potable mediante membranas de ultrafiltración no está totalmente extendida debido a la baja retención de materia orgánica natural de las membranas y su ensuciamiento. Sin embargo, la aplicación de pretratamientos puede paliar estos inconvenientes. En consecuencia, se llevó a cabo un estudio en una planta piloto localizada en Granada (España), aplicando ozonización previa a la ultrafiltración de influentes con alto contenido húmico (7.5 mg/L COD) y caudales de 1.1m3/h. El objetivo principal era comparar la calidad de efluente obtenida con y sin pre-ozonización, probando dosis entre 5 y 25 g O3/Nm3, para determinar si la concentración de ozono afectaba a la calidad del efluente y al ensuciamiento de la membrana. Los resultados indicaron que la aplicación de ozono mejora ligeramente la eliminación de COD, aumentando el rendimiento de 13 a 30%, y contribuye a controlar el ensuciamiento, con velocidades casi tres veces menores que con ultrafiltración en solitario pero incrementar la dosis de ozono de 5 a 25 g/Nm3, equivalentes a entre 0.84 y 4 mg/L, no tuvo ningún efecto. Estos resultados cuestionan la idoneidad de la ozonización como pretratamiento para producir agua potable mediante ultrafiltración, sugiriendo en su lugar la aplicación de otros procesos.

Palabras clave: *Ozonización; ultrafiltración; fouling; materia orgánica natural; influentes baja calidad; Carbono Orgánico Disuelto (COD)*

Correspondencia: Fátima Rojas Serrano rojas_f@ugr.es

Agradecimientos: This study was included within CTM2010-18899-TECNO project, supported by the Spanish Ministry of Science and Innovation. It was held at the Institute of Water Research (University of Granada) and Parque de las Ciencias, Granada (Spain) with the collaboration of CADAGUA S.A.

1. Introduction

Membrane technology emerged at the beginning of the 20th century for several applications (Baker, 2004). Membranes are porous materials that can retain certain particles inside an aqueous matrix; therefore the use of membranes for water treatment is widespread for drinking-water production, waste-water treatment, and desalination.

From largest to smallest pore size, membranes can be classified as being for microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration or reverse osmosis. In particular, ultrafiltration membranes are used worldwide for potabilizing surface water, as this physical treatment provides an alternative to conventional drinking-water production, preventing the subsequent generation of disinfection by-products (DBPs) associated with the former, which is based on chlorination.

Today, the great availability of module materials (ceramic, polymeric, metallic, etc.), configurations (hollow-fibre, flat-sheet, tubular, spiral-wound, etc.) and operation modes (dead-end vs. cross-flow, constant-flux vs. constant pressure, vacuum vs. pressure-driven, etc.), has remarkably increased the versatility of the systems. Furthermore, the equipment is simple to operate and provides water free from biological contamination. In fact, mobile ultrafiltration plants for drinking-water production are used in emergency situations such as natural catastrophes to provide safe drinking water. However, these membranes have two limitations: low retention of natural organic matter (NOM) and fouling (Laîné, Vial, & Moulart, 2000).

According to Laîne *et al.,* (2000) ultrafiltration (UF) alone is not enough to guarantee the required water quality when surface waters with high organic content are processed. The low rejection of dissolved organic carbon (DOC) is a great handicap since the presence of DOC alters the organoleptic properties of water destined for human consumption. On the other hand, fouling, which is the loss of permeability caused by the accumulation of aquatic substances on or inside the membrane matrices (Huang, Schwab, & Jacangelo, 2009), has a great effect on the process costs, since it augments energy expenses and reduces the membrane service life (Regula et al., 2014).Consequently, different strategies need to be followed to reduce or eliminate these drawbacks.

The application of backwashing, chemical cleaning or aeration is useful to mitigate the effects of fouling but insufficient to control it. The application of other processes called pre-treatments before ultrafiltration is very common for improving both DOC rejection and membrane performance, particularly coagulation-flocculation (Gao et al., 2011) or adsorption (Huang et al., 2009). Pre-oxidation with chlorine is also common but it is not with ozone. However, despite that ozone oxidizing potential is higher than that of chlorine, the use of ozonation has been limited because this gas needs to be generated *in-situ*, involving relatively high energy consumption. In addition, some polymeric membranes are incompatible with ozone and the examples found have been restricted to ceramic membranes (Kim, Davies, Baumann, Tarabara, & Masten, 2008; Schlichter, Mavrov, & Chmiel, 2004), with a few exceptions (Byun, Taurozzi, Alpatova, Wang, & Tarabara, 2011). As a result, a pilot study for drinking-water production with a spiral-wound polymeric membrane was conducted in order to advance current knowledge of this matter.

The objective of the present study was double: to determine the degree of contaminant removal achieved with increasing ozone doses and to assess the effect of the pre-treatment on membrane fouling.

2. Materials and Methods

2.1 Influent water

The water source was Canales reservoir (Granada, Spain). The average values for the water physico-chemical parameters were the following: pH 8.00; turbidity 5.2 NTU; UV_{254} 0.4 m^{-1}; and DOC 0.5 mg/L. A mixture of humic/fulvic acids (HFA, Carbotecnia Húmico 10-10 solution, 10% fulvic extract, 10% humic extract, Carbotecnia S.L., Spain) was dissolved in the matrix water to reach a concentration in the influent of 7.5 ± 1 mg DOC/L on average, to simulate a low quality influent. The characterization of the influent water is shown in Table 1.

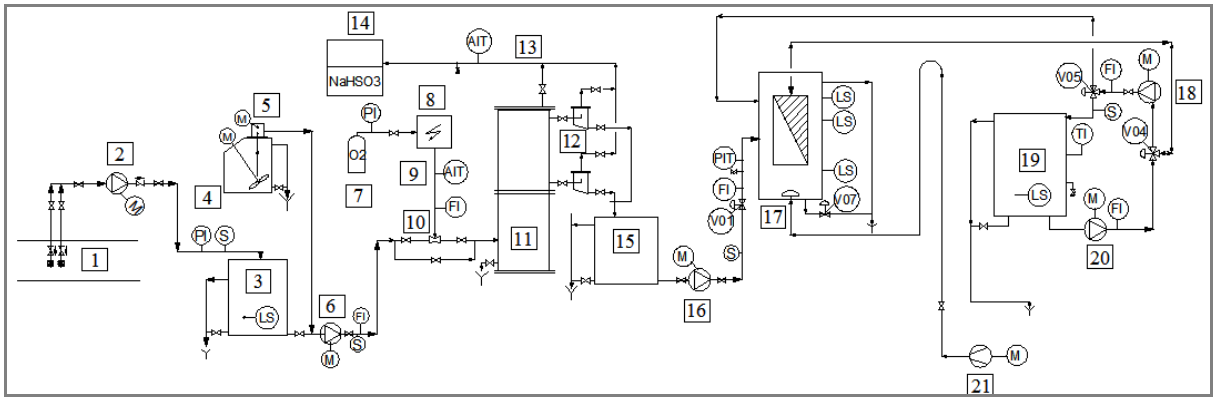
Table 1. Influent water characterization (Average values)

Influent	Value
Turbidity, NTU	5.67 ± 0.52
DOC, mg/L	7.45 ± 0.46
UVA $_{254}$, m^{-1}	18.67 ± 1.07
SUVA, mg/m·L	2.51 ± 0.12
Colour $_{436}$, m^{-1}	3.38 ± 0.18
pH	8.23 ± 0.09

2.2 Description of the pilot-scale plant

The ultrafiltration facility (Fig. 1) was located in Parque de las Ciencias, Granada (Spain). The membrane used was polyvinyliden fluoride (PVDF) spiral-wound SpiraSep 960, (TriSep Corporation, USA); with an effective pore size of 0.03 µm and 20.9 m^2 filtration area.

Figure 1: Flow diagram of the experimental set-up



1, inlet channel; 2, inlet pump 3, intermediate tank; 4, humic/fulvic acid tank; 5, humic/fulvic acid dosing pump; 6, feed pump; 7, oxygen cylinder; 8, ozone generator; 9, ozone in-line analyser; 10, venturi; 11, ozone contact tower; 12, ozone overflow; 13, off-gas analyser; 14, ozone-destruction solution; 15, ozonated water tank; 16, ozonated water pump; 17, membrane tank; 18, permeate pump; 19, permeate tank; 20, backwashing pump; 21, air blower.

The matrix water was drawn from the inlet channel and the HFA concentrated solution was injected upstream of the plant feed pump (Pentax, PV 10E, Italy) for proper mixing inside the pump body. The flow rate was adjusted manually at 1.1 m^3/h by a variable-speed drive

(Altivar 11 Schneider Electrics, France). Additionally, the feed-pump discharge was connected to a venturi for ozone injection.

Ozone was produced from oxygen (Air Liquide S. A.), with a corona discharge generator (C-L010DTI, AirTree Ozone Technology Co., Ltd.,Taiwan) operating at 1.2 bar. The oxygen flow rate applied was 0.2 Nm^3/h. An in-line ozone analyser (Mini-HiCon, In USA Corp., USA) was used to measure the ozone concentration in the gas line. Doses from 5 to 25 g O_3/Nm^3 were tested.

Downstream of the venturi, the water-ozone mixture entered a contact column with an 8-min or 12-min retention time to favour ozone transfer. Then, the mixture left the column through an overflow, separating the gas from the water. The ozonated water was conducted to a separate tank, from which it was pumped to the ultrafiltration circuit. The non-reacting gas was released in the upper part of the overflow, ending at a destruction cell, where the ozone reacted with saturated solution of $NaHSO_3$ producing O_2. Nonetheless, prior to ozone destruction, the off-gas ozone concentration was measured by a second in-line ozone analyser (Mini-HiCon built in SC010, In USA Corp., USA). Thus, the transferred ozone dose, TOD, was determined with Eq. 1 (Xu, Janex, Savoye, Cockx, & Lazarova, 2002).

$$TOD = \frac{Q_{gas}}{Q_{liq}} \cdot \left([O_3]_0 - [O_3]_{res}\right) \quad (1)$$

where TOD is the transferred ozone dose (g O_3/L), Q_{gas} and Q_{liq} are the flow rates for the inlet gas (Nm^3/h) and the feed water (L/h), respectively, and $[O_3]_0$ and $[O_3]_{res}$ are the ozone concentrations (g O_3/Nm^3) in the inlet gas and the off-gas streams, respectively.

The water reaching the ultrafiltration circuit was filtrated inside the membrane tank from outside to inside by a permeate pump (Koral KS 75, Kripsol, Spain), creating a vacuum. In addition, the membrane was continuously aerated with an air blower, (SCL 15 DH, FPZ, Italy) and periodically backwashed (CHI2-20, Grundfos, Germany).

The membrane worked with constant flux (1 m^3/h flow-rate equivalent to 48 LMH) with periodical backwashing phases. The backwashing flow rate (2 m^3/h), frequency (10 min), and duration (30 s) were fixed according to the results of previous studies (Rojas-Serrano et al., 2015). In addition, continuous aeration (18 Nm^3/h) was maintained both for permeate production and for backwashing operations. Additionally, transmembrane pressure, TMP, permeate temperature and O_3 concentrations in the inlet and off-gas lines were recorded by a data register (RSG30, Endress Hauser, Switzerland).

2.4 Experimental procedure

The study lasted 10 weeks with the operation consisting in 6 working days /1 day of rest with 240-min-long assays. Every ozone dose was tested for two weeks. The influent and effluent were sampled daily and transmembrane pressure (TMP) was registered every 20 s for fouling evaluation. Ozone concentrations in the inlet and off-gas lines were also registered with the same frequency.

After the operation, the membrane remained soaked in clean water. Also, during weekly cleaning in place (CIP), the membrane tank was emptied and filled with permeate while NaClO (50 mg/L) was dosed, followed by 20 min of recirculation.

2.4 Analytical methods

Physicochemical analyses were performed daily for the influent and effluent. Some ozonated water samples were also taken at random. All the samples were integrated, 100 mL being collected every 30 min. Then, all the volumes taken during the whole operation time were mixed and analysed.

Turbidity, DOC, UVA_{254}, colour $_{436\ nm}$ and pH were determined. Turbidity was determined as a measurement of the scattered light (DINKO D-112, Spain) while UV-visible spectrophotometer Heλios γ (Spectronic Unicam, USA) was used for the analysis of colour$_{436\ nm}$ and UVA_{254}, with 1 cm quartz cell. Glass-fibre filters (Millipore AP4004705) were used to take filtrated samples for DOC measurement, made by combustion TOC Analyser (Formacs HT, SKALAR, The Netherlands).

2.5 Fouling assessment

Linear regression was applied to TMP values prior to backwashing vs. operation time for each assay, with the resulting slopes representing the fouling rates. The comparison of fouling rates for the different operating conditions tested (ozone dose and retention time) made it possible to determine whether those operating conditions had any effect on fouling control.

2.6 Statistical analyses

Regression models were built for fouling-velocity calculation. In addition, analysis of the variance tests (ANOVA) were made in order to compare the quality of the samples and to determine whether there were statistically significant differences among them at a significance level of 5%, $p<0.05$.

3. Results and discussion

3.1 Effluent quality

The first overflow, equivalent to an 8-min retention time was used throughout the first week with the lowest ozone doses tested, 5 g O_3/Nm^3. However, there was always residual ozone in the off-gas line, meaning the contact time was insufficient. Thus, from then on, all the assays were carried out for 12-min retention times, i.e. using the highest overflow. Even so, residual ozone was found in the off-gas line for all doses (See Fig. 2) but the retention time could not be further increased.

Figure 2: Ozonation curve for 12-min retention time

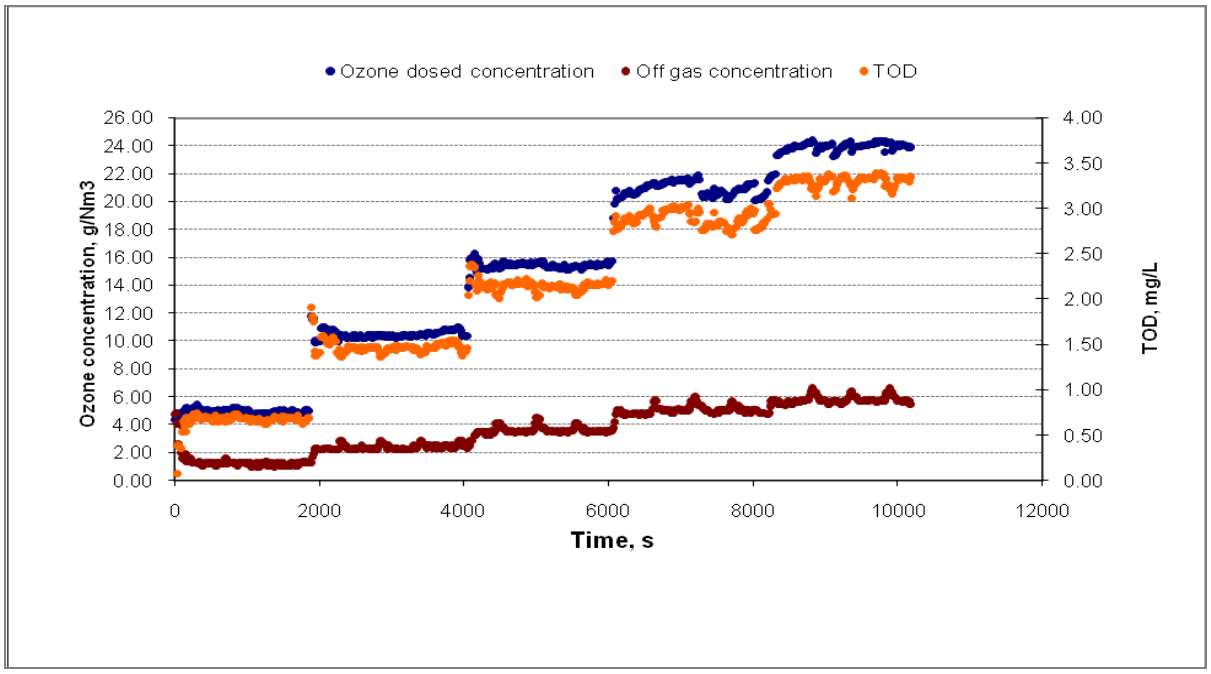


Table 2 shows the effluent quality achieved for single ultrafiltration (results from previous studies) and for the different ozone doses applied.

Table 2: Effluent quality

	Single UF	Pre-ozonation+ ultrafiltration				
	0 g O_3/Nm^3	5 g O_3/Nm^3	10 g O_3/Nm^3	15 g O_3/Nm^3	20 g O_3/Nm^3	25 g O_3/Nm^3
Turbidity, NTU	2.0±0.0 (65%)	1.0±0.0 (83%)	1.0±0.0 (83%)	1.0±0.0 (83%)	1.0±0.0 (83%)	1.0±0.0 (83%)
DOC, mg/L	6.5±0.0 (13%)	5.1±0.1 (30%)	5.6±0.0 (29%)	4.9±0.0 (28%)	5.5±0.1 (30%)	5.5±0.3 (30%)
UVA_{254}, m^{-1}	12.6±0.2 (39%)	11.7±0.4 (41%)	11.2±0.2 (42%)	11.3±0.5 (43%)	11.4±0.1 (42%)	10.4±0.3 (41%)
SUVA, mg/m·L	1.9±0.1	2.3±0.2	1.9±0.1	2.3±0.2	2.1±0.1	1.9±0.1
$Colour_{436}$, m^{-1}	1.3±0.2 (55%)	1.2±0.1 (67%)	1.1±0.0 (66%)	1.1±0.2 (68%)	1.2±0.2 (67%)	1.1±0.0 (67%)
pH	8.23±0.1	8.21±0.0	8.26±0.0	8.20±0.1	8.23±0.1	8.22±0.0

The average TOD for 5, 10, 15, 20, and 25 g O_3/Nm^3 were 0.84 mg/L, 1.99 mg/L, 2.83 mg/L, 3.76 mg/L and 4.00 mg/L, respectively. Nonetheless, increasing the ozone dose did not appear to affect the effluent quality. No significant statistical differences were found for the effluents tested with different doses.

In general, the resulting water quality improved with the ozone application, especially for turbidity. However, the upgrade was not very significant, since the average values achieved for effluent DOC or UVA_{254} were only slightly better than for single ultrafiltration. In particular, UVA_{254} removal was very low, 41% on average, nearly the same as for the membrane alone. This indicated that almost no aromatic organic matter had been removed with the pre-

treatment. Concerning DOC removal (30%), the figures were better that UVA_{254} but again insufficient. Effluents with such organic matter contents would require chlorine addition to avoid bacterial growth in the distribution networks and this in turn could generate DBPs, potentially toxic for human consumption (Rojas et al., 2010). Also, the average colour removal was only 67%, a mere 12% higher than without pre-ozonation, very far from the high yields expected for colour degradation.

From the null effect of increasing the initial ozone dose from 5 to 25 g O_3/Nm^3, it could be deduced that for such organic matter influent concentrations much greater ozone doses would be necessary. Additionally, the figures indicate that the ozone transfer would have been insufficient as well. According to Eq. (1), for a given gas-to-liquid ratio, TOD can be increased by minimizing the residual ozone concentration and/or raising the one at the inlet. On the one hand, higher retention times should have been tested to increase the ozone-water contact and consequently ozone dilution, which would have helped minimize the off-gas concentration, but this was not possible since no further operational height was available in the facility. On the other hand, lower operating temperatures (Langlais, Reckhow, & Brink, 1991) would have allowed greater ozone solubility in water, but this option was disregarded form the beginning as it involved excessive energy consumption. Another option would have been to increase the initial ozone dose to over 25 g/Nm^3, the maximum allowed by the ozone generator. However, this dose was already equivalent to 0.53 (mg/mg) O_3:DOC ratio, which should be sufficient according to other researchers (Mozia, Tomaszewska, & Morawski, 2006), who had reported good results with 0.6 (mg/mg) O_3:TOC ratios. By contrast, Byun et al. (2011) only reached 26% DOC rejection with 0.9 (mg/mg) O_3: DOC ratios. The explanation for this discrepancy is the different DOC content in the influents used by the different authors: Mozia et al. worked with 4.8 mg DOC/L influents while Byun et al. worked with 11.7 mg/DOC/L. Therefore, our results are consistent with both, since the average DOC in the influent was 7.5 mg/L and 29% membrane rejection was reached, values in between those reported by the aforementioned authors. In addition, Siddiqui et al. (Siddiqui, Amy, & Murphy, 1997) reported that increasing ozone doses beyond an O_3:DOC ratio of 1:1 does not result in significant reductions in DOC, in agreement with other authors and our own results.

According to these results, further research with a longer contact time and greater initial doses should be performed in order to reach potentially better effluent qualities. However, although the economic feasibility of the process lies beyond the scope of this study, pre-ozonation is not *a priori* a recommendable option because of the high investment required with a potentially modest effluent-quality upgrade.

3.2 Membrane fouling

The influence of pre-ozonation on membrane fouling was more significant than on the resulting water quality. Single ultrafiltration fouling velocity was $-5.0 \cdot 10^{-6}$ bar/s on average with coefficients of determination, R^2, close to 0.99. In addition, average TMP increments were on the order of -0.07 bar. By contrast, the average fouling velocity achieved during pre-ozonation was $-1.8 \cdot 10^{-6}$ bar/s. The coefficients of determination were strong but slightly weaker than for single ultrafiltration, between 0.85 and 0.9. Moreover, the TMP increments were around -0.02 bar, substantially lower than without pre-treatment.

Other researchers also found that the application of ozone prior to ultrafiltration enhanced membrane performance (Kim et al., 2008; Lee, Lee, Wan, & Choi, 2005). However, the most remarkable finding was that the ozone dose did not affect membrane fouling, either, as opposed to other reports (Szymanska, Zouboulis, & Zamboulis, 2014). There were statistically significant differences among the values found, but these differences could not be attributed to the ozone doses applied, as the oscillations followed no pattern (Table 3).

Table 3. Fouling rates for the different ozone doses tested

Ozone dose (g O_3/Nm^3)	Fouling rate (bar/s)
0	$-5.00 \cdot 10^{-6}$
5	$-1.69 \cdot 10^{-6}$
10	$-1.95 \cdot 10^{-6}$
15	$-2.00 \cdot 10^{-6}$
20	$-1.77 \cdot 10^{-6}$
25	$-1.84 \cdot 10^{-6}$

The differences in the fouling rates were due to the fact the TMP data were registered every 20s and backwashing duration was 30s, and therefore the data differed depending on how close to the backwashing the first data was registered. Further experiments should be performed with smaller register frequency, for example 5s, so that the information is more accurate. In any case, these differences were minimum and did not alter the average fouling rate, pre-ozonation helping to delay membrane fouling and to control its effects.

4. Conclusions

The application of ozonation as a pre-treatment for drinking-water production by ultrafiltration membranes slightly improves the resulting effluent quality. However, the upgrade achieved is not sufficient when treating low-quality influents. UVA_{254} removal is nearly the same as for the membrane alone, indicating that almost no aromatic organic matter can be removed with the pre-treatment. In addition, average DOC removal is only 29% regardless of whether the ozone dose is increased from 5 to 25 g O_3/Nm^3, equivalent to TOD between 0.8 and 4.0 mg O_3/L. These findings call into question the suitability of ozonation as pre-treatment for ultrafiltration applied to drinking water production and suggest that other processes should be applied instead. Nonetheless, pre-ozonation helps delay membrane fouling, reducing the average fouling rate by almost 3-fold respect to single ultrafiltration, as the lower daily TMP increments demonstrated as well.

References

Baker, R. W. (2004). *Membrane Technology and Applications*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/0470020393

Byun, S., Taurozzi, J. S., Alpatova, A. L., Wang, F., & Tarabara, V. V. (2011). Performance of polymeric membranes treating ozonated surface water: Effect of ozone dosage. *Separation and Purification Technology*, *81*(3), 270–278. doi:10.1016/j.seppur.2011.07.021

Gao, W., Liang, H., Ma, J., Han, M., Chen, Z., Han, Z., & Li, G. (2011). Membrane fouling control in ultrafiltration technology for drinking water production: A review. *Desalination*, *272*(1-3), 1–8. doi:10.1016/j.desal.2011.01.051

Huang, H., Schwab, K., & Jacangelo, J. G. (2009). Pretreatment for Low Pressure Membranes in Water Treatment : A Review. *Environmental Science & Technology*, *43*(April), 3011–3019. doi:10.1021/es802473r

Kim, J., Davies, S. H. R., Baumann, M. J., Tarabara, V. V., & Masten, S. J. (2008). Effect of ozone dosage and hydrodynamic conditions on the permeate flux in a hybrid ozonation–ceramic ultrafiltration system treating natural waters. *Journal of Membrane Science*, *311*(1-2), 165–172. doi:10.1016/j.memsci.2007.12.010

Laîné, J. M., Vial, D., & Moulart, P. (2000). Status after 10 years of operation - overview of UF technology today. *Desalination*, *131*(October), 17–25. doi:10.1016/S0011-9164(00)90002-X

Langlais, B., Reckhow, D. A., & Brink, D. A. (1991). *Ozone in Water Treatment. Application and Engineering*. (B. Langlais, D. A. Reckhow, & D. A. Brink, Eds.) (First.). Boca Raton, Florida, USA: Lewis Publishers.

Lee, S., Lee, K., Wan, W. M., & Choi, Y. (2005). Comparison of membrane permeability and a fouling mechanism by pre-ozonation followed by membrane filtration and residual ozone in membrane cells. *Desalination*, *178*(1-3), 287–294. doi:10.1016/j.desal.2004.11.040

Mozia, S., Tomaszewska, M., & Morawski, A. W. (2006). Application of an ozonation–adsorption–ultrafiltration system for surface water treatment. *Desalination*, *190*(1-3), 308–314. doi:10.1016/j.desal.2006.03.001

Regula, C., Carretier, E., Wyart, Y., Gésan-Guiziou, G., Vincent, a., Boudot, D., & Moulin, P. (2014). Chemical cleaning/disinfection and ageing of organic UF membranes: A review. *Water Research*, *56*, 325–365. doi:10.1016/j.watres.2014.02.050

Rojas, J. C., Moreno, B., Garralón, G., Plaza, F., Pérez, J., & Gómez, M. a. (2010). Influence of velocity gradient in a hydraulic flocculator on NOM removal by aerated spiral-wound ultrafiltration membranes (ASWUF). *Journal of Hazardous Materials*, *178*(1-3), 535–40. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.01.116

Rojas-Serrano, F., Álvarez-Arroyo, R., Pérez, J. I., Plaza, F., Garralón, G., & Gómez, M. A. (2015). Ultrafiltration membranes for drinking-water production from low-quality surface water : A case study in Spain. *Membrane Water Treatment Journal*, *6*(1), 77–94. doi:10.12989/mwt.2015.6.1.077

Schlichter, B., Mavrov, V., & Chmiel, H. (2004). Study of a hybrid process combining ozonation and microfiltration/ultrafiltration for drinking water production from surface water. *Desalination*, *168*, 307–317. doi:10.1016/j.desal.2004.07.014

Siddiqui, M. S., Amy, G. L., & Murphy, B. D. (1997). Ozone enhanced removal of natural organic matter from drinking water sources. *Water Research*, *31*(12), 3098–3106.

Szymanska, K., Zouboulis, A. I., & Zamboulis, D. (2014). Hybrid ozonation–microfiltration system for the treatment of surface water using ceramic membrane. *Journal of Membrane Science*, *468*, 163–171. doi:10.1016/j.memsci.2014.05.056

Xu, P., Janex, M. L., Savoye, P., Cockx, A., & Lazarova, V. (2002). Wastewater disinfection by ozone: Main parameters for process design. *Water Research*, *36*, 1043–1055. doi:10.1016/S0043-1354(01)00298-6

04-009

LIFE CYCLE THINKING APPLICATION ON PROJECTS MANAGEMENT IN MINAS GERAIS GOVERNMENT: A CASE STUDY OF POLE OF ENVIRONMENTAL INNOVATION PROJECT

Oliveira Barros, Filipe Marinho; Collado Ruiz, Daniel; Capuz Rizo, Salvador
Universitat Politècnica de València

The Government of Minas Gerais, in its strategic plan 2011-2014 established the sustainable economic development as one of its strategies and in this context born the Pole of Excellence in Environmental Innovation (PEEI). A major challenge in the environmental projects development field is integration and achieving multi-stakeholder consensus for collaborative joint projects to decision making. A critical aspect in the decision making process is to enable stakeholders to not only interpret and make decisions based on politicians judgments, but also to appropriately involve many sector to decision making process. Therefore, scientific analyses in multi-stakeholder contexts can assist responsible decision making in environmental and innovations public projects. As the main goal of this paper is presents an outline of a Life Cycle Thinking to support sustainable decision making in multi-stakeholder contexts to innovation and environmental public projects. The framework is discussed and compared to other common methods used to support environmental decision making in development projects. We argue that the fundamental concept of life cycle thinking can be effectively used to incorporate stakeholders in the research and decision making process, which can lead to more comprehensive, yet achievable assessments in collaboration with stakeholders.

Keywords: *Stakeholders; Life Cycle Thinking; policy making*

APLICACIÓN DEL LIFE CYCLE THINKING EN PROYECTOS DEL GOBIERNO DE MINAS GERAIS: CASO DE ESTUDIO DEL POLO DE INNOVACIÓN AMBIENTAL

El Gobierno de Minas Gerais, en su plan estratégico 2011-2014 establece el desarrollo económico sostenible como una de sus estrategias y en este contexto nace el Polo de Excelencia en Innovación Ambiental (PEIA). Un reto importante es la integración y el logro de un consenso de múltiples stakeholders para proyectos conjuntos en la toma de decisiones. Un aspecto crítico en el proceso de toma de decisiones es permitir a los stakeholders, no sólo interpretar y tomar decisiones basadas en juicios políticos, sino involucrar adecuadamente a muchos sectores. Así, los análisis científicos de múltiples stakeholders pueden ayudar en decisiones responsables en proyectos públicos ambientales y de innovación. El objetivo principal de este trabajo es presentar un esbozo de la utilización del "Life Cycle Thinking" (LCT) para apoyar la toma de decisiones sostenible en contextos de múltiples stakeholders a proyectos públicos ambientales. Se discute el marco y en comparación con otros métodos comunes usados para apoyar la toma de decisiones ambientales en los proyectos de desarrollo. Se argumenta que el LCT se puede utilizar con eficacia para incorporar los stakeholders en el proceso de investigación y toma de decisión, que puede conducir a una evaluación más completa, en colaboración con los stakeholders.

Palabras clave: *Stakeholders; Life Cycle Thinking; Elaboración de Políticas*

Correspondencia: Filipe Barros fiolbar1@alumni.upv.es

1. Introduction

The Planet is currently confronted with the deterioration of the natural resources, and this is mostly due to human activities and massive manufacturing around the world. This causes great impact on the planet. To confront such environmental and sociological aspects it is necessary not only rethink our production system globally but also the way of design, construction, consumption and governance (Tyl, *et al* 2011).

Taking into account environmental issues in product or service design is a critical step in the direction of a responsible design. Companies traditionally take into account technical and economic criteria first, but sustainability aspects like eco-design, Life Cycle Thinking (LCT), Life Cycle Assessment (LCA) start to be important on decision making (Tyl, *et al* 2011).

The most common environmental assessment methods such as environmental impact assessment (EIA), social impact assessment (SIA), and life cycle assessment (LCA) are generally carried out for one specific stakeholder to assist their decision making to turn their practices more sustainable or greener. In community development, however, sustainable planning requires the commitment of a number of stakeholders in different disciplines. This case can apply to many organizations like a regional (State) government. (Bradley K., Rochlin A., 2000 and ADB 2005).

Life Cycle Thinking (LCT) is about going beyond the traditional focus and production site and manufacturing processes to include environmental, social and economic impacts of a product over its entire life cycle. The main goals of LCT are to reduce a product resource use and emissions to the environment, as well as to improve its socio-economic performance through its life cycle. This may facilitate links between the economic, social and environmental dimensions within an organization and through its entire value chain. (UNEP, 2009)

The basis of the LCT perspective is the Life Cycle Assessment and the norm ISO 14040 (ISO, 2006) defines Life Cycle Assessment (LCA) as a “compilation and evaluation of the inputs, outputs and the potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle”. In some cases, additional variables must be considered, such as additional positive outputs or how much part of a process impact should be assigned to each one of the products or services. Choosing a relevant allocation method for environmental impacts becomes critical and the social aspects further analysis (Collado-Ruiz *et al, 2010*).

- LCT in stakeholder project: In contemporary sustainable planning and policy, the paradigm is that the community is at the center of the process and the stakeholders, including the community, are empowered to influence and share control over development initiatives, decisions, and the resources affecting them (Allen W. & Kilvington M., 1999). In this context, science is challenged to work with the community and the respective stakeholders to enable them to identify and interpret broad environmental issues interlinked with economic and social aspects, and support decision making for long lasting development solutions within the

community's capabilities (Van MB., Rijkens-Klomp N., 2002). This has led to efforts to propose scientific analyses, e.g., environmental assessment methods in stakeholder contexts of Pole of Environmental Innovation of Secretary of Science, Technology and High Education of Minas Gerais State-Brazil, more transparent, participatory, to provide useful information to assist responsible decision making to government projects (Kasemir B. et al, 1999).

- Challenges in public projects: In stakeholder contexts with different interests, the fundamental concept of life cycle thinking can be effectively used to incorporate stakeholders in the assessment and decision making and policy making process which can lead to more comprehensive, yet simple and fluent assessments together with the stakeholders. Life cycle thinking is a way to examine environmental impacts of activities, but also a way to comprehend and visualize a broader set of upstream and downstream consequences of decisions in development planning and implementation (Lanka T. et al, 2009). In this case, to implement LCT in a governmental project management was followed the perspectives: assess internal and external environment. This perspective was chosen because the knowledge of LCT was very low and would be necessary to mapping the project with a internal and external views. The ability to break down activities in life cycle stages with the flexibility to inventory economic, social, and environmental aspects and evaluation of this aspects to influence in a better public policy making, can be very useful for stakeholders (Akai M., 1999 and UNEP-SETAC, 2006). A life cycle framework including the mapping of stakeholder involvement at each activity in upstream and downstream stages would give stakeholders a holistic view of issues that they otherwise may not have (Figure 01). It could identify their specific roles in relation to the roles of other stakeholders, the resources required from stakeholders for each project, and the costs and benefits of decisions. This perspective is particularly suited for programs and projects that go beyond sector limits like allocation problems in many cases, which is a timely need in the development field and can potentially enable sustainable development by providing a basis for consensus building in joint programs and projects (Innes JE., 1996). In many situations, the consensus and the decision making between public projects and institutions are not effective and efficient and the big part of the projects have no continuous work.

-The Case of Pole of Environmental Innovation: This project from Minas Gerais State in Brazil, whose goal is foment your direct stakeholders like companies and institutions from Minas Gerais State, to integrate a LCT perspective in your management projects to create a culture of life cycle view of the specifically process or product or services and foment the use of new technologies of low carbon (cleantech), where economically viable. This goal would be achieved facilitating the connections between Universities and companies inside and outside of Minas Gerais where help to implement this life cycle vision and connect with different green technologies to improve some process. The application of assess have a regional character, focused on zone interference of the Pole, the Metropolitan Region of Belo Horizonte, Brazil.

When governments design policy, negotiate voluntary agreements with industry, decide where to invest resources, commission new office buildings, or even purchase paper for offices, LCT can be used. Measuring potential life cycle impacts of decisions can help governments to in their efforts to:

• Inform government programs and help priorities these programs, based on life cycle information.

• Make policies more consistent among consumers, producers, suppliers, NGO´s, public and private companies, retailers, and also among different policy instruments (e.g. harmonising regulations, voluntary agreements, taxes, and subsidies).

• Promote pricing products and services to accurately reflect the costs of environmental degradation, health problems, reduction of social welfare, and impacts at other projects and production life cycle stages. Such a policy can provide incentives for consumers and businesses to continuously improve the environmental and social performance of products or services, across each stage of the life cycle.

This paper presents an outline of a management project and life cycle thinking (LCT) approach, that can be used to support sustainable decision making in public institution namely on the project cited above using the strategy of assess internal environmental and assess external environment of the own governmental projects and foment the use of this methods in small regional companies from metropolitan region of Belo Horizonte.

Two environmental assessment methods frequently used in project assessment, namely Environmental Impact Assessment (EIA) and Social Impact Assessment (SIA), are reviewed, the strengths and weaknesses of these methods, including their adoption of participatory approaches, are evaluated relative to the needs in stakeholder contexts. Criteria are used to evaluate the methods' applicability in a stakeholder integrated development planning process. Then, using the same criteria, a life cycle approach called assess internal environment and assess external environment was used to present the manage process of the Pole projects.

2. State of the Art

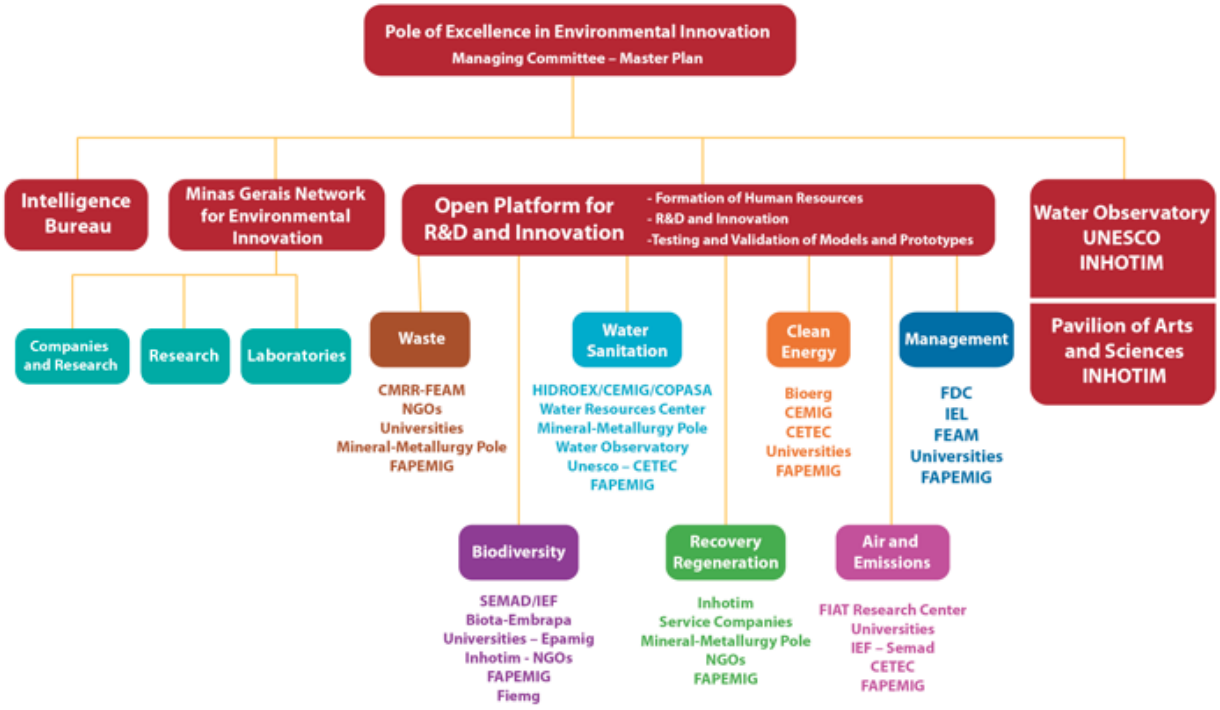
2.1 Life Cycle Thinking in stakeholders contexts

According with Hajer and Wagenaar (2003), stakeholder means the inclusion of multiple perspectives sharing individual concerns with each other rather than focusing simply on the needs of only one stakeholder. Stakeholder contexts in development involve various actors from national governmental organizations, international organizations, civil society, and the private sector encompassing various disciplines such as urban development, land and natural resource management, mine industry and cleantech sector.

When we talk about application of Life Cycle Thinking and Life Cycle Assessment on government projects, in cross-sectoral integrated planning process, this can be effectively to analyze upstream requirements and downstream consequences and results of strategies while improving collaboration in joint environmental projects.

In an integrated planning process, life cycle thinking could be applied in concert with the stakeholders in multiple stages to, for example, set goals, analyze and assess the current state and the distance to the target goals for the development, assess alternative scenarios, develop and select between alternative implementation strategies, and develop indicators for monitoring and evaluating outcomes. For this, the first step, was created a intelligence bureau (Figure 1), a software platform to connect some projects from govern and approach of the new technology and best practices on the time.

Figure 1: First step of LCT implementation, focusing in Intelligence Bureau. (provided by master document of PIA project)



3. Common methods to environmental and social decision making and implementation of life cycle thinking

One of the major challenges on public project is to promote planning common or joint activity programs in manageable scales so that the interlinked interests and sectors can be integrated, reducing the conflicts in implementing projects and achieving the common goal based in three sustainable aspects: economic, social and environmental points applied on regional (state) community**.** These plans can be based in the two consensual methods of sustainable projects, (1) environmental impact assessment (EIA) (2) and social impact assessment (SIA) (Lanka T. et al, 2009). Each attempt to achieve the objective of ensuring that sustainability aspects are

considered within the entire planning, project and policy-making cycle was used on Pole experience.

To integrating sustainability aspects, making methods useful for stakeholders collaboration and cross-sectoral integration in joint projects is a important aspect in sustainability planning.

3.1 Environmental Impact Assessment

Environmental impact assessment (EIA) is a collection of procedures used to formulate decisions and serves as a guide, which offers an orderly, replicable, and cross-disciplinary assessment of possible bio-physical, cultural, social, and economic impacts of a future activity (INECE, 2013). This assess is accepted as a method that can contribute to richer a conceptual understanding a life cycle thinking and sustainable development. However, many stakeholders understand EIA is performing unsatisfactorily in practice, specially when talk about Government sectors (Sheate WR 2003; Benson JF., 2003).

The ability to incorporate scenario and strategy development in addition to assessment is difficult and not intuitive. Many EIA applications are single-project-based, involving only direct stakeholders (World Bank, 1991). Indirect stakeholders and inter-linkages of activities are harder to represent. Hence, EIA is considered to be a good way to assess a selected project, but not as well suited to reducing uncertainty and transaction costs and achieving the commitment of multiple government stakeholders in joint projects for sustainable development, (UNDP China, 2002).

3.2 Social Impact Assessment

In participatory approaches to Social Impact Assessment (SIA), affected communities observe that their knowledge and experience are appropriately recognised in impact assessments, helping to establish legitimacy and trust among the various parties (Van Scooten 2003).
Yet SIA generally remains a sub-component of environmental impact assessment, and the resources devoted to it are small relative to the biophysical assessment process. In addition, while SIA is considered important by governments, proponents will often seek to meet the minimal requirements of under-resourced and capacity-constrained regulating bodies (Esteves et al, 2012). One of the objectives of an SIA is analyzing how a project may affect people, and how a social change could be better managed (UNEP, 2003). However, other experts have defined SIA as having an initial phase that includes problem analysis and project design, and a main phase that includes scenario and strategy development, assessment of impacts, ranking of strategies, and evaluation (Becker HA 2001). Similar to EIA, it is used for sectoral project-based analysis, and does not necessarily reduce uncertainty and transaction costs, nor does it facilitate achieving the commitment of multiple stakeholders for joint project development.

Further variability may derive from the inconsistency of authorship of SIAs, which may be carried out by the many institutions themselves or by appointed consultants with varying degrees of independence. To this end, some SIAs represent little more than social profiles of

the affected communities, drawing on publicly available data without additional inspection of context or issues that resource development may bring (Esteves et al. 2012).

The evaluation of these two methods indicates that multiple separate assessments, which would typically be project-based, would be required for an integrated sustainability assessment. Using multiple methods has led to increased complexity and dissimilar interpretations by the various stakeholders (Thabrew. L 2009). Inherent limitations in the methodologies, especially for providing a holistic view of the issues and problems, motivated the current research and the development of a technique which can accommodate transparent simple analysis, integrate sustainability aspects, stakeholder knowledge, and stakeholder participation throughout the planning process, and communicate results through easily understood indicators (Table 1).

To contrast the common method to assessment the typical project-base we used to complement this way the methods of: (i) Assess internal environment and (ii) assess external environment. This methods was used to start the process of implementation of Life Cycle Thinking on this specific governmental Project.

(i) Assess internal environment (AIE)

Understanding the internal context is essential to confirm that meets needs of the institution and of its internal stakeholders (EMPG, 2011). It is the environment in which the institution operates to achieve its objectives and which can be influenced by the institution to manage projects, this may include:

- the capabilities, understood in terms of resources and knowledge (e.g., capital, time, people, processes, systems, technologies);
- information systems, information flows and decision making processes;
- internal stakeholders;
- the policies, objectives and strategies in place to achieve them;
- perceptions, values and culture;
- standards and reference models adopted by the institution; and
- structures (e.g., governance, roles and accountabilities).

(ii) Assess external environment (AEE)

Understanding the external context is important to ensure that external stakeholders, their objectives and concerns are considered. The external context is the environment in which the institution seeks to achieve its objectives and may include:

- the cultural, political, legal, regulatory, financial, technological, economic, natural and competitive environment, whether international, national, regional or local;
- key drivers and trends having an impact on the institution's objectives; and
- the perceptions and values of external stakeholders.

Table 1: Comparison of assessment methods in stakeholders using a life cycle thinking perspective

	Criteria	Method	
		EIA	**SIA**
1	Stakeholder involvement in all stages	No	Yes
2	Assess all dimensions of sustainability	Yes	Yes
3	Assess alternative scenarios	To a moderate extent	Yes
4	Transparent assessment and results	To a limited extent	To a moderate extent
5	Consider holistic view of issues	No	No
6	Adapt to data scarce situation	Yes	Yes
7	Deal with cross-sectoral issues and highlight inter-linkages	To a limited extent	To a limited extent
8	Accommodate strategy building	No	Yes
9	Promote consensus building	To a moderate extent	To a moderate extent
10	Clear and easy communication of results	To a limited extent	To a moderate extent

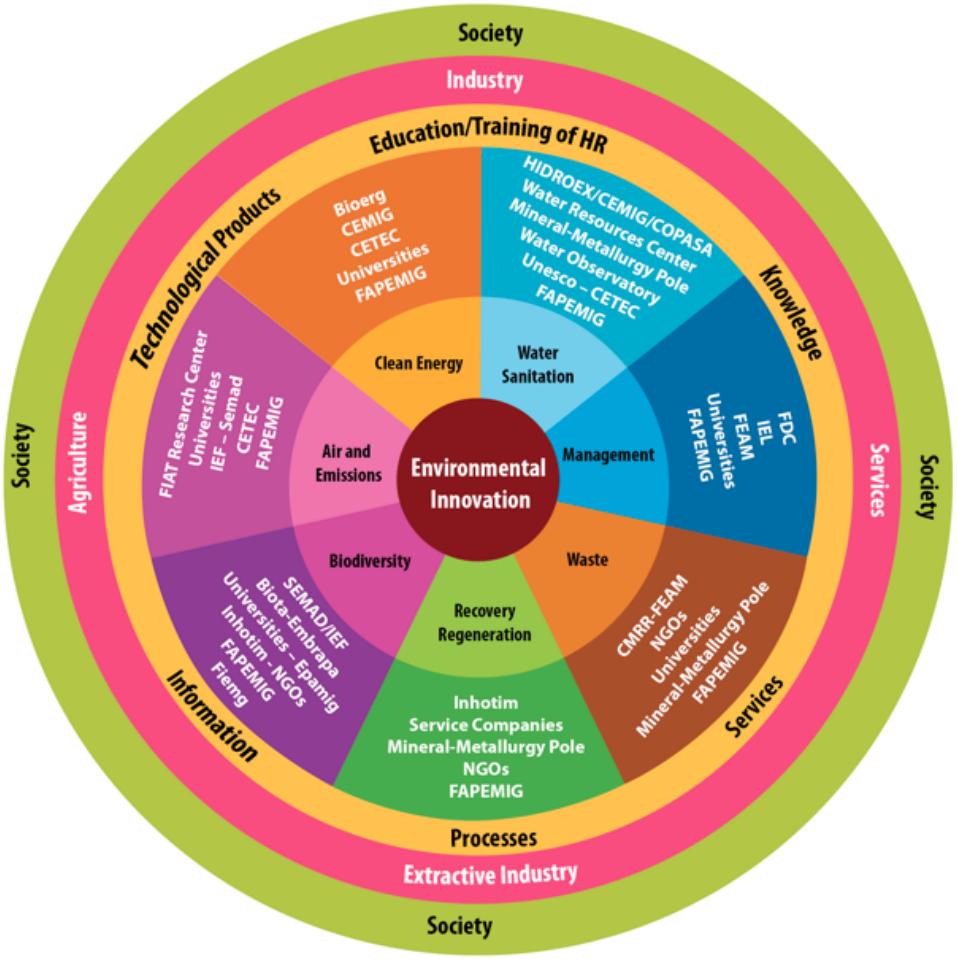
Scale: No (no applicable of method); Yes (applicable to the method); To a moderate extend (applicable using this criteria, but no for all kinds of projects) and To limited extend (applicable a limited extent using determinate criteria)

5. Overview and partial results of the project

Established national or local standards, recommendations, or regulations can be used to establish a set of metrics, conceptually based on the distance of the current state to targets set by the standards. The Pole of Environmental Innovation, mapped the stakeholders and related activities as well as the resulting economic, social, and environmental impacts will enable the stakeholders to expand their thinking and, therefore, potentially expand their contributions towards the issues that may promote or hinder sustainable development within a local and national sustainable projects (Figure 2).

The impacts are qualitative or quantitative depending on data availability and the nature of the project impact. This in turn is expected to assist stakeholder agreement on the most pressing problems in a market or in a community, and encourage stakeholder commitment and cooperation towards developing joint programs and projects which fit well with community needs and aspirations, available resources, and adoptable LCT view on your managed projects.

Figure 2: Systematic view map of multi-stakeholders of the Pole of Environmental Innovation. (provided by master document of PIA project)



The data and information of the others projects of Pole, in different regions and areas, can be reused in other projects, gradually lessening the data collection required for sustainable decision making. In many cases, this process would be incremental, with the full application of the life cycle framework occurring over time. For this reason, we believe that highlight of Life Cycle Thinking, focus on internal and external assess is a method of evaluating alternative and the close collaboration required among stakeholders in many different sectors in order to address the environmental, social and economic view of the sustainability of the governmental project.

6. Conclusion and outlook

The management in governmental projects has a particular perspective, many small companies show interest in implement in your management project environmental process, but in general did not know the life cycle view of your process and the goals of this project present new ideas and future perspectives for the process management of this companies. For this reason we suggest the use and application of stakeholder management in a context of Life Cycle Thinking. This perspective can give a new view of public projects and benefits own project and others government stakeholders. In this case, the relationship between other public sectors, companies and institutions is clear when will accord a real project and involve spend of time and money. Whenever a problem or challenges relates a several stakeholders, it is likely to have a complexity that cannot to be handled by one actor. In this situation the institution should adapt an issue-objectives stakeholder management using the life cycle perspective to solve the problem by communication and collaboration between the stakeholders of the issue (Mitchell et al., 1997).

However, currently used tools for environmental decision making are limited in their ability to adequately address the needs of the stakeholders in many situations. This leads to challenges in planning and implementing projects, particularly when stakeholder collaboration across traditional planning sectors is required.
Life Cycle Thinking, must be flexible and work with limited as well as rich data sets, have a life cycle perspective while identifying the dependencies between sectors, assess multiple aspects of sustainability and be able to generate alternative scenarios and strategy building for implementation to the management projects of the Pole.

Generating information both quantitative and qualitative together with the stakeholder knowledge contributes significantly to improved understanding and increased transparency. This may lead to reduced uncertainty and transaction costs, and build consensus among stakeholders. Life Cycle Assessment with its underlying concept of Life Cycle Thinking can be both an assessment as well as a consensus building tool in an integrated development planning process in many sectors of public administration, starting from an environmental projects like the Pole of Environmental Innovation.

7. References:

ADB. (2005). Promoting cross sectoral actions to achieve the health MDGs. In: Proceedings of the high level forum on the health MDGs in Asia and the Pacific. Tokyo (Japan).

Allen, W., Kilvington, M. (1999). Why involving people is important: the forgotten part of environmental information system management. Landcare Research, NZ. Presented at the 2nd International Conference on Multiple Objective Decision Support Systems for Land, Water and Environmental Management (MODSS ‘99). Brisbane (Australia).

Akai, M. (1999). Economic valuation in LCA-potential in supporting decision making, Proceedings of the International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing. Tokyo (Japan).

Becker, H. A. (2001). Social impact assessment. European Journal of Operational Research, 21,128:311.

Benson, J.F. (2003). What's the alternative? Impact assessment tools and sustainable planning. Impact Assessment and Project Appraisal; 21(4):261–6.

Bradley, K., Rochlin, S. A. (2000). Creating the partnership society: understanding the rhetoric and reality of cross-sectoral partnerships. Business and Society Review; 105(1):127–44.

Collado-Ruiz, D,, Blanco, B,, Ceca, M.J., Cebolla, R., Capuz, S. (2010): Allocation in carbon footprinting: Considering biogenic carbon. XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Huesca - CIIP11_1094_1106.3324.

Emergency Management Planning Guide 2010–2011 (EMPG 2011) (internet). Section 3/2-1. last view 2015-03-03. http://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrcs/pblctns/mrgnc-mngmnt-pnnng/index-eng.aspx.

Esteves, A. M., Franks, D., Vanclay, F. (2012). Social impact assessment: the state of the art. Imp Assess Proj Appraisal. [Internet] 30(1):34–42. Available from: http://dx.doi.org/10.1080/14615517.2012.660356.

Hajer, M. A., and Wagenaar, H. (eds.): (2003). Deliberative Policy Analysis. Understanding Governance in the Network Society (University Press, Cambridge).

INECE. (2013). Environmental impact assessment. Washington, D.C.: INECE. http:// inece.org/EIA/5FAQS.htm Accessed 16.09.10.

Innes, J. E. (1996). Planning through consensus building: a new view of the comprehensive planning ideal. Journal of the American Planning Association; 62, 460–72.

ISO (2006). ISO 14040, Environmental Management – life cycle assessment – Principles and framework.

Kasemir, B., Van Asselt M. B. A., Dqrrenberg, C., Jaeger, C. C. (1999). Integrated assessment of sustainable development: multiple perspectives in interaction. International Journal of Environment and Pollution. 11(4):407–25.

Lanka, T., Arnim, W., Robert, R. (2009) Environmental decision making in multi-stakeholder contexts: applicability of life cycle thinking in development planning and implementation. Journal of Cleaner Production 17, 67–76.

Mitchell, R. K., Agle, B.R., and Wood, D. J. (1997). Toward a Theory of Stakeholder Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What really Counts. Academy of Management Review, 22 (4), 853-886.

Sheate, W. R. (2003). EIA: there's life in the old dog yet – response to Benson. Impact Assessment and Project Appraisal. 21(4):273–4.

Thabrew, L., Wiek, A., Ries, R. (2009). Environmental decision making in multi-stakeholder contexts: applicability of life cycle thinking in development planning and implementation. Journal of Clean Production 17, 67-76.

Tyl B., Legardeur J., Millet D., (2011). l'apport de la créativité en éco-innovation, 12ème Colloque National AIP PRIMECA, Le Mont Dore – 29 mars- 1er avnir.

UNDP China. (2002). Social impact assessment survey of the China west–east gas pipeline project. Overall Report. China: United Nations Development Program (UNDP).

UNEP/Life Cycle Initiative. (2009). Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products: Social and socio-economic LCA guidelines complementing environmental LCA and Life Cycle Costing, contributing to the full assessment of goods and services within the context of sustainable development, P.5.

UNEP-SETAC Life Cycle Initiative. (2006). Feasibility study: integration of social aspects into LCA. Task Force Report. Freiburg (Germany).

UNEP. (2003). UNEP initiative on capacity building for integrated assessment and planning for sustainable development. Division of Technology, Industry and Economics: 11-13 Chemin des Ane´mones, CH-1219 Chaˆtelaine, Geneva 10, Switzerland.

Van Asselt, M. B, Rijkens-Klomp, N. (2002). A look in the mirror: reflection on participation in integrated assessment from a methodological perspective. Global Environmental Change,12,167–84.

Van Scooten M., Vanclay, F., Slootweg, R. (2003). Conceptualizing social change processes and social impacts. In: Becker & Vanclay (eds), The International hadlook of social impact assessment. Cheltenham, Edward Elgar, pp 74-91.

World Bank. (1991). Environmental guidelines environmental assessment source-book, vols. I–III. Washington DC (USA).

04-010

SPATIAL VALIDATION OF TEMPERATURE DATA FROM THE AGROCLIMATIC INFORMATION NETWORK OF ANDALUSIA

Estévez Gualda, Javier [1]; Gavilán Zafra, Pedro [2]; García-Marín, Amanda P. [1]; Herrera Grimaldi, Pascual [1]

[1] Universidad de Córdoba, [2] IFAPA Córdoba

Spatial validation of meteorological data is based on the application of quality control procedures using data from neighboring stations to assess the validity of data from candidate station (the station of interest). These kinds of tests are called in literature as spatial consistency tests. Spatial consistency tests compare a station's data against the data from a reference series, generated from neighboring stations. They involve the use of neighboring stations to make an estimate of the measurement at the candidate station. This estimate can be formed by weighting according to distance separating the stations, correlation coefficient, etc. The test applied in this work -based on statistical decisions- use a weight according to the root mean square error. The results of the application of this test to maximum, minimum and mean temperature data from the Agroclimatic Information Network of Andalusia are summarized in this work. This quality control procedure is able to take decision, based on a factor f, the fraction of potential outliers for each station. Using GIS techniques, the geographic distribution of the errors detected is also analyzed.

Keywords: *validation; temperature; spatial regression test ; quality assurance*

VALIDACIÓN ESPACIAL DE DATOS DE TEMPERATURA EN LA RED DE INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA DE ANDALUCÍA

La validación espacial de datos meteorológicos consiste en la aplicación de procedimientos de control de calidad empleando datos de estaciones vecinas para asegurar la fiabilidad de los datos que se generan en la estación candidata (cuyos datos se pretenden validar). Este tipo de métodos de validación se conocen como tests de coherencia o consistencia espacial. Se trata de comparar los valores de la estación candidata con una serie de referencia, construida a partir de las estaciones cercanas. Existen varias formas de ponderar los valores o registros de cada estación vecina: en función de su distancia, de su coeficiente de correlación, etc. La ponderación basada en el error cuadrático medio es la que utiliza el test empleado en el presente trabajo, un test que está basado en decisiones estadísticas. Se muestran los resultados obtenidos tras su aplicación a todas las estaciones de la Red de Información Agroclimática de Andalucía. Las variables que han sido analizadas son: temperatura máxima, mínima y media. Este mecanismo nos permite decidir, en función de un factor, el porcentaje de potenciales 'outliers' para cada una de las estaciones. Mediante la integración de este test con herramientas SIG se han analizado la distribución espacial de los errores detectados.

Palabras clave: *validación; temperatura; test coherencia espacial; control de calidad*

Correspondencia: Javier Estévez Gualda jestevez@uco.es

1. Introducción

Actualmente se requieren datos climáticos de calidad para la mejora de la fiabilidad en las estimaciones y resultados de múltiples aplicaciones y modelos que se nutren de ellos (Shafer et al., 2000; Feng et al., 2004; Graybeal, 2006; Estévez et al., 2012). La validación de los datos meteorológicos asegura que la información se genera correctamente y permite identificar valores incorrectos y detectar problemas que requieran atención inmediata (Estévez et al., 2011b).

Una de las categorías dentro de los procesos de validación de datos meteorológicos son las técnicas o procedimientos de control de calidad que utilizan los registros de estaciones vecinas para compararlos con los datos de la estación que se pretende validar (candidata). Este tipo de métodos de validación se conocen como tests de coherencia espacial. En este sentido, recientemente se han desarrollado procedimientos de control de calidad para la validación de datos meteorológicos que utilizan múltiples estaciones. Los tests de coherencia espacial comparan los registros de la estación que se pretende validar (candidata) con los datos de estaciones vecinas (Wade, 1987; Gandin, 1988; Reek et al., 1992; Eischeid et al.,1995; Hubbard, 2001). Este tipo de procedimientos utilizan las estaciones cercanas para hacer una estimación de los datos que se registrarían en la estación candidata. Una técnica utilizada habitualmente es la técnica del inverso de la distancia, la cual pondera los valores de las estaciones cercanas en función del inverso de la distancia que separa la estación candidata de la estación vecina (Guttman and Quayler, 1990; Wade, 1987), con la desventaja de asignar –independientemente del tipo de variable y otras circunstancias- más peso a las más cercanas, obteniendo resultados no siempre satisfactorios (Hubbard y You, 2005). Sin embargo, el test de regresión espacial (Hubbard et al., 2005) que se ha usado en el presente trabajo para datos de temperatura no asigna el peso mayor a la estación vecina más cercana, sino que pondera los registros en función del error estándar de la estimación entre la estación candidata y cada una de las estaciones vecinas preseleccionadas. Es un procedimiento de validación complejo y está basado en decisiones estadísticas.

Este tipo de procedimientos tienen la ventaja de ser tests que se adecúan a las necesidades y características de cada red de estaciones meteorológicas y que tiene la capacidad de aumentar su eficacia a medida que las series temporales son mayores, ya que utiliza agregados estadísticos que dependen del número de registros. Tests basados en decisiones estadísticas como el de rango, salto o persistencia se han aplicado en Andalucía satisfactoriamente (Estévez et al., 2011a).

Básicamente se trata de aplicar un conjunto de algoritmos o reglas a cada registro, donde el procedimiento de validación aceptará el dato etiquetándolo como verdadero o rechazará el dato marcándolo como un valor anómalo, “outlier” o dato sospechoso. Esta hipótesis (H_0) de verificar cada registro y la decisión estadística de aceptarlo o marcarlo como potencialmente erróneo puede generar dos tipos de errores, tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de errores

Decisión Estadística	Situación verdadera	
	H_o verdadera	H_o falsa
Aceptar H_o	*Sin Error*	Error Tipo II
Rechazar H_o	Error Tipo I	*Sin Error*

Así pues, si el dato es válido y el test lo acepta o si el dato no es válido y el test lo rechaza, se puede afirmar que el test de validación está funcionando correctamente. Cuando un dato válido es rechazado por el test se produce un error Tipo I, y si el dato no es válido y el test lo acepta, se producirá un error Tipo II.

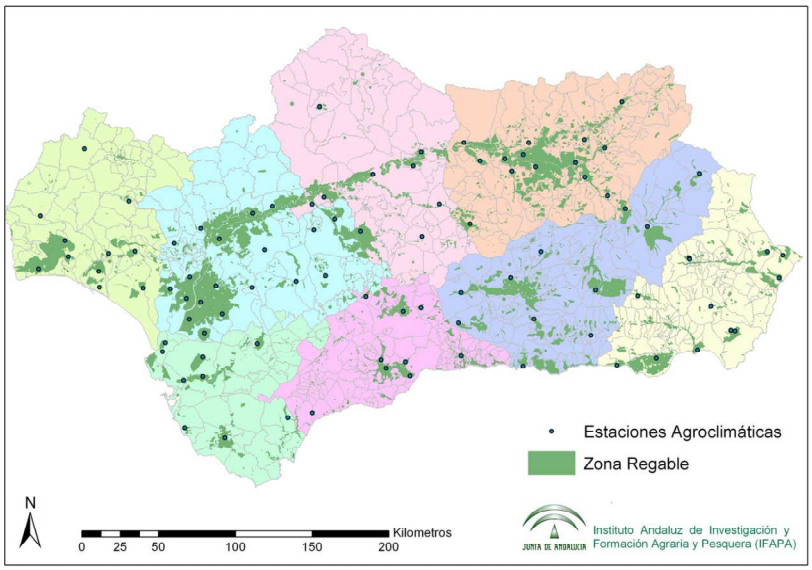
Supongamos la hipótesis de que el valor de una variable en concreto es válido sólo si está entre los límites ± 3 desviaciones típicas (σ) de la media (μ). Asumiendo una distribución normal, la hipótesis H_0 será aceptada en el 99,73% de los casos sin error. Los registros que se salgan de este intervalo definido como $\mu \pm 3\ \sigma$ serán rechazados generando errores Tipo I si hubiera registros válidos fuera de ese rango. En estos casos (H_0 es rechazada cuando los datos son válidos) se generarían errores Tipo I en un 0,27% de los casos, asumiendo que el conjunto de datos no tuviera valores erróneos. Si un registro "verdadero" se reemplazara por un valor "erróneo", la hipótesis será rechazada correctamente sólo si el valor "erróneo" está fuera del rango $\mu \pm 3\ \sigma$. Por el contrario, si la hipótesis fuera aceptada cuando el registro es "erróneo" se generaría un error Tipo II. De esta forma se puede comprobar cómo reduciendo los límites frente a los que se verifica cada uno de los datos, se producirán más errores Tipo I y menos errores Tipo II, mientras que ampliando el intervalo disminuimos los errores Tipo I y aumentamos los errores Tipo II. Para un correcto diseño de los procedimientos de validación basados en decisiones estadísticas es necesario conseguir un equilibrio donde se puedan reducir los errores Tipo II al mismo tiempo que no se incrementen los errores Tipo I. Es importante recalcar que debido a que los errores Tipo I no pueden ser evitados por completo, todos los administradores de sistemas de almacenamiento de datos meteorológicos deben guardar los registros originales independientemente de los resultados generados por los procedimientos de validación que se hayan aplicado.

2. Materiales y Métodos

2.1. Fuente de datos

El presente trabajo ha utilizado datos diarios de temperatura máxima, mínima y media procedentes de la Red de Información Agroclimática de Andalucía (Figura 1). El set de datos fue de 2000 a 2006 para un total de 86 estaciones. Las coordenadas de las mismas puede verse en Estévez et al. (2011a).

Figura 1: Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIAA): estaciones, provincias y zona regable



2.2. Test de coherencia espacial

El test de coherencia espacial se ha desarrollado utilizando una adaptación del test de regresión espacial utilizado por diversos autores con excelentes resultados en comparación con otros métodos (Hubbard et al., 2005; Hubbard y You, 2005).En este procedimiento se comprueba que los datos de la variable en cuestión se encuentren en el intervalo de confianza formado por los datos de una serie de referencia creada a partir de las estaciones vecinas. Se selecciona un número de estaciones (M) dentro de un radio de distancia predefinido a la estación candidata. Este radio fue de 50 km para la mayoría de los casos y de 80 km para aquellas estaciones rodeadas de un menor número de estaciones cercanas, de forma que M tomase un valor mínimo de 10 estaciones. Se realiza una regresión lineal de cada estación vecina con la estación candidata, para toda la serie de datos (Ecuación 1).

$$x_i = a_i + b_i y_i \tag{1}$$

donde a_i y b_i son los coeficientes de cada regresión lineal, y_i son los registros diarios de cada estación vecina y x_i son los valores preliminares estimados de la estación meteorológica candidata. Para cada regresión lineal se calcula el error estándar de la estimación (s_i), el coeficiente de determinación (R^2) y el resto de parámetros de la regresión. El índice i representa cada una de estas regresiones.

Los valores ponderados de la estimación de la serie de referencia (x') se obtienen utilizando el error estándar de la estimación, también conocido como la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) (Ecuación 2):

$$x' = \pm\left(\sum_{i=1}^{N} \pm x_i^2 s_i^{-2}\right)^{0,5} \left(\sum_{i=1}^{N} s_i^{-2}\right)^{-0,5} \tag{2}$$

donde N es el número de estaciones utilizadas en la estimación de la serie de referencia (generalmente el criterio para su elección es que tengan un R^2 superior a 0,5, que estén obviamente dentro del radio de distancia predefinido, y que la longitud de la serie sea consistente, en este trabajo no se han tenido en cuenta series inferiores a 3 años). Siguiendo las indicaciones de Hubbard et al. (2005) N se ha fijado en 5. Téngase en cuenta que siempre N<M. De manera que se han escogido las cinco estaciones cercanas cuyo error estándar de la estimación es menor.

El error estándar de la estimación ponderado (s') se calcula de la siguiente forma (Ecuación 3):

$$\frac{1}{s'^2} = N^{-1} \sum_{i=1}^{N} s_i^{-2} \tag{3}$$

A continuación, se establecen los intervalos de confianza para la aplicación del test a partir de s', donde se comprueba si el valor registrado en la estación candidata (x) está dentro de estos límites (Ecuación 4):

$$x' - fs' \leq x \leq x' + fs' \tag{4}$$

donde x' es el valor de la serie de referencia, f es un factor que toma diferentes valores y x es el dato de la variable que se está validando. Si cada registro cumple esta condición, el dato en cuestión pasa satisfactoriamente este test de coherencia espacial. Por el contrario, si es rechazado, pasará a ser un potencial 'outlier' y tendrá que ser verificado en la fase de inspección manual. En función de los diferentes valores que se le asignen al factor f, obtendremos un porcentaje determinado de potenciales 'outliers'. A medida que el factor f es mayor los potenciales errores detectados decrecen.

Debido a que los registros meteorológicos utilizados en este trabajo provienen todos de estaciones meteorológicos automáticas y se han integrado en una base de datos, se han podido realizar las comprobaciones previas para que las regresiones lineales sean consistentes. Es decir, cada pareja de datos utilizada en el modelo de regresión lineal corresponde a una misma fecha, y es idéntica para los dos registros (estación candidata y estación vecina). Es muy frecuente que al trabajar con series temporales que poseen gran cantidad de datos, existan lagunas o días puntuales en los que no existan registros.

Empleando esta metodología es posible preseleccionar el porcentaje de errores que el test puede detectar (Tipo I). De esta forma se puede seleccionar diferentes valores del factor *f* para estaciones en diferentes condiciones climáticas y mantener el porcentaje de potenciales errores uniforme en toda la Red.

2.3. Arquitectura del sistema y tecnologías empleadas

El sistema se ha desarrollado con el objetivo de posibilitar la aplicación del test para el control de calidad de forma remota. De esta manera, el administrador del sistema o la persona encargada de la validación puede ejecutar los procedimientos de control de calidad en cualquier equipo informático con conexión a Internet y no necesariamente en el mismo puesto donde estén almacenados los datos meteorológicos, lo que se denomina en el argot informático un sistema cliente/servidor. La autentificación previa mediante un nombre de usuario y una clave, dotará al administrador de los permisos necesarios para ejecutar el test de validación.

Con la finalidad de desarrollar un sistema que sea exportable a otras redes de estaciones meteorológicas automáticas se ha diseñado una arquitectura multiplataforma con la capacidad de ser totalmente funcional bajo la mayoría de sistemas operativos: Linux, Unix (Mac OS X, Solaris, AIX, Tru64, etc.) y Windows.

El sistema se ha diseñado en PostgreSQL (Postgres, 2014) que es un motor de base de datos objeto relación al basado en POSTGRES versión 4.2, inicialmente puesto en marcha en la Universidad de California, en el departamento de cálculo científico de Berkeley (Stonebraker y Kemnitz, 1991). Su licencia BSD (Berkeley Software Distribution) se engloba dentro de las licencias de software libre. PostgreSQL es un proyecto de código abierto donde es posible visualizar el código fuente y modificarlo libremente para las necesidades del sistema que se pretende desarrollar, como es el caso. PostgreSQL soporta el standard SQL (Structure Query Language) y sobre él se han desarrollado herramientas de alto rendimiento para la aplicación de los procedimientos de validación: consultas complejas, llaves foráneas, triggers o disparadores, vistas, programación de funciones, empleo de lenguajes procedurales, etc. Está considerado como la base de datos de código abierto más avanzada del mundo y proporciona características que habitualmente sólo se encontraban en las bases de datos comerciales como Oracle (Worsley y Drake, 2001, cap.1).

Para dotar a este sistema de control de calidad de las herramientas de los sistemas de información geográfica, se ha implementado la extensión espacial PostGIS (PostGIS, 2014), la cual añade soporte de objetos geográficos a los datos meteorológicos almacenados bajo PostgreSQL. Se publica bajo licencia GNU GPL (Licencia Pública General) que es una licencia de software libre gracias a la cual se han desarrollado diferentes funciones adaptadas a las necesidades del sistema por ser de código abierto. PostGIS fue certificada en 2006 por el Open Geospatial Consortium (OGC) lo que garantiza la interoperabilidad con otros sistemas y posibilita la exportación del sistema a otras redes de estaciones meteorológicas automáticas.

El test de coherencia espacial se ha desarrollado en el lenguaje procedural PL/pgSQL, lo que permite aumentar la potencialidad y flexibilidad de los procedimientos de validación. Esto es posible gracias al intérprete estructurado de secuencia de pasos que permite

modificar fácilmente cada uno de los algoritmos y funciones que son utilizados en el test. Estas funciones, las secuencias de código y el resto de algoritmos de programación se han documentado para futuras mejoras y adaptaciones a otras plataformas o sistemas. Determinados cálculos auxiliares en algunos procedimientos de validación se han desarrollado en el lenguaje de programación propio de MATLAB 2013, que es una aplicación orientada al análisis numérico y el tratamiento de datos. Esto es posible gracias a la flexibilidad e interoperabilidad de las tecnologías que conforman los pilares de la arquitectura del sistema de control de calidad desarrollado: PostgreSQL, PostGIS y PlpgSQL.

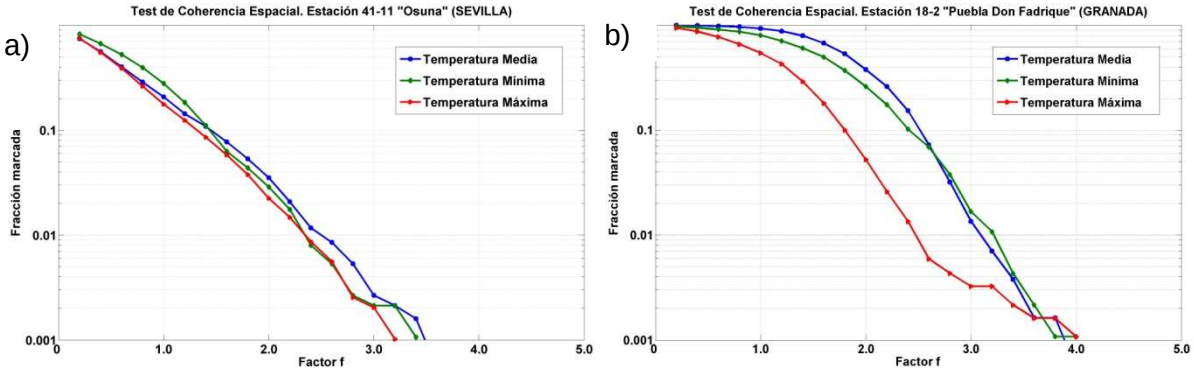
3. Resultados

A continuación se exponen los resultados obtenidos para los diferentes tipos de errores tras la aplicación del test.

3.1. Error Tipo I

Resulta de gran importancia el análisis de los errores Tipo I derivados de la aplicación del test diseñado en función de los diferentes valores del factor f. La forma general de las relaciones entre f y la fracción de potenciales errores se presenta en la Figura 2, en este caso se han tomado dos estaciones a modo de ejemplo.

Figura 2: Fracción de datos detectados por el test de coherencia espacial en función de los diferentes valores del factor f.



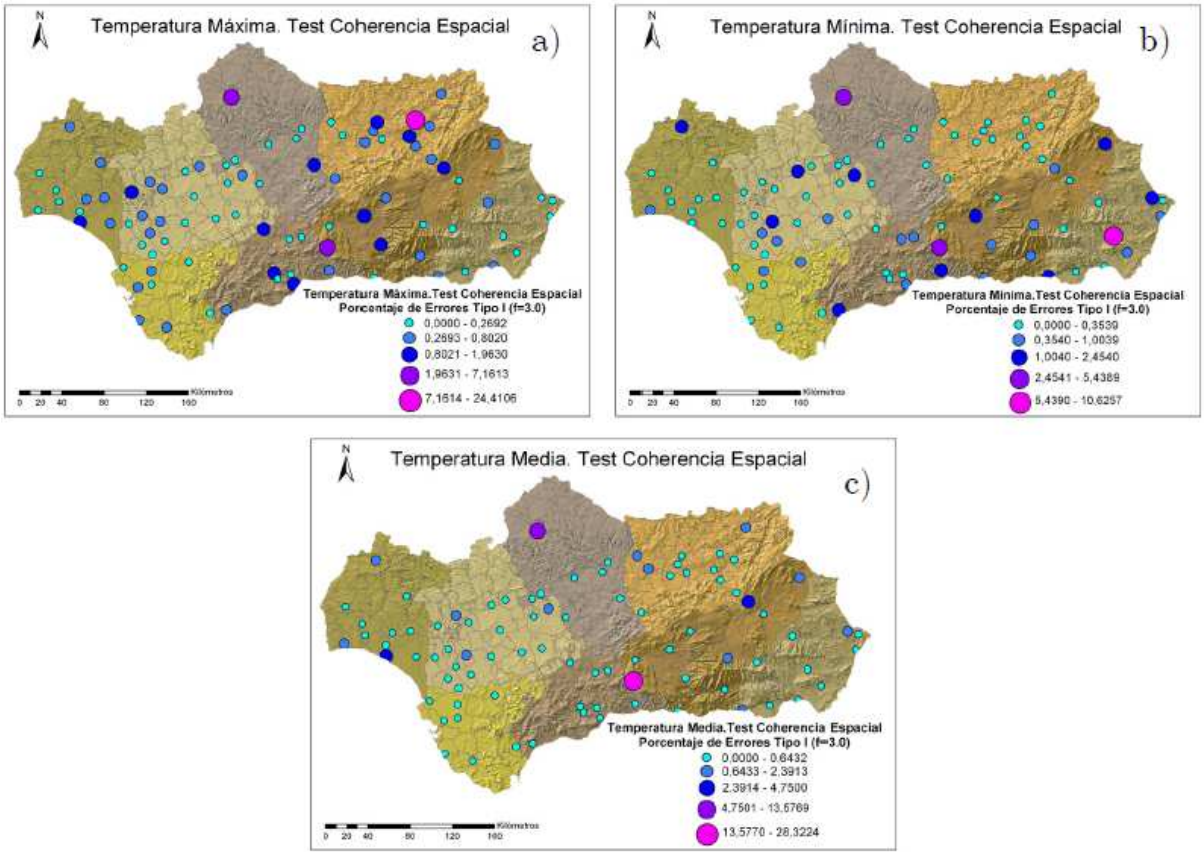
La cantidad de potenciales errores Tipo I (expresados en tanto por uno) se muestra en escala logarítmica en el eje de ordenadas, en función de los valores de f en el eje de abscisas.

Los resultados del test de coherencia espacial presentados en la Figura 2a, correspondiente a la estación de Osuna (Sevilla), muestran un comportamiento muy distinto a los obtenidos en la estación de Puebla de Don Fadrique (Granada), representados en la Figura 2b. En la primera estación, con un factor de f entre 2,3 y 2,5 para las tres variables analizadas el test detectaría un 1% de registros potencialmente erróneos. Sin embargo, en el segundo caso, f tendría que tomar valores por encima de 3 para detectar ese mismo porcentaje de potenciales errores en Temperatura Media y Mínima. Se puede observar también como la relación obtenida para Temperatura Máxima resulta distinta a la estación de Osuna, especialmente para valores de f muy restrictivos. Los resultados obtenidos muestran como la serie de referencia creada para la estación de Osuna (Sevilla) tiene un comportamiento bastante parecido a la serie candidata, debido a la cercanía de varias estaciones bajo condiciones climáticas similares en el Bajo Guadalquivir. El caso contrario ocurre para la estación de Puebla de Don Fadrique (Granada), fundamentalmente por ser una estación aislada, la única situada al noreste de la provincia de Granada.

Un ejemplo del porcentaje de errores Tipo I que son detectados por el test de coherencia espacial en todas las estaciones para un factor f de 3,0 se muestra en la Figura 3. Se puede apreciar cómo se distribuye geográficamente el porcentaje de potenciales errores para este test aplicado a las distintas variables y para un valor fijo del factor f.

Debido a la numerosa existencia de valores nulos y la escasa continuidad en los porcentajes obtenidos, se ha optado por representar los resultados de cada una de las estaciones en su propia localización, diferenciando su magnitud por tamaños y colores.

Figura 3: Porcentaje de potenciales errores Tipo I con f = 3,0 para el Test de Coherencia Espacial aplicado a temperatura máxima (a), mínima (b) y media (c).



En la Figura 3a se puede apreciar cómo se distribuyen los valores más bajos (inferiores al 0,26%) en la mayoría de las provincias de Andalucía, en color azul claro. Dentro de esta categoría, las estaciones que han registrado valores nulos han sido las de Málaga (Málaga), Tojalillo-Gibraléon y Moguer-El Cebollar (Huelva) y Fiñana (Almería). En general, porcentajes entre el 0,26% y el 1,96% se han dado también en todas las provincias, incluyendo varias estaciones cercanas a la costa. Existen dos casos aislados, con un mayor porcentaje de potenciales errores (color morado) en las estaciones de Belmez (Córdoba) y Zafarraya (Granada), con un 5,87% y 7,16% respectivamente. Por último, resaltar que el valor máximo de este porcentaje de errores en temperatura máxima se ha registrado en la estación de Sabiote (Jaén) con un 24,41%. La estación de Belmez, en el norte de la provincia de Córdoba, es una estación aislada que no tiene estaciones cercanas que mantengan un régimen térmico similar, por tanto, la serie de referencia creada para la aplicación del test resulta menos representativa que en otros casos. De igual modo, los

valores tan elevados registrados en Sabiote (Jaén) y Zafarraya (Granada) ponen de manifiesto que las condiciones climáticas locales son determinantes a la hora de generar una serie de referencia a partir de estaciones vecinas que nos permita discriminar valores anómalos en nuestra estación candidata. Se puede afirmar por tanto, que las estaciones vecinas a estas dos no se comportan de forma similar en cuanto a la temperatura máxima se refiere.

En la Figura 3b se puede observar algo más de continuidad en el porcentaje de errores detectados en los datos de temperatura mínima para todo el territorio de Andalucía. Valores por debajo del 0,35% han sido registrados en más de 50 estaciones, obteniéndose valores nulos en Sierra de Yeguas (Málaga) y Conil de la Frontera (Cádiz). De forma análoga a los resultados presentados en la Figura 3a, en las estaciones de Belmez (Córdoba) y Zafarraya (Granada) se han obtenido también valores elevados entre el 2,45-5,43%, lo cual indica una gran diferencia climática con las estaciones que las rodean, en relación a la temperatura mínima. Por último, el valor más elevado se ha registrado en la estación de Tabernas (Almería) con un 10,62% de errores detectados. En relación a la temperatura media (Figura 3c) se ha observado la mayor homogeneidad de los resultados, como consecuencia de ser una variable con más continuidad en toda la región. Más de 70 estaciones han registrado un porcentaje de errores por debajo del 0,64%, repartidas prácticamente en todas las provincias. De nuevo las estaciones de Belmez (Córdoba) y Zafarraya (Granada) muestran los valores más elevados, iguales a 13,57% y 28,32%, respectivamente.

3.2. Error Tipo II

En este apartado se pretende determinar la cantidad de errores conocidos que no pueden ser detectados por el procedimiento de validación diseñado, en función de la magnitud del propio error. Para ello se ha programado un sistema que introduce errores de forma controlada en la base de datos diaria, de forma que los valores que sean alterados puedan ser identificados de una forma inequívoca. Mediante un proceso aleatorio se seleccionaron un 10% de los registros de la base de datos diaria para ser alterados con un determinado error. La magnitud del error introducido se ha determinado de una forma aleatoria. Mediante la generación de un número aleatorio, r, insertado para cada registro, y que se distribuye según una distribución uniforme de media 0 y un rango de +/- 3,5. Multiplicando este valor r por la desviación típica de la variable meteorológica en cuestión, se obtiene la magnitud del error, de acuerdo con la Ecuación 5.

$$E_{iT} = \sigma_T r_i \tag{5}$$

Donde E_{iT} es la magnitud del error introducido en el valor de T original (temperatura máxima, mínima o media), σ_T es la desviación típica de la variable T para el mes en cuestión y r_i es el valor del número aleatorio generado para cada fecha o registro i. La distribución de la magnitud del error tendrá una media igual a 0 y un rango de 3,5 veces la desviación típica observada de la variable T para cada mes en cuestión. La elección de 3,5 asegura que el test incluye los casos más cercanos a los extremos de las series temporales analizadas.

Finalmente, los registros son modificados sumando este error controlado al valor original de la variable T en la base de datos, según la Ecuación 6.

$$T^* = T + E_{iT} \tag{6}$$

Donde T^* es el valor de temperatura “erróneo” (máxima, mínima o media) al que posteriormente se le aplicará el test de validación. De esta forma el valor original de T se verá modificado aumentando o disminuyendo según el signo de r_i, ya que esta nueva variable toma valores en el rango +/- 3,5.

Los resultados de la aplicación del test al conjunto de datos “alterado” con estos errores, se muestran en términos de porcentaje de errores que ha sido correctamente identificado, en función de la magnitud del error introducido. El porcentaje de errores reales no identificados (Tipo II) resultaría de restar 100 al porcentaje de errores correctamente detectados. En la Tabla 2 se muestran los resultados de este análisis para la estación de Córdoba situada en el valle del Guadalquivir, para la variable temperatura máxima.

Tabla 2: Porcentaje de errores introducidos en los registros de temperatura máxima diaria en la estación de Córdoba que ha sido detectado por el test, en función de la magnitud del error

Magnitud relativa del error (r)	Test Coherencia Espacial
$r \leq -3,0$	100,00
$-3,0 < r \leq -2,5$	92,31
$-2,5 < r \leq -2,0$	100,00
$-2,0 < r \leq -1,5$	91,86
$-1,5 < r \leq -1,0$	84,44
$-1,0 < r \leq -0,5$	38,46
$-0,5 < r \leq 0,0$	0,00
$0,0 < r \leq 0,5$	13,33
$0,5 < r \leq 1,0$	62,50
$1,0 < r \leq 1,5$	100,00
$1,5 < r \leq 2,0$	92,31
$2,0 < r \leq 2,5$	100,00
$2,5 < r \leq 3,0$	94,12
$r > 3,0$	94,12
Total	75,68

Se puede apreciar en esta tabla que el test no ha sido capaz de identificar errores entre $-0,5 < r < 0,0$; sin embargo, ha resultado más eficaz conforme la magnitud del error fue aumentando, detectando finalmente una gran cantidad de errores (75,68%).

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para la estación de Cádiar (Granada), donde se puede apreciar un comportamiento parecido al anterior. El test no consiguió identificar ningún error en el rango $-0,5 < r < 1,0$ al igual que en la estación de Córdoba. De igual manera, el test mostró una eficacia superior a medida que la magnitud del error fue aumentando.

Tabla 3: Porcentaje de errores introducidos en los registros de temperatura máxima en la estación de Cádiar (Granada) que ha sido identificado por el test de Coherencia Espacial, en función de la magnitud del error.

Magnitud relativa del error (r)	Test Coherencia Espacial

r ≤ -3,0	92,86
-3,0 < r ≤ -2,5	88,24
-2,5 < r ≤ -2,0	100,00
-2,0 < r ≤ -1,5	85,71
-1,5 < r ≤ -1,0	61,54
-1,0 < r ≤ -0,5	5,56
-0,5 < r ≤ 0,0	0,00
0,0 < r ≤ 0,5	0,00
0,5 < r ≤ 1,0	0,00
1,0 < r ≤ 1,5	33,33
1,5 < r ≤ 2,0	43,75
2,0 < r ≤ 2,5	61,54
2,5 < r ≤ 3,0	81,82
r > 3,0	81,25
TOTAL	53,23

En términos generales, el resto de estaciones tuvieron resultados similares en relación a la eficacia del test aplicado. Por otro lado, en aquellas estaciones rodeadas de un menor número de estaciones con un régimen térmico similar, como el caso de Cádiar (Granada), el test mostró una eficacia menor. Por el contrario, en estaciones situadas en zonas climatológicamente más homogéneas (p.ej. el valle del Guadalquivir), rodeadas de varias estaciones con un comportamiento térmico parecido, se obtuvieron mejores resultados en la aplicación del test de coherencia espacial. Los resultados obtenidos por Hubbard et al. (2005) fueron muy similares.

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos tras la aplicación de este test de coherencia espacial a todas las estaciones de la Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIAA) muestran una alta variabilidad en la detección de 'outliers' para los diferentes valores del factor f.

El estudio de los errores Tipo I y Tipo II resultó esencial para evaluar el desarrollo y la capacidad del procedimiento de validación (en este caso el test de coherencia espacial) aplicado a los registros de temperatura máxima, mínima y media. En este sentido, se ha realizado un análisis del comportamiento de cada una de las estaciones meteorológicas de la RIAA en relación a este test, descrito en el apartado 2.2.

Los resultados muestran un comportamiento similar en cuanto a errores Tipo I en estaciones con diferente clima, aunque existen algunas diferencias dependiendo de la variable analizada. En términos generales, el uso de un factor f = 3,0 garantiza un número de errores Tipo I por debajo del 2%, si bien lo más adecuado para una región tan extensa y heterogénea como Andalucía sería prefijar un porcentaje de errores Tipo I tolerable para nuestras aplicaciones, y definir un valor f específico para cada estación meteorológica.

En relación a los errores Tipo II, y a la vista de los resultados obtenidos, se puede afirmar que los errores introducidos de forma controlada cercanos a cero no fueron detectados, y además a medida que la magnitud del error aumentó, también lo hizo la eficacia del procedimiento de validación. Para errores de gran magnitud (comparable al uso de un valor

de f mayor que 2,0), el test de coherencia espacial fue capaz de identificar entre el 90-100% de los errores introducidos para las tres variables analizadas, en todas las estaciones meteorológicas.

La integración de este procedimiento de control de calidad espacial con herramientas SIG hacen posible la generación de mapas como el de la Figura 3 donde se puede analizar visualmente tendencias o relaciones geográficas que pueden resultar de gran interés para el conocimiento de una Red meteorológica y del comportamiento de cada uno de las variable analizadas.

5. Bibliografía

Eisched, J.K., C.B. Baker, T. Karl, and H. F. Diaz, (1995). The quality control of long-term climatological data using objective data analysis. *J. Appl. Meteor., 34,* 2787-2795.

Estévez, J., Gavilan. P., Garcia-Marin, A.P. (2011a). Data validation procedures in agricultural meteorology. A prerequisite for their use*. Advances in Science and Research*, *6*, 141-146.

Estévez, J.,Gavilan, P., Giraldez, J.V. (2011b). Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. *Journal of Hydrology, 402*, 144-154.

Estévez, J., Padilla, F., Gavilán, P. (2012). Evaluation and Regional Calibration of Solar Radiation Prediction Models in Southern Spain. *J. Irrig. and Drainage Eng., 138(10),* 868-879.

Feng, S., Hu, Q., Qian, Q. (2004). Quality control of daily meteorological data in China, 1951-2000: a new dataset. *Int. J. Climatol*., *24*, 853-870.

Gandin, L. S. (1988). Complex quality control of meteorological observations. *Mon. Wea. Rev., 116,* 1137-1156.

Graybeal, D. Y. (2006). Relationships among daily mean and maximum wind speeds with application to data quality assurance. *Int. J. Climatol., 26,* 29-43.

Guttman, N. B., and Quayler, R.G. (1990). A review of cooperative temperature data validation. *J. Atmos. Oceanic Technol., 7,* 334-339.

Hubbard, K. G. (2001). Multiple station quality control procedures. Automated Weather Stations for Applications in Agriculture and Water Resources Management, K. G. Hubbard and M. V. K. Sivakumar, Eds., *Tech.Doc.AGM-3 WMO/TD 1074, High Plains Regional Climate Center, Lincoln, NE,* 248 pp.

Hubbard, K. G., Goddard, S., Sorensen, W. D., Wells, N., Osugi, T.T. (2005). Performance of quality assurance procedures for an applied climate information system. *J. Atmos. Oceanic Technol., 22,* 105-112.

Hubbard, K. G., You, J. (2005). Sensitivity analysis of quality assurance using the spatial regression approach. A case study of the maximum/minimum air temperature. *J. Atmos. Oceanic Technol., 22,* 1520-1530.

Infraestructura de Datos Espaciales de Andalucía, (2014). http://www.andaluciajunta.es/IDEAndalucia/IDEA.shtml (Acceso en diciembre 2014)

PostGIS. (2014). http://postgis.refractions.net (Acceso en diciembre 2014)

PostgreSQL. (2014). http://www.postgresql.org (Acceso en diciembre 2014)

Reek, T., Doty, S. R., Owen, T.W. (1992). A deterministic approach to the validation of historical daily temperature and precipitation data from the Cooperative Network. Bull*. Amer. Meteor. Soc., 73,* 753-765.

Shafer, M. A., Fiebrich, C. A., Arndt, D. S., Fredrickson, S. E., and Hughes, T. W. (2000). Quality assurance procedures in the Oklahoma Mesonet, *J. Atmos. Oceanic Technol., 17,* 474–494.

Stonebraker, M. and Kemnitz, G. (1991). The Postgres next-generation database-management system, *Communicat. ACM., 34,* 78–92.

Wade, C. G. (1987). A quality control program for surface meso-meteorological data. *J. Atmos. Oceanic Technol., 4,* 435-453.

Worsley, J., Drake, J. (2001). Practical ProstgreSQL*. O'Reilly & Associates,* California.

04-011

FORMING HOMOGENEOUS REGIONS OF EXTREME DAILY RAINFALL IN CENTRAL CHILE BY USING THE MULTIFRACTAL ANALYSIS

García-Marín, Amanda P ; Estévez Gualda, Javier ; Medina Cobo, Mª Teresa ;
Herrera Grimaldi, Pascual ; Ayuso Ruiz, Patricia
Universidad de Córdoba

Regional Frequency Analysis of extreme daily rainfall is a very useful methodology in hydrology to obtain rainfall quantiles in places with scarce data sets. Within this method the aggregation of places into homogeneous regions is the most important step, and the continuity of the analysis is conditioned by its results. Thus, this work proposes a new grouping criteria based on the multifractal properties of rainfall data. With this aim, the scale behavior of validated daily rainfall data from 74 weather stations of Biobio Region (Chile) was analyzed. According to the values of two characteristic parameters of the moment scale exponent function, K(q), the 74 stations have been grouped into five regions. These regions resulted homogeneous after performing the regional frequency analysis of annual extreme daily rainfall. Only ten stations stayed out of any group, being the local frequency analysis the most convenient method for them.

Keywords: *Regional Frequency Analysis; Rainfall; Multifractality;*

FORMACIÓN DE REGIONES HOMOGÉNEAS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA MEDIANTE ANÁLISIS MULTIFRACTAL EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE

El Análisis Regional de Frecuencias de precipitaciones máximas diarias es una metodología muy útil en hidrología para obtener cuantiles de precipitación partiendo de series de datos de escasa longitud, como es el caso del presente trabajo. Dentro del análisis regional de frecuencias de variables hidrológicas, la agrupación de lugares en regiones homogéneas es el paso más importante, y de él depende la continuidad del análisis. Por ello, en este trabajo se propone un nuevo criterio de agrupación basado en las propiedades multifractales de los datos de lluvia. Para ello se ha analizado el comportamiento de escala de los datos diarios de precipitación validados procedentes de 74 estaciones meteorológicas de la región de Biobio (Chile). A partir de los valores de dos parámetros característicos de la función exponente escaladora de momentos, K(q), las 74 estaciones se han agrupado en cinco regiones que han resultado homogéneas desde el punto de vista de las precipitaciones máximas diarias anuales al realizar el correspondiente Análisis Regional de Frecuencias. Tan sólo diez estaciones han quedado sin agrupar, siendo el Análisis Local del Frecuencias el método más adecuado a emplear en estos lugares a la hora de obtener cuantiles de precipitación máxima diaria.

Palabras clave: *Análisis Regional de frecuencias; Precipitación; Multifractalidad;*

Correspondencia: Amanda Garcia Marín amanda.garcia@uco.es

1. Introducción

El Análisis Regional de Frecuencias (ARF) es una metodología relativamente reciente (Hosking y Wallis, 1997) que permite resolver el problema de la escasez de datos en el tiempo aumentando el volumen de datos en el espacio. Con esta nueva técnica se obtienen estimaciones de cuantiles más precisos que los obtenidos a partir del Análisis Local de Frecuencias (Hosking et al., 1985a; Lettenmaier y Potter, 1985; Wallis y Wood, 1985). El Análisis Regional de Frecuencias propuesto por Hosking and Wallis (1997) se basa en el uso de los momentos Lineales (L-Momentos) (Wallis et al, 2007; Yang et al., 2007). Los momentos lineales fueron introducidos por Hosking (1990, 1992) y consisten en combinaciones lineales de los momentos tradicionales. Se utilizan en todos los pasos del ARF (Hosking y Wallis, 1993, 1995, 1997). Dentro de estos pasos, el más importante es la formación de regiones homogéneas (Hosking et al., 1985a; Lettenmaier et al., 1987) ya que la continuidad del análisis depende de ello.

Aunque existen varias metodologías para la agrupación de las estaciones en regiones homogéneas (García-Marín et al., 2011; Jingyi y Hall, 2004), es muy importante definir previamente las características que constituyen la base para la agrupación de las mismas. Tradicionalmente, las características consideradas han incluido los parámetros de la función de distribución de probabilidad de la variable analizada (Easterling, 1989) o los atributos de localización de las estaciones meteorológicas (Moreno y Roldán, 1999). Estudios recientes basan la agrupación en diferentes variables atmosféricas (Satyanarayana y Srinivas, 2011), sugiriendo que se podrían utilizar otras características para agrupar datos de lluvia de diferentes localizaciones.

En este trabajo se propone la caracterización multifractal de las series de datos de precipitación diaria para crear o delimitar regiones homogéneas. Existen diversos trabajos recientes que analizan las propiedades multifractales de series de datos de lluvia (De Lima y Grasman, 1999; Kiely e Ivanova, 1999, Sivakumar, 2001; García-Marín et al, 2008), así como sus aplicaciones, desde un punto de vista simplemente descriptivo (Valencia et al., 2010; Rodríguez et al, 2013) en las que se relaciona la invarianza de escala de las precipitaciones extremas o Modelos Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) (Castro et al., 2004; García-Marín et al., 2013a) a través de la reducción de escala de los procesos de precipitación (Gires et al., 2014), o incluso para modelos de evaluación (Royer et al., 2008). La gran ventaja que presenta el Análisis Multifractal es que los parámetros multifractales son independientes de los datos disponibles para las distintas escalas y que el conjunto de datos no necesita asumir ninguna función de distribución de probabilidad. Existen distintas metodologías para analizar el carácter multifractal de la precipitación.

El objetivo del presente trabajo es delimitar regiones homogéneas de datos de precipitación máxima diaria anual utilizando valores característicos de la función exponente escaladora de momentos *K(q),* en concreto γ_{max} y *K(0),* para caracterizar cada una de las series históricas de datos de las setenta y cuatro estaciones meteorológicas disponibles para la Región de Biobío (Chile).

2. Metodología

2.1. Control de calidad de los datos

El objetivo de aplicar procedimientos de validación como mecanismos de control de calidad de los datos meteorológicos como requisito previo a su utilización es identificar registros erróneos o de dudosa calidad (Estévez et al., 2011a). Existen varios métodos para validar datos meteorológicos (Feng et al., 2004; Zahumensky, 2004; Kunkel et al., 2005; Estévez et

al., 2011b). Los métodos utilizados en este trabajo han sido el test de rangos (Ecuación 1) y el test de persistencia (Ecuación 2). El primero de ellos está basado en los límites físicos/climatológicos de cada parámetro (un dato de lluvia no puede ser negativo) y en este caso se ha utilizado el límite superior propuesto por Shafer et al. (2000). El test de persistencia comprueba la variabilidad de las mediciones, rechazando aquellos registros mayores de cero que de forma continuada no cambian, ya que cuando un sensor falla siempre registra un valor constante (Hubbard et al., 2005).

$$0 \leq P \leq 508mm \tag{1}$$

$$P(d) \neq P(d+1) \neq P(d+2) \tag{2}$$

2.2. Análisis Regional de Frecuencia (ARF)

La regionalización se utiliza habitualmente en Hidrología para permitir la extrapolación de información de aquellos lugares en los que existen registros a otros donde no hay información y, por supuesto, es necesaria. El Análisis Regional de Frecuencias permite obtener la estimación de cuantiles en un determinado lugar mediante el uso de datos de otros lugares. La metodología aplicada en el presente trabajo es la propuesta por Hosking y Wallis (1997), basada en el uso de los momentos lineales (L-momentos). Los pasos a seguir dentro del ARF son:

- Análisis de datos

El primer análisis consiste en el cálculo de la discordancia, *Di*, estadístico que compara los L-momentos de cada estación en una región con los del resto de estaciones y los valores medios de cada región (Hosking y Wallis, 1997). Para obtener el valor de la discordancia es necesario calcular para cada una de las series de datos disponibles el vector de momentos lineales formado por los cocientes lineales de variación, sesgo y curtosis (LC_v, LC_s y LC_k). Un determinado lugar *i* se considerará como discordante (y, por tanto, excluido del análisis) si su valor de discordancia D_i supera al valor crítico tomado como referencia, que depende del número de estaciones que formen el grupo (Hosking y Wallis, 1997). Numéricamente la medida de la discordancia D_i se define a partir de un estadístico:

$$D_i = \frac{1}{3} N (u_i - \overline{u})^T A^{-1} (u_i - \overline{u}) \tag{3}$$

Siendo $A = \sum_{i=1}^{N} (u_i - \overline{u})(u_i - \overline{u})^T$, $\overline{u} = N^{-1} \sum_{i=1}^{N} u_i$, $u_i = \left[t^{(i)} t_3^{(i)} t_4^{(i)} \right]^T$ y N el número de estaciones.

- Delimitación de regiones homogéneas

Una vez que las estaciones discordantes (si existen) han sido excluidas del análisis, el resto de estaciones tienen que ser agrupadas en regiones homogéneas desde el punto de vista de la variable que se esté analizando. Normalmente, ésta es la etapa más difícil, larga e importante del Análisis Regional de Frecuencias (Greis y Wood, 1981; Hosking et al., 1985a). Existen diversos métodos para la formación de grupos, siendo el Análisis Clúster uno de los más prácticos (Hosking y Wallis, 1997). Está técnica ha sido ampliamente utilizada en hidrología (Burn, 1989; Hall y Minns, 1999; Jingyi y Hall, 2004; Satyanarayana y Srinivas, 2011). En este trabajo, la agrupación de lugares mediante análisis clúster se basará en el valor de parámetros obtenidos de la función exponente escaladora de momentos, *K(q),* relacionada directamente con el carácter multifractal de los datos de lluvia (Guadagnini et al., 2012).
El método más ampliamente usado para identificar la multifractalidad de un proceso (Sivakumar, 2001) es el método del escalado de momentos estadísticos (del inglés *statistical*

moments scaling method) (e.g. Schertzer y Lovejoy, 1987; Over y Gupta, 1994). Para llevarlo a cabo, debe partirse de una serie temporal de registros del proceso que se desea analizar. Dicha serie ha de dividirse en intervalos de diferentes resoluciones temporales entre los que no podrá existir solapamiento. El cociente entre el mayor intervalo (longitud de la serie estudiada) y un intervalo cualquiera, se conoce como razón de escala λ (e.g. Svensson et al., 1996). De esta forma se consigue escalar el tiempo de forma que la duración de la escala de interés más larga sería igual a 1 (e.g. de Lima y Grasman, 1999). El escalado de los momentos del proceso analizado se describe mediante la función exponente *K(q)* que satisface (e.g. Shertzer y Lovejoy, 1987; Lovejoy y Schertzer, 1990a):

$$\left\langle \varepsilon_{\lambda}^{q} \right\rangle \approx \lambda^{K(q)} \tag{4}$$

donde $\left\langle \varepsilon_{\lambda}^{q} \right\rangle$ es el q-ésimo momento conjunto del proceso para una resolución λ.

Representando en un diagrama doblemente logarítmico los valores de $\left\langle \varepsilon_{\lambda}^{q} \right\rangle$ cómo función de λ, podrá distinguirse una zona de apariencia aproximadamente lineal cuya pendiente es una estimación del valor de *K(q)*. Repitiendo este procedimiento para diferentes valores de *q*, se puede estimar la función *K(q)* completa.

Dos características de la función *K(q)* se han utilizado en este trabajo para caracterizar los lugares y así formar las regiones para el Análisis Regional de Frecuencias: γ_{max} y *K(0).* Los valores de γ estarán limitados por el valor de γ_{max}. Esto implica que la función *K(q)* es lineal para $q>q_{crit}$. γ_{max} es el valor de la singularidad máxima presente en la serie de datos (Schertzer y Lovejoy, 1987; De Lima y De Lima, 2009) y viene dado por,

$$\gamma_{\max} = \max(K'(q)) \tag{5}$$

Los valores bajos de precipitación se caracterizan por *K(0)*=- C_s. C_s es la codimensión del proceso analizado, siendo la correspondiente dimensión fractal del conjunto de datos, *D*=1-C_s.

Una vez que las regiones han sido identificadas mediante análisis clúster, es necesario comprobar si son o no homogéneas desde el punto de vista de la precipitación máxima diaria anual. El grado de homogeneidad se mide a partir del estadístico *H* (ecuación 7). Este estadístico evalúa cuando un grupo de estaciones pueden ser tratadas en su conjunto como una región homogénea. Compara la variabilidad de los momentos-L muestrales de las estaciones con la esperada tras emplear técnicas de simulación. La prueba empleada utiliza la varianza ponderada del coeficiente de variación lineal de cada una de las estaciones según el estadístico:

$$V = \left\{ \sum_{i=1}^{N} n_i (t^{(i)} - t^R)^2 / \sum_{i=1}^{N} n_i \right\}^{1/2} \tag{6}$$

Siendo, $t^R = \sum_{i=1}^{N} n_i t^{(i)} / \sum_{i=1}^{N} n_i$, *N* el número de estaciones, n_i el número de registros y $t^{(i)}$ el valor de los momentos lineales de la muestra. Se trata pues de calcular la media y la desviación estándar de *V* (μ_v, σ_v) para una serie de simulaciones N_{sim}. Una vez calculado *V*, la medida de la heterogeneidad vendrá dada por:

$$H = \frac{(V - \mu_v)}{\sigma_v} \tag{7}$$

Una región podrá considerarse homogénea si $H < 1$, posiblemente heterogénea si $1 \leq H < 2$, y heterogénea para valores de H superiores a 2 (Hosking y Wallis, 1997).

Una vez comprobada la homogeneidad de las regiones, puede continuarse con los siguientes pasos del Análisis Regional de Frecuencias (Hosking y Wallis, 1997).

3. Área de estudio y fuente de datos

Se parte de las series de precipitaciones diarias de 74 estaciones meteorológicas ubicadas en la Región Biobío de Chile, datos suministrados por la Dirección General de Aguas. La ubicación geográfica de la Región de Biobío en Chile se muestra en la Figura 1. La Región de Biobío es una de las quince regiones en las que se encuentra dividido Chile. Se sitúa entre los 36º 00' y 38º 30' de latitud sur y entre los 71º 00'de longitud oeste hacia el océano Pacífico, limitando al norte con la Región de Maule, al sur con la Región de la Araucanía, al este con la República Argentina y al oeste con el mencionado océano Pacífico. El clima de esta región es mediterráneo, sin embargo al sur la influencia mediterránea cambia a oceánica. Se desarrolla en una franja longitudinal, pero en el interior y el sur se deja sentir la influencia mediterránea más lluviosa, dejando más de 2.400 mm de precipitaciones concentradas en invierno.

Figura 1. Ubicación de la Región de Biobío

4. Resultados y discusión

Tras aplicar los procedimientos de validación se comprobó que ningún registro fue marcado por el test de rangos y, tras una inspección manual, escasos registros fueron descartados en los siguientes análisis. Partiendo de las series de precipitaciones de las setenta y cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en la Región de Biobío, se ha obtenido la serie de datos máximos de precipitación diaria anual. Cada serie de datos se ha caracterizado con los valores de los L-momentos. Las estaciones Estero Hualqui Desembocadura, Portezuelo,

Rio Biobío Coihue, Río Curanilahue y Río Laja Salto no han dado resultados por lo que se consideran un total de 69 estaciones para llevar a cabo los procesos posteriores.

Se considera una primera región llamada Biobío, formada 69 estaciones meteorológicas, que será estudiada con el fin de analizar su homogeneidad. Siguiendo la metodología propuesta por Hosking y Wallis (1997), se realizaron diversas pruebas para detectar estaciones discordantes en el grupo y se eliminaron del análisis 12 estaciones, siendo el valor del estadístico *H* de 1.79 para el grupo final. Este valor indica que la región es posiblemente heterogénea, por tanto, deben formarse subregiones potencialmente homogéneas. Así pues, se ha llevado a cabo la caracterización multifractal de los datos de lluvia para todas las estaciones. Como ejemplo, en la Figura 2 se muestra la representación doblemente logarítmica de los q-ésimos momentos de intensidad de lluvia para una de las estaciones de la Región de Biobío, Andalien en este caso. Para cada estación la representación de los momentos de orden superior a uno se recoge en la parte superior de la Figura 2 (a), mientras que la parte inferior (b) muestra los resultados para los momentos de orden inferior a la unidad. Del análisis de los momentos se puede obtener la función exponente escaladora de momentos *K(q).* Así, continuando con el análisis multifractal y teniendo en cuenta la ecuación (4), se ha obtenido la función *K(q)* para las sesenta y nueve estaciones. La figura 3 muestra la representación gráfica de la función exponente escaladora de momentos *K(q)*. En el eje de abscisas se representan los diferentes valores de los momentos *q* en abscisas, mientras que los valores de la función *K(q)* aparecen en el eje de ordenadas.

Figura 2. Representación log-log de los momentos q-ésimos. Estación Andalien.

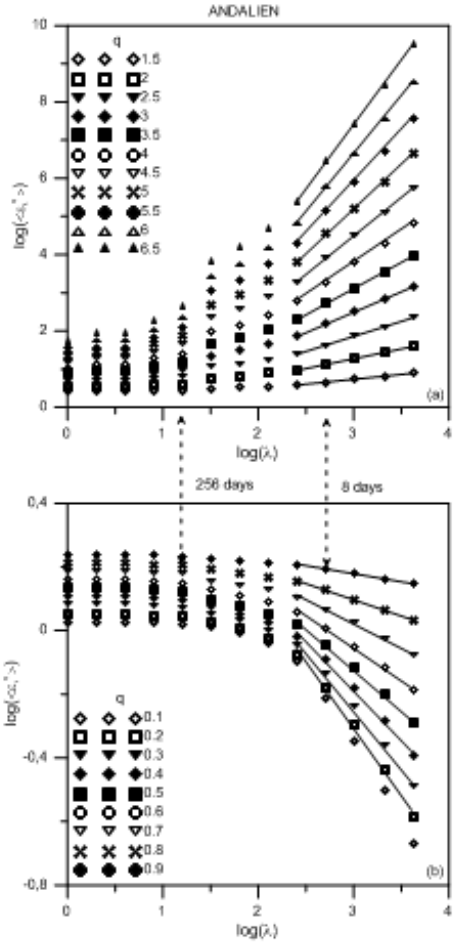
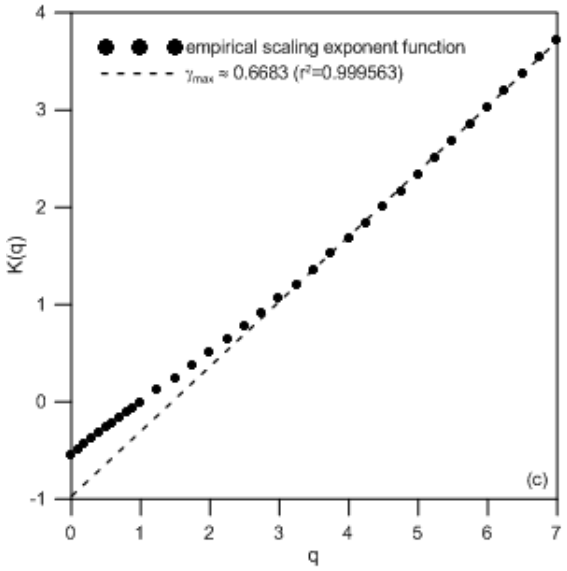


Figura 3. Función exponente escaladora de momentos. Estación Andalien.



La información más importante obtenida de esta representación corresponde a los parámetros γ_{max} y *K(0).* El valor de dichos parámetros varía de unas estaciones a otras. El rango de valores de $\gamma_{\max}$ se encuentra entre el valor mínimo 0,2304 en la estación Concepción Edif MOP y el valor máximo 0,9199 en la estación Chillán Sendos. Estos valores pueden proporcionar información sobre los eventos raros y extremos de la serie temporal (Veneziano y Furcolo, 2002; García-Marín et al., 2013b). De la representación gráfica de *K(q)* también se obtienen los valores El valor de *K(0)* varía entre -0,5983 para la estación Rio Ítata Cuelemu y 0 para la estación Fundo Atacalco. Estos valores están relacionados con los valores de precipitación diaria de la serie de datos y proporcionan información sobre la dimensión fractal de la serie. Con todos los valores de γ_{max} y *K(0)* se lleva a cabo el análisis clúster para el que cada estación se caracteriza por un vector de dos componentes (γ_{max}, *K(0)).* EN cada uno de los grupos obtenidos se comprueba posteriormente la homogeneidad. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 1.

En la primera prueba de Análisis Clúster se formaron dos grupos, uno de 26 estaciones y otro de 43. De acuerdo al valor del estadístico obtenido para el primer grupo, *H*=3,28, resultó heterogéneo y fue descartado. En las tres pruebas realizadas al segundo grupo para analizar su homogeneidad, se obtuvieron dos estaciones discordantes en la prueba uno: Fundo Bella Rosa (D_i= 5,43) y Rio Biobío Longitudinal (D_i= 3,04); tres estaciones discordantes en la prueba dos: Canal de la Luz (D_i= 3,64), Río Biobío Esperanza (D_i= 3,71) y Río Ítata Cuelemu (D_i=4,57); y una estación discordante en la prueba tres: Estero Bellavista (D_i=3,58). Finalmente, tras eliminar las estaciones discordantes del análisis, se obtuvo una primera región (Región 1) homogénea formada por 37 estaciones, cuyo valor del estadístico H fue de 0,40.

Tabla 1. Regiones Homogéneas.

REGIÓN	ESTACIONES (37)	H_1
1	Andalien, Caman, Cancha los Litres, Cañete, Cerro El Padre, Chillán Sendos, Chillán Viejo, Chillancito, Coelemu, Coihueco Embalse, Concepción DGA, Contulmo, Curanilahue, Dichato, Diguillín, Duqueco, Embalse Ralco, Estero Plegarias, Estero Quilque, Laja, Las Achiras, Las Cruces, Las Pataguas, Los Ángeles, Mayulermu, Millauquen, Mulchen, Parque	0,40

	Nahuelbuta, Rafael, Río Biobío Desembocadura, Río Biobío Rucalhue, Río Duqueco Cerrillos, Río Laja Tucapel, Río Ñuble San Fabián, San Agustín Puñual, San Carlos Puren y San Lorenzo Biobío.	
2	Canal de la Luz, Estero Bellavista Tome, Fundo Bella Rosa, Río Biobío Longitudinal y Río Ítata Cuelemu	0,02
3	Carampangue, Cerro Verde, La Punilla, Pemuco, Río Diguillín y Tirua	0,90
4	Caracol, Embalse Pangue, Las Trancas, Nueva Aldea, San José Munilque y San Lorenzo	0,73
5	Mangarral, Pilguen, Quilaco, Río Biobío Esperanza y Río Leiva Puentecontulmo	0,88

En la segunda prueba de Análisis Clúster se parte de las 32 estaciones restantes, descartadas de los grupos anteriores. Inicialmente se obtuvieron dos grupos de estaciones, uno de 10 y otro de 22 estaciones pero. Tras comprobar que ninguno de ellos resultaba homogéneo (*H* grupo 1= 1,06 y *H* grupo 2= 1,92) se decidió repetir el análisis clúster formando tres grupos. Los tres grupos obtenidos estaban formados por las siguientes estaciones: el primer grupo con 10 estaciones, el segundo grupo con 5 estaciones y el tercer grupo con 17 estaciones. Tras analizar los valores del estadístico *H* de cada uno de los grupos (*H* grupo 1= 1,06; *H* grupo 2= 0,02 y *H* grupo 3= 2,64) se obtuvo la segunda región homogénea, formada por cinco regiones.

En la tercera prueba del Análisis Clúster se parte de las 27 estaciones restantes, descartadas de los grupos anteriores. Inicialmente se obtuvieron dos grupos de estaciones, uno de 10 y otro de 17 estaciones pero, tras comprobar que ninguno de ellos resultaba homogéneo (*H* grupo 1= 1,06 y *H* grupo 2= 2,64) se decidió repetir el mismo análisis clúster pero formando, en este caso, tres grupos. Los tres grupos obtenidos estaban formados por las siguientes estaciones: el grupo uno era de 10 estaciones, el grupo dos de 11 estaciones y el grupo tres de 6 estaciones. Tras analizar los valores del estadístico H de cada uno de los grupos (*H* grupo 1= 1,06; *H* grupo 2= 2,87 y *H* grupo 3= 0,90) se obtuvo que el grupo tres formaba la tercera región homogénea, formada por seis estaciones.

En la cuarta prueba de Análisis Clúster se parte de las 21 estaciones restantes y se decide formar, directamente, tres grupos, obteniendo los siguientes resultados: un primer grupo formado por seis estaciones, un segundo grupo formado por 11 y un tercer grupo formado por 4. En este caso, el último grupo no se tiene en cuenta por tener un número de estaciones tan escaso. En este trabajo, se considera como región mínima aquella que dispone, al menos, de cinco estaciones meteorológicas. Tras analizar el valor del estadístico *H* en los grupos uno y dos se obtuvieron los siguientes resultados: *H* grupo 1= 0,73; *H* grupo 2= 2,87, obteniendo una cuarta región homogénea formada por seis estaciones.

En la quinta prueba de Análisis Clúster se parte de las 15 estaciones restantes y se decide formar cuatro grupos, resultando todos tan pequeños (grupo uno formado por cuatro estaciones, grupo dos formado por dos estaciones y grupo cuatro formado por cuatro estaciones) que ninguno de ellos resulta de aplicación. Tan sólo el grupo tres estaba formado por cinco estaciones. Tras analizar el valor del estadístico *H* en este tercer grupo se obtiene como resultado *H*= 0,88, resultando la última región homogénea, formada por cinco estaciones.

Tras analizar diversas pruebas con las diez estaciones restantes (Cholguán, Concepción Edif MOP, Estero Nonguen, Fundo Atacalco, General Cruz, Quillailleo, Río Biobío Llauquen,

San Fabián, Trupán y Tucapel) no es posible agruparlas en regiones homogéneas. Para estas diez estaciones, el Análisis Regional de Frecuencias no es una buena opción siendo el Análisis Local de Frecuencias sería la metodología a seguir para obtener los cuantiles de lluvia.

5. Conclusiones

Este trabajo presenta una nueva metodología para la agrupación de estaciones cuando se realiza un Análisis Regional de Frecuencias con datos de precipitación máxima diaria anual. De acuerdo con los resultados obtenidos, la caracterización multifractal de los datos de lluvia validados ha resultado ser un método muy útil para agrupar series de datos de precipitación diaria en regiones homogéneas cuando se realiza un Análisis Regional de Frecuencias con este tipo de datos meteorológicos.

El método propuesto por Hosking y Wallis (1997) se aplicó, en primer lugar, a la totalidad de las estaciones disponibles para la zona de estudio (Región Biobío de Chile). Los resultados no fueron satisfactorios y la región se dividió en sub-regiones. La novedad de este estudio radica en el uso de parámetros multifractales de la lluvia diaria, utilizados para formar las nuevas regiones. El resto de características de uso común (latitud, longitud, índice de lluvia…) no fueron necesarios para la agrupación de las estaciones.

Cada estación ha sido caracterizada por dos valores obtenidos a partir de la función *K(q)*, γ_{max} y *K(0).* El primero de ellos está relacionado con la presencia de precipitaciones extremas o eventos raros en el conjunto de datos. El segundo está relacionado con valores bajos de lluvia. Estos valores se obtuvieron de la función exponente escaladora de momentos. La forma de estas funciones indica que en algunas localizaciones la precipitación se comporta como un proceso monofractal y que, en otros, se comporta como multifractal. Independientemente de ello, se obtuvieron todos los valores de γ_{max} y *K(0)* para cada una de las estaciones. La diferencia en estos valores fue la base para el proceso de Análisis Clúster. Se han obtenido cinco regiones homogéneas y un último grupo heterogéneo formado por diez estaciones. Para estas últimas diez estaciones, el Análisis Local de Frecuencias es la opción disponible para el cálculo de cuantiles de precipitación. Para el resto de estaciones de la Región de Biobío (Chile), los resultados del Análisis Regional de Frecuencias presentados en este trabajo pueden ser utilizados para obtener datos de precipitación máxima diaria para diversos periodos de retorno.

6. Bibliografía

Burn, D. H. (1989). Cluster analysis as applied to regional flood frequency. *Journal of water resources planning and management, 115*, 567-582.

Castro J., Carsteanu A., Flores C. (2004). Intensity-duration-area frequency functions for precipitation in a multifractal framework. *Physica A, 338(1–2),* 206–210.

De Lima MIP, de Lima JLMP. (2009). Investigating the multifractality of point precipitation in the Madeira archipielago. *Nonlinear Processes in Geophysics*, *16*, 311- 311.

De Lima MIP, Grassman J. (1999). Multifractal analysis of 15-min and daily rainfall from a semi-arid region in Portugal. *Journal of Hydrology*, 220, 1-11.

Easterling, D.R. (1989). Regionalization of thunderstorm rainfall in the contiguous United States.International *Journal of Climatology, 9,* 567–579.

Estevez, J., Gavilan. P., Garcia-Marin, A.P. (2011a). Data validation procedures in agricultural meteorology. A prerequisite for their use*. Advances in Science and Research*, *6*, 141-146.

Estevez, J.,Gavilan, P., Giraldez, J.V. (2011b). Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. *Journal of Hydrology, 402*, 144-154.

Feng, S., Hu, Q., Qian, Q. (2004). Quality control of daily meteorological data in China, 1951-2000: a new dataset. *Int. J. Climatol*., *24*, 853-870.

Garcia-Marin A.P., Jimenez-Hornero F. J, Ayuso-Munoz J. L. (2008). Applying multifractality and the self-organized criticality theory to describe the temporal rainfall regimes in Andalusia (Southern Spain). *Hydrological Processes*. *22*, 295-308.

Garcia Marin, A.P., Ayuso Munoz, J.L., Taguas Ruiz, E.V, Estevez, J. (2011). Regional analysis of the anual maximum daily rainfall in the province of Malaga (southern Spain) using the principal component analysis. *Water and Environmental Journal, 25(4)*, 522- 531.

Garcia-Marin A.P., Ayuso-Munoz, J.L., Jimenez-Hornero F.J., Estevez, J., (2013ª). Selecting the best IDF model by using the multifractal approach. *Hydrological Processes* DOI: 10.1002/hyp.9272.

Gires, A., Tchiguirinskaia, I., Schertzer, D., Schellart, A., Berne, A., Lovejoy, S. (2014). Influence of small scale rainfall variability on standard comparison tools between radar and rain gauge data. *Atmospheric Research*, *138*, 125-138.

Greis, N.P, Wood, E.F. (1981). Regional flood frequency estimation and network design. *Water Resources Research* 17 (4). DOI: 10.1029/WR017i004p01167.

Guadagnini, A. Neuman, S.P., Riva, M. (2012). Numerical investigation of apparent multifractality of samples from processes subordinated to truncated fBm. *Hydrological Processes*. *26*, Issue 19, 2012, 2894-2908.

Gupta VK, Waymire EC. (1993). A statistical analysis of mesoscale rainfall as a random cascade. *Journal of Applied Meteorology, 32*, 251-267.

Hall, M.J., Minns, A.W., 1999. The classification of hydrological homogeneous regions. *Journal of Hydrological Science*, *44(5),* 693–704.

Hosking, J.R.M., J.R. Wallis y E.F. Wood, (1985a). An appraisal of the regional flood frequency procedure in the UK Flood Studies Report. *Hydrological Sciences Journal, 30*, 85-109.

Hosking JRM, Wallis JR. (1993). Some statistics useful in regional frequency analysis. *Water Resources Research, 29(1),* 271–281.

Hosking JRM, Wallis JR. (1995). Correction to “some statistics useful in regional frequency analysis”. *Water Resources Research, 31(1),* 251.

Hosking JRM, Wallis JR. (1997). Regional frequency analysis—An approach based on L-moments. Cambridge University Press, Cambridge.

Hubbard, K. G.; Goddard, S.; Sorensen, W. D.; Wells, N.; Osugi, T. T. 2005. Performance of Quality Assurance Procedures for an Applied Climate Information System. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 22.

Jingyi, Z. & Hall, M.J. (2004). Regional flood frequency analysis for Gan-Ming river basin in *China. J. Hydrol., 296*, 98–117.

Kiely G, Ivanova K. (1999). Multifractal analysis of hourly precipitation. *Physics and Chemistry of the Earth Part B-Hydrology Oceans and Atmosphere 24,* 781-786.

Kunkel, K.E., Easterling, D.R., Hubbard, K., Redmond, K., Andsager, K., Kruc, M.C., Spinar, M.L., (2005). Quality control of pre-1948 cooperative network observer data. *Journal Atmospherie and Oceanic Technology, 22*, 1691-1705.

Letternmaier, D.P., Potter, K.W. (1985). Testing flood frequency estimation methods using a regional flood generating model. *Water Resources Research, 21 (12),* 190-1914.

Lettenmaier, D. P., Wallis, J. R., and Wood, E. F. (1987). Effect of regional heterogeneity on flood frequency estimation. *Water Resources Research, 23,* 313-23.

Mandelbrot B. (1972). Possible refinement of the lognormal hypothesis concerning the distribution of energy dissipation in intermittent turbulence, in: Statistical Models and Turbulence. *Lectures Notes in Physics, 12*, 333-351.

Medina Cobo, M.T. (2012). Análisis Regional de las precipitaciones máximas diarias anuales en la provincia de Málaga mediante Análisis Multifractal. Trabajo Profesional Fin de Carrera.

Moreno, F., Roldan, J. (1999). Regionalization of daily precipitation stochastic model parameters, application to the Guadalquivir valley in Southern Spain*. Physics and Chemistry of the Earth, 24,* 65-71.

Rodriguez, R., Casas, M.C., Redano, A. (2013). Multifractal analysis of the rainfall time distribution on the metropolitana area of Barcelona (Spain). *Meteorology anda Atmospheric Physics*, *121*, Issue 3-4, 181-187.

Royer, J.-F., Biaou, A., Chauvin, F., Schertzer, D., Lovejoy, S. (2008). Multifractal analysis of the evolution of simulated precipitation over France in a climate scenario. *Comptes Rendus - Geoscience, 340 (7)*, 431-440. doi: 10.1016/j.crte.2008.05.002.

Satyanarayana P., Srinivas, V.V. (2011). Regionalization of precipitation in data sparse areas using large scale atmospheric variables - A fuzzy clustering approach. *Journal of Hydrology, 405,* 462-473.

Schertzer D, Lovejoy S. (1987). Physical modelling and analysis of rain and clouds by anisotropic scaling multiplicative processes. J*ournal of Geophysical Research-Atmospheres 92,* 9693-9714.

Shafer, M. A., Fiebrich, C. A., Arndt, D. S., Fredickson, S. E., Hughes, T. W. (2000). Quality assurance procedures in the Oklahoma Mesonet. *J. Atmos. Oceanic Technol., 17*, 474-494.

Sivakumar B. (2001). Is a chaotic multi-fractal approach for rainfall possible. *Hydrological Processes, 15*, 943-955, (with a minor correction in Hydrological Processes 15: 2381-2382).

Valencia, J.L., Requejo, A.S., Gasco, J.M., Tarquis, A.M. (2010). A universal multifractal description applied to precipitation patterns of the Ebro River Basin, Spain. *Climate Research, 44 (1)*, 17-25. doi: 10.3354/cr00947.

Veneziano D, Furcolo P. (2002). Multifractality of rainfall and scaling of intensity duration-frequency curves. *Water Resources Research 38 (12)*, doi: 10.1029/2001WR000372.

Wallis, J.R., Schaefer, M.G., Barker, B.L., Taylor, G.H. (2007). Regional precipitation frequency analysis and special mapping for 24-hour and 2-hour durations for Washington State. *Hydrol. Earth Syst. Sci., 11 (1)*, 415-442.

Wallis, J.R., Wood, E.F. (1985). Grouping basins for regional flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal, 30*, 151-9.

Yang, T., Quanxi Shao, Zhen-Chun Hao, Xi Chen, Zengxin Zhang, Chong-Yu Xu, Limin Sun. (2010). Regional frequency analysis and spatio-temporal pattern characterization of rainfall extremes in the Pearl River Basin. *Journal of Hydrology, 380 (3-4),* 386-405.

Zahumensky, I. (2004). Guidelines on Quality Control Procedures for Data from Automatic Weather Stations. WMO-No. 955. Geneva, Switzerland.

04-012

STUDY OF THE BIOMACHINING PROCESS. PRESERVATION OF THE GENUS ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS.

Díaz-Tena, Estíbaliz [1]; Rojo Azaceta, Naiara [1]; Elías Sáenz, Ana [1]; Gurtubay Bustinduy, Luis [1]; Oyanguren García, Iñigo [2]; Barbero, Francisca [2]

[1] UPV-EHU, [2] Guserbiot S.L.

Green Machining has emerged as an alternative to the cost-intensive shaping tools. In previous studies, a biomachining process of oxygen-free copper at laboratory scale was design and successfully operated in continuous mode, using the mesophilic and acidophilic bacterium Acidithiobacillus ferrooxidans. In this study, the use of several preservation techniques was tested, in order to maintain backups and reserves of active cells for further use. Thus, freeze drying, freezing and desiccation were tested for the preservation of the ferrous ion-oxidizing bacterium A. ferrooxidans, evaluating cell viability after each preservation procedure. Regarding freeze drying, the influence of the primary drying duration (12 vs. 35 hours) and the addition of four different cryoprotectants on the process were studied. Freezing was carried out both in commercial cyovials and in Eppendorf tubes, and the influence of adding a cryoprotactant was tested. In addition, cell viability after short (4 days) and middle-term (28 days) storage was evaluated. Finally, desiccation was carried out at 30 ºC for 24 hours. It was concluded that freezing is the preservation technique that ensures higher Acidithiobacillus ferrooxidans viability after storage.

Keywords: *biomachining; Acidithiobacillus ferrooxidans; preservation; freeze drying; freezing; dessication*

ESTUDIO DEL PROCESO DE BIOMECANIZADO. PRESERVACIÓN DE LA CEPA ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS

La evolución de las tecnologías de mecanizado existentes nos lleva hacia el denominado Mecanizado Ecológico. Las primeras etapas del presente trabajo se han orientado al desarrollo de un proceso de biomecanizado en continuo sobre piezas de cobre libre de oxígeno, mediante la bacteria Acidithiobacillus ferrooxidans, con vistas a su posible aplicación industrial. Para completar el análisis, se han evaluado tres técnicas para preservar las bacterias empleadas en el citado bioproceso: liofilización, congelación y desecado. En el caso de la liofilización, se ha estudiado la influencia de la duración del secado primario (12 vs. 35 horas) y el empleo de cuatro crioprotectores en la viabilidad de las células tras el proceso. La congelación se ha llevado a cabo en crioviales comerciales y en crioviales Eppendorf, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos siguiendo ambos procedimientos. Asimismo, se ha estudiado la influencia de la adición de un crioprotector y la influencia del tiempo de congelación en la viabilidad final. Finalmente, el desecado se ha realizado bajo condiciones de temperatura 30 ºC y duración 24 horas. Los resultados obtenidos han llevado a concluir que la congelación de las muestras es la técnica más adecuada para la preservación de las bacterias Acidithiobacillus ferrooxidans.

Palabras clave: *biomecanizado; Acidithiobacillus ferrooxidans; preservación; liofilización; congelación; desecado*

Correspondencia: Estíbaliz Díaz-Tena estibaliz.diaz@ehu.eus

Agradecimientos: Los autores de este trabajo quieren dar las gracias a la empresa GUSERBIOT S.L. por su colaboración y el apoyo técnico aportado y en especial, la autora Estíbaliz Díaz-Tena agradece la ayuda financiera recibida por parte del Gobierno Vasco (BFI 2011-119) para la realización de su tesis doctoral. Este estudio ha sido posible gracias a la ayuda económica recibida por parte de la UPV/ EHU bajo el programa UFI 11/29.

1. Introducción

La mejora de la calidad de los componentes, así como la optimización de los procesos de producción, son imprescindibles para que las empresas se mantengan en el mercado de la tecnología. Cumplir con las expectativas en cuanto a precisión, tolerancia y acabado superficial que un cliente desea, con el menor gasto, son las claves para el éxito.

Por otro lado, el número de empresas que se suman al cuidado del planeta Tierra, impulsadas por el afán de reducir el impacto ambiental generado mediante el ecodiseño, va en aumento. El ecodiseño implica la obligación de incorporar e integrar criterios específicos medioambientales en todo el ciclo de vida de un componente: producción, distribución, utilización, reciclaje y tratamiento final. En el ámbito de fabricación este hecho se relaciona con el denominado 'Green Machining', debido al cual las empresas se ven obligadas a apostar por nuevos procesos de mecanizado o por la mejora de procesos ya existentes para cumplir con la normativa medioambiental y mantenerse a la vanguardia en la innovación tecnológica (Masoumik, Hanim y Udoncy, 2015).

Los avances recientes en el ámbito de la biotecnología, así como la creciente apuesta hacia procesos más sostenibles, hacen que hoy en día sea posible entender procesos en los que se hace uso de microorganismos para la fabricación de piezas metálicas, como por ejemplo el biomecanizado. Definido como la posibilidad de remoción de metal mediante organismos vivos, el biomecanizado fue presentado por primera vez en el año 1993 por Uno, Kaneeda y Yokomizo (1993). La ventaja más destacable de este proceso innovador es la de poder fabricar piezas de geometría compleja a escala micrométrica con un bajo impacto ambiental pudiendo llegar a competir en un futuro cercano con tecnologías de fabricación ya consolidadas, bien sustituyéndolas o bien complementándolas.

Actualmente, los procesos biológicos como el biomecanizado se limitan, en la mayoría de los casos, al ámbito de la investigación. Sin embargo, debido a su rápida evolución, en un futuro próximo podrían llegar a ser alternativas a procesos físico-químicos de fabricación consolidados (Saragih y Jo Ko 2013), ya que presentan ventajas frente a procesos como el mecanizado químico, entre otros (Eskandarian, Karimi y Shabgard 2013; Hocheng y Jadhav, 2015).

La naturaleza biológica de este tipo de procesos hace que sea fundamental conocer y entender el métabolismo de los microorganismos implicados en la eliminación del metal de interés, así como conocer las condiciones óptimas de cultivo, mantenimiento y preservación.

Por lo general, los estudios basados en el mecanizado biológico emplean bacterias del tipo *Acidithiobacillus ferrooxidans* (Yang et al., 2009; Suwandi, Whulanza e Istiyanto 2014) y *Acidithiobacillus thiooxidans* (Chang et al., 2008; Hocheng, Jadhav y Chang 2012). No obstante, en los estudios llevados a cabo por Shikata et al. (2009) y Jadhav y Hocheng (2014), el biomecanizado se llevó a cabo mediante las bacterias del género *Staphylococcus sp.* y el hongo *Aspergillus niger* 34770, respectivamente.

La posibilidad de almacenar un cultivo activo para su posterior reutilización, empleando algún método de preservación, es un aspecto relevante en procesos biológicos a escala industrial, ya que permite aumentar el rendimiento de la operación, reduciendo costes de adquisición

de los organismos. Los procesos de conservación permiten mantener las especies microbianas en un estado genético inactivo, conservando las características fenotípicas, genotípicas y una alta viabilidad, de manera que se asegure el mantenimiento del gran potencial biotecnológico que las bacterias guardan en sus genomas. Otro ámbito en el que se emplean este tipo de procesos es en los Biological Resource Centers (BRC), principales suministradores de cultivos microbianos para la investigación y desarrollo de la medicina, agricultura y biotecnología (Kurtzman y Labeda 2009).

No existe un método de conservación universal, sino que existe una gran variedad, estando su elección influenciada principalmente por el tipo de microorganismo a emplear, así como por los medios técnicos y la infraestructura de laboratorio a la que se tiene acceso. Asimismo, existe la posibilidad de realizar la conservación a corto, medio o largo plazo (García López et al. 2011). Independiente del método de conservación seleccionado, García López et al. (2011) indicaron en su estudio que para la correcta preservación de los microorganismos es necesario tomar en consideración tres recomendaciones: evitar posibles contaminaciones durante el proceso de conservación, intentar que los microorganismos sobrevivan en números elevados durante el tiempo que permanecen conservados (70-80% de supervivencia) y que genéticamente permanezcan estables.

El principal objetivo de este trabajo es estudiar la posibilidad de conservar la cepa *A. ferrooxidans* emplead en procesos de biomecanizado tanto a medio como a largo plazo. Para ello, se ha estudiado la liofilización, la congelación y la desecación como alternativas de la conservación.

2. Metodología

2.1 Medio de cultivo y separación de la biomasa

Se testearon tres medios de cultivo para la cepa *A. ferrooxidans*, con el fin de poner a punto un medio que permita hacer recuentos de viabilidad de la cepa. Estos medios fueron los recogidos en la Tabla 1. Los microorganismos fueron cultivados en placas con medio sólido a 28 ºC, llevando un seguimiento del crecimiento de los mismos.

Tabla 1: Composición de los tres medios de cultivos empleados

Medio	Composición	Autores
A	Solución A: $(NH_4)_2SO_4$ 0,5 g·L^{-1}; $Mg(SO_4)$•7H_2O 0,5 g·L^{-1}; K_2HPO_4•7H_2O 0,5 g·L^{-1}; H_2SO_4 (15 N) 5.0 mL Solución B: $FeSO_4$•7H_2O 167 g; H_2SO_4 (15 N) 50 mL Mezcla de las soluciones A:B en proporción 4:1	Robertson & Gijs-Kuenen (2006)
B (FeTSB)	Solución A: 20% (p/v) de $FeSO_4$ (36,57 g·L^{-1} de $FeSO_4$•7H_2O) Solución B: $(NH_4)_2SO_4$ 1,8 g·L^{-1}; $MgSO_4$•7H_2O 0,7 g·L^{-1}; TSB 0,35 g·L^{-1} Solución C: Agarosa 0,7% Mezcla de las soluciones A:B:C en proporción 1:14:5	Johnson, Macvicar & Rolfe (1987)
C	$(NH_4)_2SO_4$ 3,0 g·L^{-1}; KCl 0,1 g·L^{-1}; K_2HPO_4 0,5 g·L^{-1}; $MgSO_4$•7H_2O 0,5 g·L^{-1}; $Ca(NO_3)_2$ 0,01 g·L^{-1}; $FeSO_4$•7H_2O 16,5 g·L^{-1}	Sugio et al. (1984)

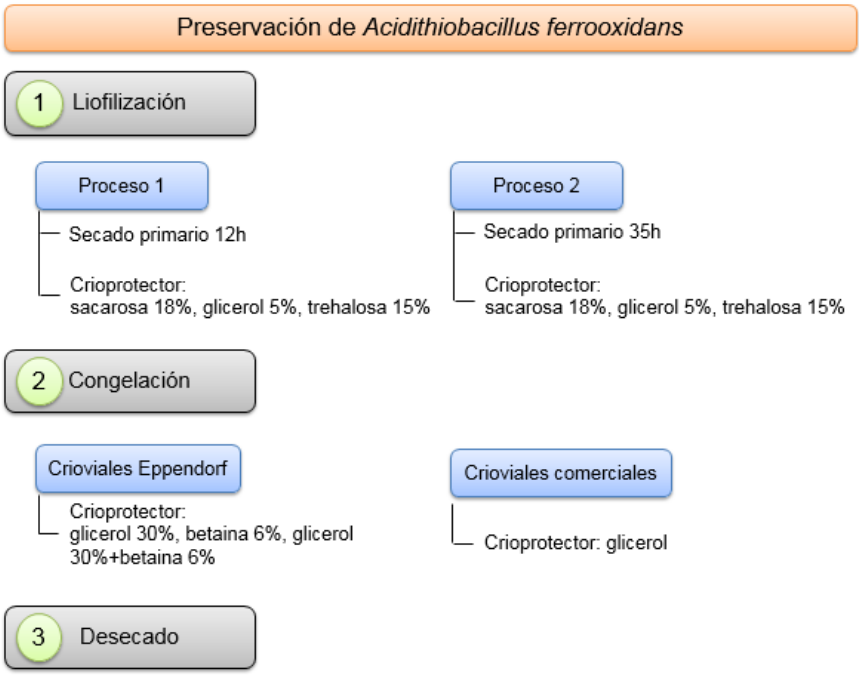
Asimismo, se estudió la filtración como metodología más adecuada para separar la biomasa y obtener un filtrado estéril, en base al tipo de microorganismo empleado y el medio de cultivo a recuperar. El estudio de filtración se llevó a cabo empleando un cultivo de 3 días,

previamente centrifugado a 10000 rpm y 4 ºC durante 20 minutos (Eppendorf 5810-R) . Se emplearon dos tipos de filtros: a) filtros de acetato con un diámetro de poro de 0,45 micras y b) filtros de filtración por vacío de nitrocelulosa de 0,22 micras.

2.2 Conservación de la cepa *A. ferrooxidans*

Se estudiaron tres estrategias de conservación de la cepa *A. ferrooxidans*: a) liofilización, b) congelación y c) desecado. En la Figura 1 se recoge un esquema con las principales especificaciones de cada proceso de preservación empleado.

Figura 1: principales especificaciones de los procesos de preservación evaluados.



2.2.1 Liofilización

Se estudió la liofilización como alternativa para mantener la cepa *A. ferrooxidans* en condiciones adecuadas para su posterior utilización, una vez separada del sobrenadante. El proceso se llevó a cabo en un liofilizador Telstar LyoBeta 20, y consistió en una secuencia de tres etapas: congelación (-40 ºC), secado primario (5 ºC) y secado secundario (30 ºC), realizándose las dos últimas bajo condiciones de vacío (0.250)

Inicialmente, se incubó el cultivo a temperatura ambiente y sin agitación durante aproximadamente 10 minutos, con el fin de depositar los posibles residuos sólidos férricos que pudieran existir en la disolución. A continuación, se centrifugaron 200-400 mL de muestra en alícuotas de 65 mL durante 20 minutos a 4 ºC y a 10000 rpm (Eppendorf 5810-R). Se eliminó el sobrenadante y se procedió al lavado del pellet de cada alícuota empleando 10-15 mL del Medio B (Tabla 1). Resuspendidos los pellets, se mezclaron en un único tubo, trabajando a partir de este punto con una única muestra. Se volvió a centrifugar la muestra bajo las condiciones descritas anteriormente, resuspendiendo finalmente el pellet en 10 mL de agua destilada estéril.

Se prepararon alícuotas de 1.5 mL en tubos Eppendorf a partir de la muestra de bacterias resuspendidas. Se centrifugaron durante 20 minutos (10000 rpm, 4 ºC, Microcentrífuga

Eppendorf, 5415-R) y, tras eliminar el sobrenadante, cada uno de los pellets se resuspendió en 0.5 mL de uno de los siguientes crioprotectores: sacarosa (18%, p/v), glicerol (5%, p/v) y trehalosa (15%, p/v). Asimismo, dos muestras se resuspendieron en agua destilada (control negativo). Todas las muestras se incubaron durante 1 hora a 30 ºC.

Se evaluó la influencia del tiempo de secado primario en la viabilidad de las células tras la liofilización. Para ello, se emplearon dos tiempos de secado primario: 12 y 35 horas, respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2: Ensayos de liofilización

	Proceso 1	Proceso 2
Tiempo del cultivo	14 días	18 días
Viabilidad inicial	$1{,}8 \cdot 10^9$ UFC·mL^{-1}	$5{,}2 \cdot 10^8$ UFC·mL^{-1}
Secado primario	5 ºC, 12 horas	5 ºC, 35 horas
Secado secundario	30 ºC, 3 horas	30 ºC, 3 horas
Criprotector	Muestra 1: glicerol	Muestra 4: glicerol
	Muestra 2: sacarosa	Muestra 5: sacarosa
	Muestra 3: trehalosa	Muestra 6: trehalosa

La concentración celular se midió antes y después del proceso de liofilización. La concentración celular inicial (considerada común para todas las muestras a liofilizar) se determinó empleando uno de los controles negativos, mientras que tras el proceso las muestras liofilizadas se resuspendieron en 1mL de agua destilada estéril. En ambos casos se realizaron diluciones seriadas y siembra en Medio B (Tabla 1) solidificado en agarosa, y se incubaron las placas a 30 ºC durante 12-14 días.

2.2.2 Congelación

Se llevó a cabo un ensayo de congelación a -20 ºC y a -80 ºC para determinar el efecto de esta técnica de conservación en la viabilidad de las muestras tras 14 y 28 días de congelación.

La congelación se realizó en dos formatos (Figura 1): a) criocongelación en viales Eppendorf, empleando un crioprotector en base a glicerol, otro en base a betaina y un último en base a una mezcla glicerol-betaina; b) congelación en crioviales comerciales que contienen glicerol (crioprotector) y unas perlas tipo rocalla (Cryoinstant, Scharlab).

2.2.2.1 Criocongelación en viales Eppendorf

Se centrifugaron durante 15 minutos (10000 rpm, 4 ºC, Eppendorf 5810-R) 325 mL de cultivo distribuidos en cinco alícuotas de 65 mL. Eliminado el sobrenadante, cada pellet se lavó empleando 10-15 mL de agua destilada, se mezclaron las tres muestras resuspendidas en un único tubo, y la muestra resultante se centrifugó bajo las mismas condiciones previamente descritas. El pellet resultante fue resuspendido en 15 mL de agua destilada y se alicuotó en 13 viales estériles de 1.5 mL de volumen (Eppendorf), concretamente a 1 mL de pellet por vial.

Las alícuotas se centrifugaron (15 min, 10000 rpm, 4 ºC, Eppendorf, 5415-R) y, por último, cada uno de los pellets obtenidos se resuspendió en 1 mL del correspondiente crioprotector: glicerol al 30% (p/v) esterilizado por autoclave (3 alícuotas), betaina al 6% (p/v) esterilizada

por filtración (3 alícuotas) y glicerol 30% (p/v) + betaina 6% (p/v) (3 alícuotas). Para este último caso, se prepararon por separado glicerol al 60% (p/v) esterilizado por autoclave y betaina al 12% (p/v) esterilizada por filtración, mezclándose en proporción 1:1. Asimismo, 4 alícuotas se resuspendieron empleando agua destilada (control negativo).

Las alícuotas (excepto una muestra control) se congelaron según la siguiente secuencia: incubación a 4 ºC durante 30-40 minutos; incubación a -20 ºC durante 1 hora; almacenamiento a -80 ºC.

Se estudió la viabilidad de las células tras 14 y 28 días de congelación. La recuperación de los crioviales Eppendorf comenzó con la descongelación de las alícuotas correspondientes a 37 ºC en un baño de agua. Para la eliminación de los restos de crioprotector se centrifugaron los crioviales a 10000 rpm y 4 ºC durante 10 minutos. Se procedió al lavado del pellet con 1mL de medio de cultivo fresco para, a continuación, centrifugar el criovial de nuevo bajo mismas condiciones. Este proceso de lavado se realizó dos veces consecutivas, eliminando el sobrenadante y resuspendiendo el pellet en 1 mL de agua destilada finalizado el proceso de lavado.

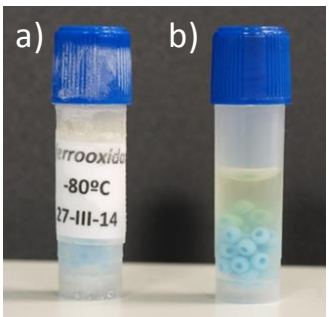
Se determinó la viabilidad del cultivo antes y después de la congelación mediante diluciones seriadas y recuentos celulares en Medio B solidificado en agarosa. La incubación se llevó a cabo a 30 ºC durante 12 días aproximadamente. Para la determinación de la concentración celular inicial de las muestras se empleó uno de los controles negativos, considerándose este valor común para todas las muestras.

2.2.2.2 Congelación en crioviales comerciales

Al igual que en el caso del estudio de la congelación en viales Eppendorf, y bajo las mismas condiciones, el protocolo de congelación comenzó con un doble proceso de centrifugación-eliminación del sobrenadante, pasando a alicuotar el pellet resuspendido. En este caso se procedió a adicionar 1 ml de la muestra resuspendida en dos crioviales comerciales (Cryoinstant, Scharlab) (Figura 2), pasando entonces a ser congelados.

En el periodo de congelación, para cada criovial se escogió una temperatura diferente. Uno de ellos se congeló a -20 ºC, mientras que el segundo criovial fue congelado hasta -80 ºC con una secuencia diferente, congelándose primero durante 1 hora a -20 ºC y pasando posteriormente a ser congelado hasta -80 ºC.

Figura 2. Crioviales comerciales: a) criovial con cultivo de *A. ferrooxidans*, b) criovial comercial sin inocular.



Las muestras congeladas en ambos crioviales comerciales fueron descongeladas a temperatura ambiente tras 14 y 28 días de conservación. De cada criovial se extrajeron 2 perlas que fueron sembradas en Medio B solidificado en agarosa e incubadas a 30 ºC hasta

el desarrollo de las colonias, obteniendo así la influencia tanto de la temperatura como del tiempo de congelación en la viabilidad final.

2.2.3 Secado

Se filtraron 200 mL de un cultivo de *A. ferrooxidans* con una viabilidad inicial de $3{,}5x10^9$ $UFC \cdot mL^{-1}$, empleando un filtro de 0,22 micras. El filtro se introdujo en una placa Petri estéril vacía y se incubó durante 24 horas a 30 ºC, con el objetivo de secar la biomasa retenida en el mismo. Transcurrido el tiempo de secado se determinó la viabilidad de las células tras el proceso de preservación. Para ello, el filtrado seco fue resuspendido en 10 mL de agua destilada y se prepararon diluciones seriadas de la muestra, las cuales se sembraron en Medio B y se incubaron a 30 ºC durante 12 días.

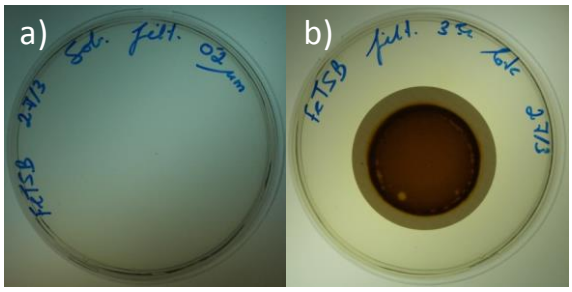
3. Resultados

3.1 Medio de cultivo y separación de la biomasa

Los medios de cultivo B y C permitieron desarrollar colonias en medio sólido en un plazo de 6-7 días de incubación a 28 ºC. Por el contrario, no se observó desarrollo microbiano alguno en las placas con Medio A, incluso tras 11 días de incubación. El Medio B (FeTSB) fue el seleccionado para la realización de los recuentos de viabilidad del microorganismo, dada su menor complejidad.

La filtración del cultivo empleando filtros de 0,45 micras no permitió separar la biomasa del sobrenadante. A los 7-8 días de cultivo a 30 ºC, se observó desarrollo microbiano tanto en el sobrenadante no filtrado como en el sobrenadante filtrado mediante los filtros de 0,45 micras. Por el contrario, el empleo de filtros de 0,22 micras, permitió la filtración efectiva del sobrenadante. A los 7 días de incubación a 30 ºC se observó desarrollo microbiano únicamente en el caso de los microorganismos retenidos en el filtro, mientras que el sobrenadante no presentó crecimiento bacteriano alguno (Figuras 3a y 3b, respectivamente). De esta manera, se confirmó la posibilidad de usar filtros de 0,22 micras para la separación de la biomasa presente en los sobrenadantes.

Figura 3. Filtrado de un cultivo de 3 días: a) sobrenadante filtrado mediante un filtro de 0,22 micras, b) biomasa obtenida de la filtración del sobrenadante mediante un filtro de 0,22 micras.



3.2 Conservación de la cepa *A. ferrooxidans*

3.2.1 Liofilización

La única muestra completamente liofilizada cuando se estableció un tiempo de secado primario de 12 horas (Proceso 1) resultó ser el control negativo. Por el contrario, las muestras

procesadas en presencia de glicerol (5% p/v), sacarosa (18% p/v) ó trehalosa (15% p/v) presentaron restos de humedad, indicativo de que la duración del secado primario no fue suficiente.

En cuanto a la viabilidad obtenida inmediatamente tras el Proceso 1 (12 h de secado primario), solo el control negativo presentó una viabilidad superior a 10^5 UFC·mL^{-1} (Tabla 3). A pesar de que en este primer ensayo el control negativo presentó entre 13 y 375 veces mejor viabilidad que las muestras tratadas con alguno de los crioprotectores, la viabilidad cayó 4 órdenes de magnitud respecto al valor inicial.

Tabla 3. Viabilidades de las muestras antes (UFC inicial) y después de ser liofilizadas (UFC liof.) en el primer ensayo de liofilización.

	Secado primario: 12 horas			Secado primario: 35 horas		
	UFC_0	UFC_{liof}	% recup	UFC_0	UFC_{liof}	% recup
Control negativo	$1{,}8\cdot10^9$	$1{,}0\cdot10^5$	$5{,}0\cdot10^{-3}$	$5{,}2\cdot10^8$	$9{,}0\cdot10^6$	1,7
Glicerol (5 %)	$1{,}8\cdot10^9$	$2{,}8\cdot10^2$	$2{,}0\cdot10^{-5}$	$5{,}2\cdot10^8$	$8{,}8\cdot10^6$	1,7
Sacarosa (18 %)	$1{,}8\cdot10^9$	$3{,}4\cdot10^3$	$2{,}0\cdot10^{-4}$	$5{,}2\cdot10^8$	$4{,}5\cdot10^6$	0,9
Trehalosa (15 %)	$1{,}8\cdot10^9$	$8{,}1\cdot10^3$	$4{,}0\cdot10^{-4}$	$5{,}2\cdot10^8$	$5{,}2\cdot10^6$	1,0

El incremento del tiempo de secado primario a 35 horas (Proceso 2) permitió que tanto el control negativo como la muestra tratada con trehalosa (15% p/v) quedaran completamente liofilizadas. Las muestras tratadas con glicerol (5% p/v) y sacarosa (18% p/v) siguieron presentando restos de humedad, indicativo de un liofilizado incompleto.

Tras el Proceso 2, la viabilidad de las muestras finales mejoró notablemente respecto a la liofilización en la que se empleó un tiempo de secado primario de 12 horas, a pesar de partir con una muestra con menor recuento celular inicial ($5{,}2\cdot10^8$ frente a $1{,}8\cdot10^9$ UFC·mL^{-1}). En este segundo caso, todas las muestras presentaron una viabilidad superior 10^6 UFC·mL^{-1}, cuando en el ensayo anterior solamente el control negativo presentó valores superiores a 10^5 UFC·mL^{-1}.

3.2.2. Congelación

3.2.2.1. Criocongelación en viales Eppendorf

La presencia de los diferentes crioprotectores empleados tuvo en efecto similar en las muestras independientemente del tiempo de congelación. Tanto tras 14 como 28 días de almacenamiento, las muestras que mejor viabilidad presentaron fueron aquellas congeladas en presencia de betaína y de agua destilada, tal y como se recoge en la Tabla 4. A pesar de que los otros dos crioprotectores empleados también permitieron recuperar el microorganismo tras la congelación, la viabilidad de las muestras fue mucho menor (Tabla 4).

Tabla 4. Viabilidades de las muestras congeladas, antes y recuperadas a los 14 y 28 días de haber sido congeladas.

	0 días	14 días	28 días	Viabilidad 28 *vs.* 0 días (%)
Control negativo	$1{,}3\cdot10^9$	$2{,}0\cdot10^8$	$2{,}0\cdot10^8$	15,2
Glicerol (5 %)	$1{,}3\cdot10^9$	$2{,}1\cdot10^4$	$4{,}4\cdot10^5$	0,03
Betaína (6 %)	$1{,}3\cdot10^9$	$5{,}0\cdot10^8$	$5{,}1\cdot10^8$	37,8
Betaína (6 %) + Glicerol (30 %)	$1{,}3\cdot10^9$	$1{,}2\cdot10^7$	$2{,}2\cdot10^7$	1,6

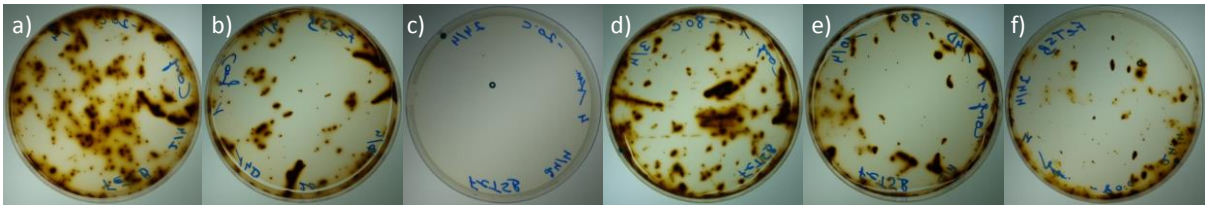
Las muestras almacenadas en presencia de betaína presentaron una viabilidad de $5,1x10^8$ $UFC \cdot mL^{-1}$ tras 28 días, lo cual implica que este método de conservación permite mantener una viabilidad del 37,8 % respecto al valor inicial. A pesar de que la adición de betaina permitió conservar hasta casi un 40% de la viabilidad original de la muestra, la muestra congelada en agua destilada mantuvo una viabilidad del 15% respecto a la inicial. Por lo tanto, la congelación en agua destilada permitiría recuperar eficientemente el microorganismo (recuentos superiores a 10^8 a los 28 días de la congelación), abaratando costes al no necesitar ningún tipo de agente crioprotector en el proceso.

Respecto al tiempo de congelación, se determinó que este parámetro (hasta 28 días) no tuvo una influencia apreciable en la viabilidad final de las muestras. Independientemente del crioprotector empleado, la viabilidad final fue muy similar tras 14 y 28 días de congelación (Tabla 4).

3.2.2.2 Congelación en crioviales comerciales

Respecto a las muestras congeladas y almacenadas en crioviales comerciales, la viabilidad de estas varió con el tiempo y con la temperatura de congelación testada. Tal y como se puede observar en la Figura 4, independientemente de la temperatura de congelación, la viabilidad fue disminuyendo a lo largo del tiempo. Sin embargo, en el caso de la muestra almacenada a -20 ºC (Figuras 4a-4c), la caída en la viabilidad fue más acusada que en el caso de la muestra almacenada a -80 ºC (Figuras 4d-4f). Si con la muestra almacenada a -80 ºC, a los 28 días todavía fue posible recuperar el microorganismo (Figura 4f), a -20 ºC no creció ninguna colonia (Figura 4c).

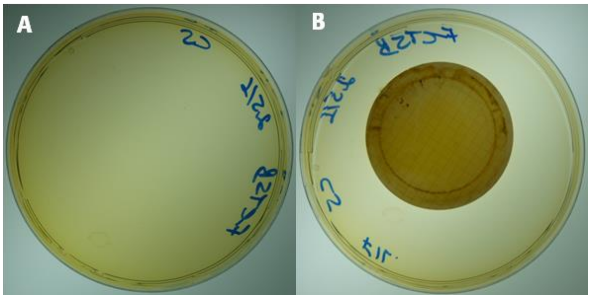
Figura 4. Viabilidad del microorganismo congelado a -20 ºC (A, B, C) y -80 ºC (D, E, F) en crioviales comerciales: a) criovial -20 ºC recuperado a los 7 días de congelación, b) criovial -20 ºC recuperado a los 14 días de congelación, c) criovial -20 ºC recuperado a los 28 días de congelación, d) criovial -80 ºC recuperado a los 7 días de congelación, e) criovial -80 ºC recuperado a los 14 días de congelación, f) criovial -80 ºC recuperado a los 28 días de congelación.



3.3 Secado

En cuanto a los resultados obtenidos tras el secado del filtro a 30 ºC durante 24 horas, se concluyó que el secado del mismo afectaba negativamente a la viabilidad del mismo (Figura 5), cayendo hasta un valor de cero. A los 12 días de incubación a 30 ºC, en ninguna de las diluciones se observó crecimiento microbiano. Asimismo, la muestra sembrada sin diluir (Figura 5a), así como la siembra directa del filtro lavado en Medio B (Figura 5b), tampoco presentaron crecimiento microbiano.

Figura 5. Biomasa secada durante 24 horas a 30 ºC: a) biomasa seca y resuspendida en agua destilada estéril, b) siembra del filtro después de haber resuspendido la biomasa retenida en el filtro secado.



4. Conclusiones

El medio FeTSB (Medio B) resultó ser el más adecuado de los tres testeados para el cultivo de *A. ferrooxidans*, debido a su simplicidad. El empleo de filtros de 0,22 micras permitió obtener un filtrado completamente estéril.

La liofilización afectó negativamente a la viabilidad de la cepa estudiada, ya que el porcentaje de recuperación tras el proceso de liofilización no superó el 2% en ninguno de los casos. Un incremento del tiempo de secado primario de 12 a 35 horas permitió mejorar el secado de algunas de las muestras liofilizadas, si bien aún tras ese incremento las muestras resuspendidas en glicerol (5% p/v) y sacarosa (18% p/v) todavía presentaban un grado de humedad notable.

El secado resultó ser un proceso no apto para la preservación de *A. ferrooxidans,* ya que anuló toda posibilidad de crecimiento microbiano tras el proceso.

El proceso de criocongelación en viales Eppendorf mostró una alta dependencia del tipo de crioprotector empleado, obteniendo los porcentajes de recuperación más elevados para el caso del control negativo y la betaína (un 15% y un 40%, respectivamente). Sin embargo, el tiempo de congelación, hasta 28 días, no tuvo influencia en la viabilidad celular. Por el contrario, la viabilidad de las muestras disminuyó de manera apreciable con el tiempo de congelación en las muestras congeladas en los crioviales comerciales. La temperatura también resultó ser un factor importante, habiéndose obtenido mejores resultados almacenando las muestras a -80 ºC.

Por tanto, la congelación a -80 ºC empleando crioviales Eppendorf o crioviales comerciales es el procedimiento que proporciona los mejores resultados respecto de la viabilidad para los microorganismos del tipo *A. ferrooxidans* estudiados en este trabajo.

5. Referencias

Chang, J.H., Hocheng, H., Chang, H.Y., & Shih, A., (2008). Metal removal rate of Thiobacillus thiooxidans without pre-secreted metabolite. Journal of Materials Processing *Technology, 201,* 560-564.

Eskandarian, M., Karimi, A., & Shabgard, M., (2013). Studies on enzymatic biomachining of copper by glucose oxidase. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 44*, 331-335.

García López, M.D., López-Coronado, J.M., López-Ocaña, L., & Uruburu Fernández, F., (2011). Preservation of microbial strains in the wine industry. *Molecular Wine Microbiology,* 303-318.

Hocheng, H., Jadhav, U.U., & Chang, J.H., (2012). Biomachining rates of various metals by Acidithiobacillus thiooxidans. *International Journal of Surface Science and Engineering, 6 (1/2),* 101-111.

Hocheng, H., & Jadhav, U., (2015). Process of biological machining. A.Y.C. Nee (Ed.). *Handbook of manufacturing Engineering and Technology* (pp. 1687-1713). London: Springer-Verlag.

Jadhav, U., & Hocheng, H., (2014). Use of Aspergillus niger 34770 culture supernatant for tin metal removal. *Corrosion science, 82,* 248-254.

Johnson, D.B., Macvicar, J.H.M., & Rolfe, S., (1987). A new solid medium for the isolation and enumeration of Thiobacillus ferrooxidans and acidophilic heterotrophic bacteria. *Journal of Microbiological Methods, 7,* 9-18.

Kurtzman, C.P., & Labeda, D.P., (2009). Type culture collections and their databases. Third Edition. *Encyclopedia of Microbiology* (pp. 306-312). Elsevier Inc.

Masoumik, S.M., Hanim Abdul-Rashid S., & Udoncy Olugu, E., (2015). Importance-Performance analysis of green strategy adoption within the Malaysian manufacturing industry. *Procedia CIRP*, *26*, 646-652.

Robertson, L.A., & Gijs-Kuenen, J., (2006). The genus Thiobacillus. *Prokaryotes, 5,* 812-827.

Saragih, A.S, & Jo Ko, T., (2013). Development of digital lithography masking method with focusing mechanism for fabrication of micro-feature on biomachining process. *Journal of Mechanical Science and Technology, 27 (10)*, 3017-3022.

Shikata, S., Sreekumari, K.R., Nandakumar, K., Ozawa, M., & Kikuchi, Y., (2009). Laboratory studies on biomachining of copper using Staphylococcus sp. *Biofouling, 25 (9),* 557-562.

Sugio, T., Domatsu, C., Tano, T., & Imai K., (1984). Role of ferrous ions in synthetic cobaltous sulfide leaching of Thiobacillus ferrooxidans. *Applied and Environmental Microbiology, 48 (3),* 461-467.

Suwandi, D., Whulanza, Y., & Istiyanto, J., (2014). Visible light maskless photolithography for biomachining application. *Applied Mechanics and Materials, 493,* 552-557.

Uno, Y., Kaneeda, T., & Yokomizo, S., (1993). Bio-machining of metals by bacteria Thiobacillus ferrooxidans. *Proceedings of the 7th International Precision Engineering Seminar,* 290-301.

Yang, Y., Wang, X., Liu, Y., Wang, S., & Wen, W., (2009). Techniques for micromachining using Thiobacillus ferrooxidans based on different culture medium. *Applied Mechanics and Materials, 16-19*, 1053-1057.

04-013

STUDY OF THE EFFICIENCY OF SPECIAL WASTE SELECTIVE COLLECTION IN RECYCLING CENTRES

Gallardo Izquierdo, Antonio; Edo Alcón, Natalia; Colomer Mendoza, Francisco J.; Carlos Alberola, Mar
Universitat Jaume I

Within the municipal solid waste there are some kind of waste that due to their level of hazard, volume and generation frequency are classified as special waste. Some examples of this type of waste are rubble, furniture and old belongings, household appliances out of use, oil, batteries, etc. This materials collection due to legal or logistic issues should be done selectively. In the mid-nineties, the green points (or recycling centres) were created as a possible solution. They are facilities usually located on the outskirts of the towns and they are prepared to store these components. The citizens carry themselves their special waste to these points. To improve the collection service, other additional mobile green points have been located. The success of these facilities is based on the good service offered to the citizens and also on their adequate fixed or mobile location. In this paper, the authors present the results of the management efficiency of this special selective collection in towns of the Castellon region in Spain. For this purpose, a set of indicators have been elaborated to measure the efficiency of this type of facilities.

Keywords: *municipal solid waste; recycling centre; generation; selective collection*

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN LA RECOGIDA DE RESIDUOS DOMICILIARIOS ESPECIALES MEDIANTE PUNTOS LIMPIOS

Dentro de los residuos domiciliarios existe una fracción que por sus características de peligrosidad, volumen y frecuencia de generación se pueden clasificar de especiales, tales como escombros, muebles y enseres viejos, electrodomésticos fuera de uso, aceites, baterías, etc. La recogida de estos materiales, bien por normativa o por cuestiones de logística, debe hacerse de forma separada. Como solución, a mediados de los años noventa aparecieron los puntos limpios, que son instalaciones situadas normalmente en los extrarradios de las poblaciones y preparadas para el almacenamiento de estos componentes. El ciudadano transporta con medios propios sus residuos especiales a estos lugares. Para dar un mayor servicio a la sociedad, adicionalmente se están implantando los puntos limpios móviles. El éxito de estas instalaciones radica en dar un buen servicio al ciudadano y tener una adecuada ubicación fija o temporal. En esta ponencia se presentan los resultados del análisis de la eficiencia de la gestión de la recogida separada mediante puntos limpios, fijos y móviles, en pueblos de la zona norte de la provincia de Castellón. Para ello se ha desarrollado un conjunto de indicadores que sirven para medir la eficiencia de este tipo de instalaciones

Palabras clave: *residuos municipales especiales; puntos limpios; generación; recogida separada*

Correspondencia: Antonio Gallardo Izquierdo gallardo@uji.es

Agradecimientos: Agradecer la colaboración del Consorci Castello Nord y del Ayuntamiento de Castellón de la Plana por la información facilitada. También agradecer al Ayuntamiento de Madrid y al Área Metropolitana de Barcelona por la publicación de sus datos en las web.

1. Introducción

Dentro de los residuos domiciliarios existe una fracción que por sus características de peligrosidad, volumen y frecuencia de generación se pueden clasificar de especiales, tales como escombros, muebles y enseres viejos, electrodomésticos fuera de uso, aceites, baterías, etc. La recogida de estos materiales, bien por normativa o por cuestiones de logística, debe hacerse de forma separada.

Como solución, a mediados de los años noventa aparecieron los puntos limpios, que son instalaciones situadas normalmente en los extrarradios de las poblaciones y preparadas para el almacenamiento de estos materiales. Los ciudadanos acuden por sus propios medios a estos lugares. Allí, pueden depositar de forma selectiva una amplia gama de residuos sólidos de origen doméstico, que por su naturaleza no son susceptibles de ser depositados en los contenedores habituales.

Los puntos limpios complementan de esta forma el resto de sistemas de recogida selectiva y facilitan la recogida de una serie de residuos especiales o peligrosos, que de otra forma pueden acabar en vertederos incontrolados o en contenedores inapropiados. Para dar un mayor servicio a la sociedad, adicionalmente, se están implantando los puntos limpios móviles. Se trata de instalaciones o vehículos especialmente diseñados para acercar estos puntos de recogida a los ciudadanos. El éxito de estas instalaciones radica en dar un buen servicio, en cuanto a residuos admitidos, tener una adecuada ubicación, franja horaria e información ciudadana.

A nivel europeo, el concepto de punto limpio está muy extendido, a pesar de que existen diferencias entre países y regiones. Se trata también de una instalación cerrada donde los usuarios llevan residuos que no tienen cabida en otro circuito de recogida selectiva. En Francia toman el nombre de *déchettèrie*, en Alemania de *recyclinghof*, en Italia de *ricicleria o stazioni ecologiche* y en Reino Unido de *recycling centre o civic amenitie.* La figura de punto limpio móvil también aparece en países como Francia, Bélgica, Suiza y Reino Unido. En este último además existen los puntos limpios de barrio, denominados *neighbourhood recycling sites* (Agència de Residus de Catalunya, 2006).

Los puntos limpios varían de tamaño en función a la población a la que atienden. Los más pequeños se suelen instalar en poblaciones menores de 10.000 habitantes. Son un recinto cerrado con valla y varios contenedores donde los ciudadanos depositan sus residuos previamente separados. Los de mayor tamaño están dimensionados para poblaciones de hasta 150.000 habitantes y disponen de personal propio, báscula de pesaje, muelles de descarga, etc. (Gallardo et al., 2006).

La legislación a nivel nacional para la regulación de estas instalaciones es inexistente. Sin embargo, a nivel autonómico, la Generalitat de Cataluña define en su Ley 6/1993 *deixalleria* o punto limpio como un centro de recepción y almacenamiento, selectivo, de residuos municipales que no son objeto de recogida domiciliaria. También determina que en los municipios de más de 5.000 habitantes la autoridad competente ha de establecer el servicio de “deixalleria” o punto limpio mediante la instalación de la planta o las plantas necesarias para la recogida de estos residuos especiales. Además, dispone de una norma donde se establecen las prescripciones técnicas para el diseño, construcción, gestión y explotación de estas instalaciones. En ella se definen 6 tipos de puntos limpios en función de la población servida, las características que deben cumplir y los residuos que se aceptan en los mismos. Entre los seis tipos se incluye el punto limpio móvil y los mini-puntos limpios de barrio.

En Reino Unido, Burnley et al. (2007) y Burnley (2007) estudiaron la composición de las diferentes corrientes de residuos sólidos urbanos (RSU), incluidas la de los puntos limpios. Se obtuvo que en estas instalaciones se recogen el 16% del total de los RSU generados en

el país y que la descarga media por visita es de 40 kg. Las fracciones mayoritarias son: los residuos de construcción y demolición (RCD), los de jardinería y los de madera y muebles, sumando un 52% de las entradas. Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs) suponen casi un 7% y los peligrosos un 1,4%. Otro trabajo de investigación estudió la gestión de los residuos voluminosos generados en los hogares, obteniendo, entre otros resultados, que el 60% de los británicos depositaban este tipo de residuos en los puntos limpios y que, además, estos tenían un alto potencial para la reutilización (Curran et al., 2007). Mientras que Maynard et al. (2009) estudiaron cómo afectaba una serie de factores como el tipo de vehículo, diseño del punto limpio, época del año, etc. en el rendimiento y la cantidad de residuos recogidos.

Por otro lado, en Suecia, Krook y Eklund (2010) llevaron a cabo dos trabajos de investigación diferentes. En el primero estudiaron la influencia de los actores (usuarios, empleados, gerentes e intermediarios) en el funcionamiento eficiente de los puntos limpios y en la calidad de la clasificación de los materiales. Uno de los problemas que detectaron fue que son muchos los residuos clasificados incorrectamente. En este sentido, en su segundo trabajo, desarrollaron un método de monitoreo para el seguimiento de la clasificación de los residuos y para el desarrollo y evaluación de las medidas de mejora. En este mismo contexto, existen también estudios para la mejorar el diseño de los puntos limpios en Suecia a través de los principios de producción ajustada (Sundin et al., 2011).

En España, Gallardo (2000) analizó el funcionamiento de varias instalaciones y definió los aspectos a tener en cuenta para que un punto limpio funcione de marera eficiente. Por un lado, los horarios y días de apertura deben ser flexibles y adecuarse a las necesidades de los ciudadanos. Gallardo obtuvo que los días de mayor aportación son los sábados, con un 20% del total de las entradas semanales, y la franja horaria de mayor afluencia son las de 12-14 horas y de 16-20 horas. Además, en relación a la variación mensual, se observó una diferencia notable entre los municipios turísticos y el resto. Por otro lado, la ubicación es otro aspecto importante, se recomienda que el tiempo máximo del trayecto hasta el punto limpio sea de 15 minutos. Sin embargo, la distancia a recorrer puede variar en función de las condiciones de circulación, por lo que se estima una distancia de 2-5 kilómetros en zonas urbanas y de 5-10 kilómetros en rurales (Agència de Residus de Catalunya, 2009). En este sentido, el mismo autor, desarrolló una metodología para la ubicación de puntos limpios, aplicándola al término municipal de Castellón de la Plana (Gallardo et al., 2006).

El Ayuntamiento de Barcelona, en el año 2012, estudió el estado de la reutilización de los residuos procedentes de sus puntos limpios, las tendencias temporales que se dan en ellos y el potencial de reutilización de las fracciones de RAEEs, voluminosos, metales y plástico duro. En relación a las tendencias, se observó que el sábado es el día en el que se registran más entradas (al igual que Gallardo (2000)). Además, en las semanas posteriores a Navidad la cantidad de residuos depositados aumentó y se mantuvo elevada, siendo el día posterior a Reyes el que mayores entradas registró de todo el año. En cuanto al potencial de reutilización, obtuvieron que el 26% de las unidades recogidas podían ser reutilizadas directamente y un 50-60% podrían reutilizarse mediante su verificación, limpieza, reparación y/o aprovechamiento de piezas (Galofrè et al., 2012). Por último, otro trabajo llevado a cabo en Madrid, analizó la influencia de las campañas de educación ambiental en el uso de los puntos limpios de la ciudad En él se obtuvo que tan solo el 18% de la población usaba este servicio, pero que gracias a las campañas de educación se aumentó la intención de utilizar esta vía de gestión y se mejoró la separación de los residuos (Diaz et al., 2012).

En esta ponencia se presentan los resultados del análisis de la eficiencia de la gestión de la recogida separada mediante puntos limpios, fijos y móviles, en pueblos de la zona norte de la provincia de Castellón. Además, los resultados obtenidos se han comparados con otros sistemas similares implantados en España.

2. Materiales y método

Para el estudio de la eficiencia de los puntos limpios se ha elegido el territorio del Consorci Castelló Nord de residuos de la provincia de Castellón. Está situado al norte y limita con Tarragona, comprende 49 pueblos, con una población de entre 15 y 29.000 habitantes, en total suma 21.647 habitantes. Las redes de recogidas existentes son las siguientes:

- Recogida de residuos de la fracción mezcla a nivel de acera.
- Recogida en áreas de aportación de: papel/cartón, vidrio y envases.
- Recogida separada de especiales como pilas, medicamento, ropa, etc. en contenedores dispuestos en la calle o en locales públicos y privados.
- Recogida en puntos limpios. Existen puntos limpios fijos y móviles en los que se recogen diferentes tipos de residuos especiales.

Tras la recopilación y depuración de los datos, se han analizado los siguientes aspectos relacionados con la eficiencia del sistema:

- Modelo de gestión
- Análisis de los datos de recogida
- Análisis de la composición de los residuos.
- Comparación de los datos obtenidos con otros sistemas similares.

3. Resultados y discusión

3. 1 Modelo de gestión

La ejecución y gestión del sistema de recogida selectiva mediantes puntos limpios (PPLL) en la zona norte de Castellón la lleva a cabo el consorcio público Consorci Castelló Nord (CCN), formado por varias entidades públicas y los ayuntamientos. Éste realiza la gestión a través de una concesión a una empresa privada. El consorcio tiene por objetivo la ejecución de las previsiones del plan zonal de residuos de la Zona I, de Plan Zonal de Residuos de la Generalitat Valenciana.

El sistema de recogida está formado por 41 PPLL fijos. La normativa valenciana tiene regulada este tipo de instalaciones (ORDEN de 4 de octubre de 2001, del conseller de Medio Ambiente, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de la Zona I), en el que clasifica el PL, llamado ecoparque, en función del número de habitantes del municipio, en 4 tipos y para cada uno especifica las características que deben cumplir. Además de estas instalaciones el CCN también dispone de seis PPLL móviles, es decir, camiones diseñados para este fin y que recorren 34 de los 49 pueblos del consorcio.

En el CCN, los diez municipios con una población superior a 2.000 habitantes poseen un PL, cuyo horario de apertura es, como mínimo, de lunes a sábado y en algunos casos parte del domingo. Además, en estas poblaciones existe un servicio extra de PL móvil un día a la semana. Los municipios cuya población es menor, la recogida de este tipo de residuos puede realizarse mediante un PL fijo o móvil. Si se trata de un PL fijo el horario de apertura varía en función del tamaño del municipio, para municipios comprendidos entre 1.000 y 2.000 habitantes es de cinco o seis días a la semana con un horario más reducido (media jornada). En el caso de municipios menores a 1.000 habitantes su horario de apertura es solo de cuatro días a la semana, a media jornada.

Por otro lado, en 15 municipios de menos de 2.000 habitantes existen PPLL denominados áreas de aportación en las que se recogen solo RCD, voluminosos y madera. Éstos no disponen de personal propio y están abiertos los 7 días de la semana. Estas poblaciones tienen también el servicio de PL móvil que puede variar de uno a cuatro días a la semana. Los municipios menores de 500 habitantes son 11, y la recogida solo se realiza mediante PL móviles.

El grado de cobertura es del 100% de la población y en 23 municipios es redundante (disponen de PL fijo y móvil)

Respecto a la difusión de la información del sistema, se realiza a nivel de ayuntamientos y mediante una web institucional del consorcio, en la que se ofrece información sobre horarios y tipos de residuos a depositar en las instalaciones. Para incentivar la participación ciudadana, el Consorcio gratifica la aportación de residuos a los PPLL mediante un programa de "ecopuntos", por los cuales los ciudadanos pueden desde recibir regalos hasta descuentos en la tasa de tratamiento de residuos.

Finalmente, los residuos recogidos van a instalaciones de tratamiento en un 99,19%, el resto va directamente a eliminación. En el caso del Área Metropolitana de Barcelona, el porcentaje de residuos que va a eliminación directa es un 15%.

3. 2 Recogida de residuos

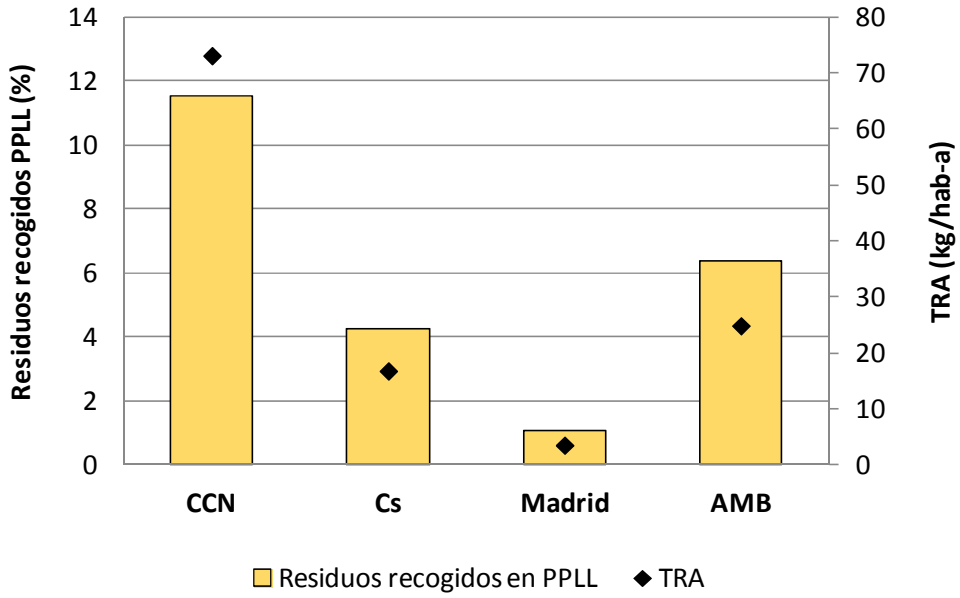
Tras el análisis de los datos obtenidos de diversas fuentes sobre la recogida de RSU en el año 2013, se ha obtenido que en el CCN se recogieron en total 77.061 toneladas de RSU, de ellas el 80,45% fueron fracción mezcla, el 8,01% fueron residuos procedentes de recogida selectiva (papel/cartón, vidrio y envases) y el 11,53 % proceden de los PPLL.

Si se compara con otros sistemas similares de recogida selectiva mediante PPLL (por sistemas similares se entiende que recogen la misma tipología de RSU), se pude estimar la eficiencia del sistema. A partir de datos obtenidos de diferentes informes, se han calculado los rendimientos de tres casos (Castellón de la Plana, Madrid y Área Metropolitana de Barcelona). La ciudad de Castellón de la Plana, en el año 2013, recogió con el sistema de PPLL el 4,24% del total de RSU (Ayto. de Castellón, 2015). En la ciudad de Madrid este porcentaje es de un 1,09% para el año 2012 (Dirección General de Gestión Ambiental Urbana del Ayto. de Madrid, 2013). En el Área Metropolitana de Barcelona (AMB), formada por 36 municipios, la cifra asciende al 6,38% en el año 2012 (Área Metropolitana de Barcelona, 2013). En los tres casos los porcentajes son mucho más bajos que en el CCN (figura 1). A nivel europeo, el estudio publicado por Burnley (2007), referido al Reino Unido, proporciona el dato del 16%, muy superior a los casos españoles.

En cuanto a las tasas de recogida anuales (TRA), expresadas en kilogramos recogidos por persona y año, en el Consorcio la TRA de RSU (TRA_{RSU}) para el año 2013 se situó en 633,48 kg/hab-a, mientras que la TRA_{PPLL} fue de 73,06 kg/hab-a. Esta última tasa es muy elevada si se compara con las de la ciudad de Castellón de la Plana (TRA_{PPLL} = 16,80 kg/hab-a en el año 2013), Madrid (TRA_{PPLL} = 3,54 kg/hab-a en el año 2012) y la del Área Metropolitana de Barcelona (TRA_{PPLL} = 24,86 kg/hab-a en el año 2013) (figura 1).

Caben varias explicaciones a este hecho, la primera es que el CCN tiene en la mayoría de los pueblos un sistema redúndate. La segunda es que se trata de una zona rural, en el caso de Castellón de la Plana, Madrid y Barcelona son zonas urbanas, esto también puede afectar al porcentaje recogido. Finalmente, el CCN gratifica la aportación de residuos a los PPLL.

Figura 1. TRA y porcentaje de residuos recogidos en los PPLL



3.3 Composición

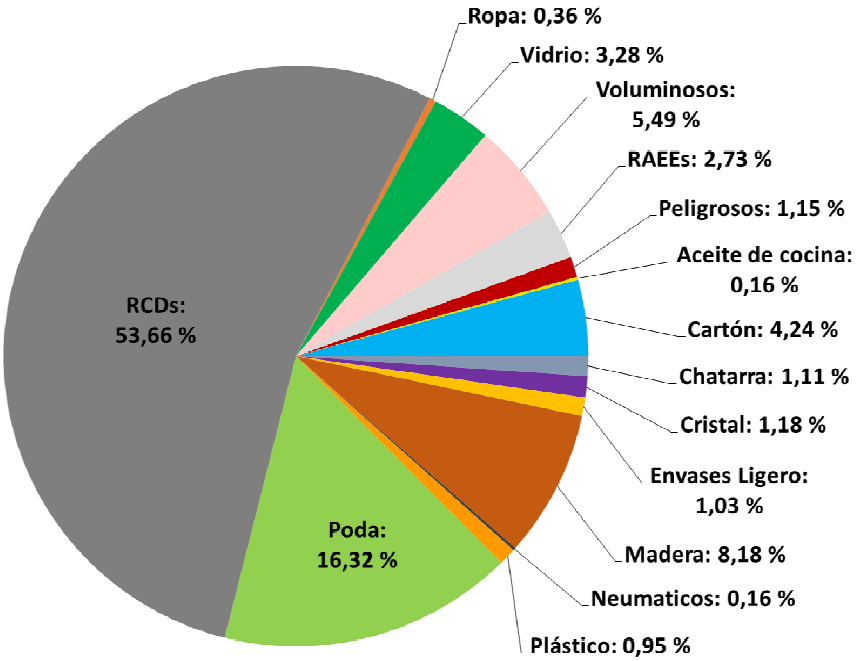
Otro de los aspectos estudiados en el trabajo ha sido la composición de los residuos recogidos en los PPLL. Se dividen en 31 categorías, 14 de no peligrosos y 17 de peligrosos (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías de componentes recogidos en los PPLL del CCN

RESIDUOS NO PELIGROSOS		
Aceite de cocina	Madera	RCDs
Cartón	Neumáticos	Ropa
Chatarra	Plástico	Vidrio
Cristal	Poda	Voluminosos
Envases Ligeros	RAEEs	
RESIDUOS PELIGROSOS		
Aceite de motor	Envases metálicos contaminados	Medicamentos
Aerosoles vacíos	Envases de plástico contaminados	Resinas catalizadas
Amianto	Envases de vidrio contaminados	Hidrocarburos con agua
Baterías	Filtros de aceite	Sólidos contaminados
Botellas de CFCs	Pilas no botón	Tóners
Disolventes	Pilas botón	

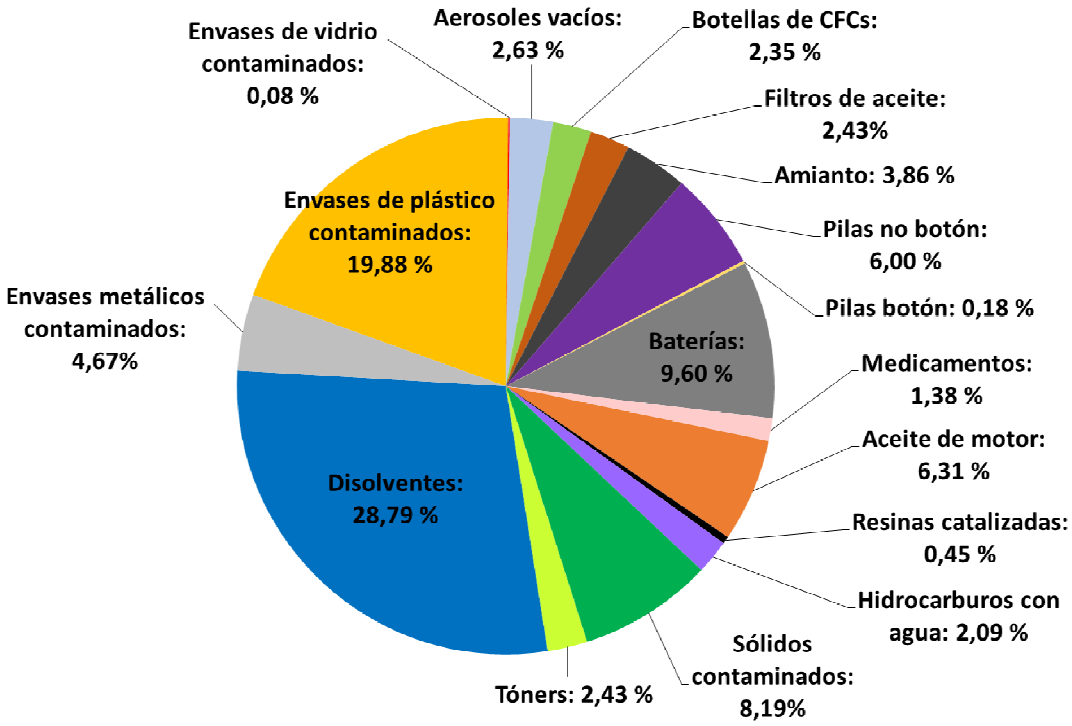
Del total de residuos recogidos en los PPLL del CCN en el año 2013, el 53,66% en peso corresponden a la fracción de RCD, seguidos por los residuos de poda con un 16,32% y los de madera con un 8,18%. Las fracciones minoritarias son los neumáticos, el aceite de cocina y la ropa, con un 0,19%, 0,19% y 0,42% respectivamente (figura 2).

Figura 2. Composición de los residuos recogidos en los puntos limpios del CCN



Como se observa en la figura anterior, los residuos peligrosos solo suponen el 1,30% en peso. Los residuos peligrosos están formados por dieciséis categorías. Dentro de los mismos, las fracciones mayoritarias son los disolventes y los envases de plástico contaminados, y las minoritarias son los envases de vidrio contaminados, pilas botón y resinas catalizadas (figura 3).

Figura 3. Composición de los residuos peligrosos recogidos en los puntos limpios del CCN



Al igual que en la recogida, se ha realizado un análisis de la composición de los residuos recogidos en los PPLL de la ciudad de Castellón de la Plana, la de Madrid y en el AMB. En Castellón las fracciones mayoritarias en los residuos no peligrosos son: escombros (51,64%), voluminosos (29,80%) y papel/cartón (7,19%), y las minoritarias: aceite vegetal (0,13%), plásticos (0,25%) y vidrio (0,49%). En cuanto a los residuos peligrosos, las pilas y baterías son la fracción mayoritaria, con un 1,02%. En Madrid, las fracciones mayoritarias en los residuos no peligrosos son: muebles (41,44%), escombros (31,68%), RAEEs (8,63%) y papel (7,89%), y las minoritarias: vidrio (0,26%) y aceite vegetal (1,99%). En cuanto a los residuos peligrosos, las baterías con un 2,43% son el componente mayoritario. En el AMB las fracciones mayoritarias en los residuos no peligrosos son: escombros (48,21%), madera (17,49%) y otros valorizables (14,18%), y las minoritarias: capsulas monodosis (0,08%), otros envases ligeros (0,06%) y neumáticos (0,04%). En cuanto a los residuos peligrosos, los mayoritarios son los aparatos con CFCs, con el 0,67%.

Comparando con los resultados de los cuatro casos estudiados, el CCN ofrece un porcentaje mayor de los RCD. Esta diferencia puede ser debida al carácter rural del Consorcio. Si se comparan los casos españoles con el Reino Unido (Burnley, 2007), los componentes mayoritarios son los mismos.

4. Conclusiones

Como conclusión al estudio realizado sobre el funcionamiento y la eficiencia del sistema de recogida selectiva de PPLL del CCN, y su comparación con otros sistemas similares implantados en España, se pueden extraer las siguientes conclusiones.

La recogida mediante PPLL con sistemas redundantes (fijos y móviles) da un mayor servicio al ciudadano y por tanto aumenta la TRA, y con ello la eficiencia del sistema. Esto repercute directamente en la mejora de la eficiencia de otros circuitos de recogida y en la reducción de vertidos incontrolados. Por lo tanto, es aconsejable diseñar sistemas redundantes de recogida selectiva mediante PPLL.

La incentivación de la participación ciudadana mediante acciones positivas en las que se gratifica la participación, puede repercutir positivamente en el aumento de la TRA en los puntos limpios.

En los PPLL los residuos no peligrosos que se depositan en mayores cantidades son los RCD, muebles y enseres viejos, madera y restos de jardinería. En cuanto a los peligrosos, existe una gran variabilidad en su tipología, pero todos los casos coinciden en: pilas, baterías y aparatos con CFCs.

5. Referencias

Agència de Residus de Catalunya (2006). *Guia d'implanatció i gestió de deixalleries*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge. Obtenido el 17 de marzo de 2015, de la Agència de Residuos de Catalunya: http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/valoritzacio_reciclatge/instal_lacions_de_gestio/deixalleries/

Agència de Residus de Catalunya (2009). *Norma tècnica sobre deixalleries i altres equipaments municipals*. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge. Obtenido el 17 de marzo de 2015, de la Agència de Residuos de Catalunya: http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/valoritzacio_reciclatge/instal_lacions_de_gestio/deixalleries/

Área Metropolitana de Barcelona (n.d.). *Dades d'interes de las deixalleries metropilitales*. Obtenido el 16 de marzo de 2015, del Área Metropolitana de Barcelona: http://www.deixalleries.com/interes.php

Área Metropolitana de Barcelona (2013). *Dades estadístiques de Medi Ambient: Dades ambientals 2012*. Obtenido el 16 de marzo de 2015, del Área Metropolitana de Barcelona: http://www.amb.cat/s/web/area-metropolitana/dades-estadistiques/medi-ambient.html

Dirección General de Gestión Ambiental Urbana del Ayto. de Madrid (2013). *Memoria de actividades año 2012*. Madrid: Ayto. de Madrid, Dirección General de Gestión Ambiental Urbana. Obtenido de: http://www.madrid.es/UnidadWeb/Contenidos/Publicaciones/TemaMedioAmbiente/Memoria2012/ficheros/limpieza.pdf

Burnley, S. J. (2007). A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom. *Waste Management, 27(10)*, 1274–1285.

Burnley, S. J., Ellis, J. C., Flowerdew, R., Poll, a. J., & Prosser, H. (2007). Assessing the composition of municipal solid waste in Wales. Resources, Conservation and Recycling, 49(3), 264–283.

Cataluña. Ley 9/1993, de 15 de julio, reguladora de los residuos. *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya*, del 28 de julio de 1993, núm. 1.776, pp. 5249 – 5261.

Curran, A., Williams, I. D., & Heaven, S. (2007). Management of household bulky waste in England. *Resources, Conservation and Recycling, 51(1)*, 78–92.

Diaz, M. J., Martinez, E., Pineiro, C., Palavecinos, M., Benayas, J., & Toribio, M. a. (2012). Involvement of citizens in hazardous waste management and use of recycling centres in the city of Madrid (Spain). *Waste Management & Research, 30(7)*, 689–699.

Gallardo, a. (2000). *Metodología para el diseño de redes de recogida de RSU utilizando Sistemas de Información Geografica. Creación de una base de datos aplicable a España.* Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Gallardo, A., García, A., Bovea, M.D. & Colomer, F.J. (2006). Metodología para la ubicación de ecoparques. Aplicación al término municipal de Castellón. *XVII Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos*, Valencia.

Galofrè, A., Morillo, N. & Carreras, A. (2012). *Potencial de reutilització a les deixalleries de Barcelona*. Barcelona: Ayto. de Barcelona, Departamento de gestión de residuos. Obtenido de: http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/prevencio/prevencio_de_residus_municipals/x_jornada_de_prevencio/ponencies/potencial_de_reutilizacio_a_les_deixalleries_de_barcelona.pdf

Krook, J., & Eklund, M. (2010a). Developing a monitoring method facilitating continual improvements in the sorting of waste at recycling centres. *Waste Management, 30(1)*, 32–40.

Krook, J., & Eklund, M. (2010b). The strategic role of recycling centres for environmental performance of waste management systems. *Applied Ergonomics, 41(3),* 362–367.

Maynard, S., Cherrett, T., & Waterson, B. (2009). Monitoring household waste recycling centres performance using mean bin weight analyses. *Waste Management, 29(2)*, 614–620.

Sundin, E., Björkman, M., Eklund, M., Eklund, J., & Engkvist, I. L. (2011). Improving the layout of recycling centres by use of lean production principles. *Waste Management, 31(6)*, 1121–1132.

Valencia. Orden de 4 de octubre de 2001 del conseller de Medio Ambiente, por la que se aprueba el Plan Zonal de residuos de la Zona I. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, del 26 de octubre de 2001, núm. 4.115, pp. 22799 – 22903.

04-014

STUDY OF THE ENERGY RECOVERY OF THE FRACTION REJECTED FROM THE MUNICIPAL SOLID WASTE TREATMENT PLANTS IN SPAIN

Sanchez Lopez, Ismael; Gallardo Izquierdo, Antonio; Edo Alcón, Natalia Universitat Jaume I

In 2012, 21.2 million tonnes of municipal solid waste were collected in Spain (MAGRAMA, 2014), of which 85 percent corresponds to mixed waste. The latter are treated in different plants with the aim of recovering materials for their subsequent recycling and transform the biodegradable organic fraction into compost and biogas. However, of the total amount of material processed in these plants, 42.2 percent are rejected. In Spain, there are 10 energy recovery plants. In 2012, only 13,57 percent of the total amount of material rejected was processed in these plants. The rest was deposited on landfills. Therefore, there is a significant amount of the material rejected, which we do not currently take advantage of it. The aim of this work is to analyse, on the one hand, the potential energy recovery of the material rejected from the municipal solid waste treatment plants in energy recovery plants, studying the energy efficiency of the existing plants. And on the other hand, to analyse the need of new energy recovery plants to take advantage of all the biofuel materials rejected generated in Spain, comparing different energy valorization technologies.

Keywords: *Valorization; Municipal Solid Waste; Material rejected; Incineration; Gasification.*

ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL RECHAZO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN ESPAÑA

En el año 2012 en España se recogieron en torno a 21,2 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (MAGRAMA, 2014) de los cuáles un 85% corresponde a residuos mezclados. Estos últimos son tratados en diferentes plantas con la finalidad de recuperar materiales para su posterior reciclado y transformar la fracción orgánica biodegradable en compost y biogás. Sin embargo, del total de material procesado en estas plantas, una cantidad muy importante (42,2%) es rechazada. En España existen 10 plantas de aprovechamiento energético. En el año 2012 se procesaron en ellas solamente el 13,57% del total de material de rechazo. El resto se depositó en vertedero. Por tanto, existe una cantidad importante que es desaprovechada. El objetivo de este trabajo consiste en analizar, por un lado, el aprovechamiento potencial de los materiales de rechazo procedentes de las plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos en instalaciones de valorización energética, estudiando el rendimiento de las plantas actuales. Y por otro lado, el análisis de la necesidad de construcción de nuevas plantas de valorización energética para aprovechar todo el material combustible del rechazo generado en España, comparando distintas tecnologías.

Palabras clave: *Valorización energética; residuos sólidos urbanos; rechazo; incineración; gasificación.*

Correspondencia: Antonio Gallardo Izquierdo gallardo@uji.es Ismael Sánchez López issanche@uji.es

1. Introducción

Lo que en las sociedades más tradicionales era considerado simplemente como basura, se conceptualiza en las sociedades modernas como residuos. Esto se debe al reconocimiento de las posibilidades de esos materiales de volver a ser utilizados o aprovechados. Del total de los residuos generados, este artículo se ha centrado en los residuos sólidos urbanos (RSU), es decir, aquellos procedentes de los domicilios particulares, comercios, oficinas, servicios y similares. De entre las muchas formas de aprovechamiento, los procesos térmicos se presentan como una alternativa interesante (van Paasen, 2006).

Ante la situación energética española, donde sus principales fuentes energéticas están basadas en el aprovechamiento del carbón y el petróleo, es decir energías no renovables, es importante potenciar las energías renovables como puede ser la fracción combustible de los RSU.

Con el fin de obtener a partir de los RSU productos que puedan tener interés económico, al tiempo que se minimiza su vertido, éstos se pueden someter a distintos procesos de tratamiento. En función del objetivo establecido en los planes integrales de gestión, se elegirá la alternativa de tratamiento más adecuada. Existen tratamientos mecánicos para separar materiales reciclables; biológicos basados en la transformación anaeróbica de la fracción orgánica para obtener biogás (biometanización) y en la aeróbica para producir compost (compostaje). En todos estos tratamientos, aparece una corriente de rechazo que no tiene utilidad, y su destino último es el vertedero. Este rechazo está constituido en su mayor parte por materiales con un alto contenido energético, presentando, a priori, un alto potencial para su utilización como combustible alternativo en procesos térmicos industriales o en plantas de valorización energética (*Waste-to-Energy* - *WtE*, en inglés). Esta valorización se podrá hacer directamente o mediante su transformación en un combustible sólido recuperado (CSR). Los procesos térmicos más utilizados son: incineración, pirólisis, gasificación y plasma (Elias et al. 2005, Bayard, 2010).

Los procesos de tratamiento termoquímico son un componente esencial de un sistema de gestión integrado de los RSU, como confirman numerosos estudios y análisis (Brunner et al., 2004; Porteous, 2005; Psomopoulos et al., 2009). Sus principales ventajas son: (a) gran reducción del residuo en masa (sobre 70-80%) y en volumen (sobre 80-90%), (Consonni et al., 2005); (b) ahorro drástico de espacio, ya que ocupan mucho menos espacio en vertedero para la misma cantidad de RSU. Psomopoulos et al., (2009) estimó que una planta *WtE* que procesa 1Mt/año durante 30 años requiere menos de 100.000 m^2 de espacio, comparado con los 300.000 m^2 que serían necesarios para depositar en vertedero 30Mt de RSU; (c) destrucción de los contaminantes orgánicos, como los hidrocarburos halogenados (Mckay, 2002; Buekens and Cen, 2011); (d) concentración e inmovilización de contaminantes inorgánicos, los cuales pueden ser tratados y eliminados de forma segura (ISWA, 2008; Samaras et al., 2010); (e) reciclado de metales férricos y no férricos de las cenizas y escorias (ISWA, 2006; CEWEP, 2011); (f) reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos. Psomopoulus estimó que 1 tonelada de CO_2 equivalente deja de ser emitida por cada tonelada de residuos procesados térmicamente con respecto a si fuese depositada en vertedero; (g) evitan cargas medioambientales (Arena et al., 2003; Azapagic et al., 2004), ya que las regulaciones en cuanto a emisiones son mucho más severas frente a otras fuentes generadoras de energía.

Mayoritariamente en España se usan las tecnologías de incineración. Estas se han desarrollado para diferentes tipos y formas físicas de residuos, destacándose diseños de inyección líquida, hornos rotatorios, hornos fijos y lechos fluidizados (Oppelt 1986; Kisuk 1998). En la actualidad existen 10 plantas *WtE* de RSU, en las que se procesaron el 13,57% del total del material de rechazo generado en el año 2012, el resto se depositó en vertedero. Por tanto, existe una cantidad importante que es desaprovechada. Además, estas plantas, como la mayoría de las plantas del sur de Europa, son termoeléctricas convencionales, es decir, solamente generan electricidad en el procesado de los residuos. Este hecho hace difícil alcanzar los valores marcados por la Directiva 2008/98 sobre residuos en cuanto a eficiencia energética y poder ser catalogadas según su Anexo II, como plantas R1, es decir, de valorización energética.

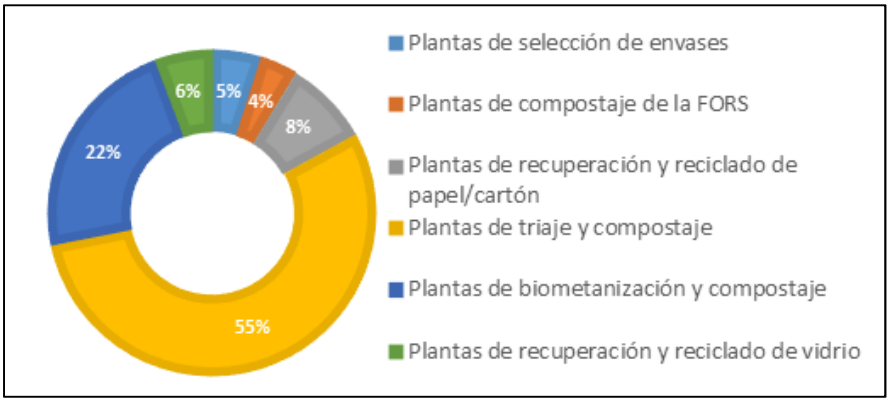
2. Objetivo

El objetivo de este trabajo consiste en analizar, por un lado, la situación actual del tratamiento de RSU en España y el aprovechamiento potencial de la energía contenida en el material de rechazo procedente de las distintas plantas de tratamiento de RSU. Y por otro lado, el análisis del rendimiento y la capacidad de utilización de estos rechazos en instalaciones de valorización energética. Para ello, se han revisado y estudiado diferentes fuentes bibliográficas, analizando el marco regulador y los parámetros que determinan la eficiencia energética según la normativa de instalaciones de valorización energética de residuos, realizando un análisis comparativo entre las distintas plantas.

3. Situación actual del tratamiento de RSU en España

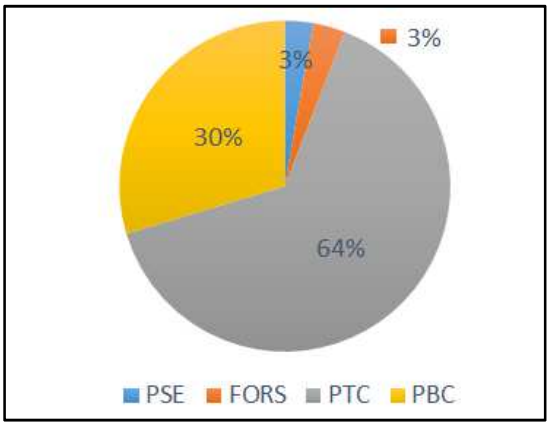
El estudio se ha centrado en el año 2012, puesto que es el último del que se tienen datos completos. En este año se recogieron 21,2 millones de toneladas de RSU (MAGRAMA, 2014), de los cuales 18 millones corresponden a residuos mezclados. El resto fueron recogidos separadamente. Del total de los residuos, un 63% fue tratado en diferentes instalaciones (Figura 1), un 27% se depositó directamente en vertedero y un 10% fue sometido a incineración (Eurostat, 2012). Los residuos son tratados en esas instalaciones en función de la fracción a la que pertenezcan con la finalidad de reutilizar, recuperar materiales para su posterior reciclado y transformar la fracción orgánica biodegradable en compost y biogás (Colomer et al, 2007). Sin embargo, del total de material procesado en las diferentes instalaciones (12,5 millones de toneladas), una cantidad muy importante es rechazada. Este material de rechazo está compuesto principalmente por material combustible (Gallardo et al., 2012).

Figura 1. Porcentaje material entrante en plantas de tratamiento de RSU en España, 2012



Los flujos de materiales de rechazo varían en función del tipo de planta de tratamiento. Así, el porcentaje de rechazo de cada una de las plantas, es de un 42,33% en las de selección de envases (PSE), de un 37,03% en las de compostaje de la fracción orgánica recogida selectivamente (PFORS), de un 60,99% en las de triaje y compostaje (PTC) y de un 75,38% en las de biometanización y compostaje (PBC) (MAGRAMA, 2014; Edo, N., 2012). En el año 2012 la cantidad total de material de rechazo procedente de las plantas de tratamiento de RSU fue de 7,8 millones de toneladas suponiendo un 61,82% del total tratado. Las PTC fueron las que mayor cantidad de rechazos aportaron al total (Figura 2).

Figura 2. Rechazos plantas de tratamiento RSU, 2012



Siguiendo con el análisis de los datos de MAGRAMA, en relación con la cantidad total de rechazos generados en estas plantas, solamente un 13,57% de esos casi 8 millones entró a las plantas *WtE*. El resto del material de rechazo, un 86,43%, tuvo como destino final su depósito en vertedero, lo que supone un 47,79% del total de residuos que entran a los mismos.

Para determinar la viabilidad y el rendimiento de las plantas de valorización energética tanto de residuos en masa como de rechazos, resulta imprescindible determinar el poder calorífico de los mismos. Dependiendo del tipo de planta de tratamiento, la composición de los rechazos será superior en unas fracciones u otras, y por tanto, tendrán un poder calorífico diferente.

En la Tabla 1 (Edo, N., 2012) se observa el poder calorífico inferior (PCI) de las distintas fracciones que pueden estar presentes en los rechazos de las plantas de tratamiento de RSU. En su mayoría, el valor del PCI es bastante elevado si se compara con otros combustibles fósiles como la antracita, con 6.700 kcal/kg, o el lignito, con 2.177 kcal/kg.

A modo de ejemplo, Edo (2012) determinó el PCI del rechazo de una planta de selección de envases (PSE) dando como resultado 3.883,87 kcal/kg sobre materia seca.

Si además, los rechazos procedentes de las distintas plantas de tratamiento de RSU son procesados para ser transformados en combustibles sólidos recuperados (CSR) mediante tratamientos mecánicos (trituración, secado, separación de metales, etc.), es posible obtener un combustible con unas propiedades homogéneas y bien definidas. Por ejemplo, en el caso de rechazos de una PTC, se puede obtener un CSR con un PCI entre 5.600 kcal/kg y 6.100 kcal/kg (Gallardo et al., 2013).

Tabla 1. PCI de las fracciones de RSU

Fracción	PCI (kcal/kg)
Papel/Cartón	2.658,00
Residuos en masa*	2.600,00
Textil/Celulosa	3.929,34
Plástico film	8.344,57
Plástico rígido	7.182,55
Madera	3.393,09
Materia orgánica	2.810,47
Corcho	8.303,37
Caucho/Goma	3.931,22
Poliuretano	6.057,29

Nota: Los valores de PCI están referidos sobre materia seca.
*Datos estimados por Grau et al., (2011)

A partir de los datos analizados, se puede hacer una estimación del potencial energético de los rechazos generados en las plantas de tratamiento para el año 2012 en España (7,8 millones de toneladas). Si se considera que estos rechazos se aprovechan en masa (2.600 kcal/kg), se obtiene una energía potencial contenida de 84.631.600 GJ. En el caso del procesado y transformación en CSR de todos los rechazos generados, para el mismo año, con un PCI medio de 5.800 kcal/kg (Gallardo et al., 2013), y teniendo en cuenta que en el procesado de CSR se pierde un 28% de material, se obtiene una energía potencial contenida en ellos de 188.793.571 GJ.

4. Estado actual de la valorización energética de los RSU en España

La Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos, conocida como Directiva Marco de Residuos, admite la incineración de RSU como operación de valorización energética de residuos, cuando cumpla una eficiencia energética mínima por la aplicación de la Fórmula R1 (Ecuación 1), a la que se hace referencia en su Anexo II, relativo a operaciones de valorización (R de *recovery*). Si no se alcanzan los valores mínimos exigidos en cuanto a eficiencia energética (0,60 tratándose de instalaciones en funcionamiento y autorizadas conforme a la legislación comunitaria aplicable desde antes del 1 de enero de 2009, o 0,65 tratándose de instalaciones autorizadas después del 31 de diciembre de 2008), tal proceso se considerará como una operación de eliminación, categorizándose como D10 (D de *disposal*), según el Anexo I de dicha Directiva.

Estos requisitos del 0,60 y 0,65 de eficiencia energética representan que la energía equivalente producida por la plantas de valorización sea como mínimo del 60% o 65% de la energía que produciría, ya sea en forma de electricidad o de calor, una planta clásica que queme combustibles convencionales.

$$EE = (Ep - (Ef + Ei)) / (0,97 \times (Ew + Ef)) \quad (1)$$

Donde:

Ep: es la energía anual producida como calor o electricidad, que se calcula multiplicando la energía en forma de electricidad por 2,6 y el calor producido para usos comerciales por 1,1 (GJ/año). El factor 2,6 para electricidad está basado en un coeficiente medio europeo de las plantas que usan carbón en un 38%, lo cual significa una demanda energética de 2,6 kWh para la producción de 1 kWh de electricidad. El factor 1,1 para generación de calor está basado a su vez en un coeficiente medio europeo de las plantas de generación de calor del 91%.

Ef: es la aportación anual de energía al sistema a partir de los combustibles que contribuyen a la producción de vapor (GJ/año).

Ew: es la energía anual contenida en los residuos tratados, calculada utilizando el poder calorífico neto de los residuos (GJ/año).

Ei: es la energía anual importada excluyendo *Ew y Ef* (GJ/año).

El factor 0,97 representa las pérdidas de energía debidas a las cenizas de fondo y la radiación.

Se puede observar como en la Fórmula R1, el término *Ep* (energía producida) está restado por *"(Ef + Ei)",* lo que indica que el aporte externo de energía para realizar el proceso es contraproducente a la hora de cumplir con los valores mínimos de eficiencia energética.

La Fórmula R1, sirve para determinar la eficiencia de la instalación para recuperar el poder energético contenido en los residuos y generar electricidad, calor o vapor.

En este sentido, en un estudio sobre la eficiencia de las plantas de valorización energética en Europa, Reimann (2009) clasificó las plantas según tres criterios:

- Tipo de generación: solo electricidad, solo calor, cogeneración (electricidad+calor).
- Tamaño de la planta: pequeño, mediano, grande.
- Localización geográfica: sur de Europa, centro de Europa, norte de Europa.

Así, las plantas con peores resultados en cuanto a eficiencia energética son las que generan solo electricidad. Esto es así ya que la transformación en energía eléctrica con respecto al PCI de los residuos varía entre un 20 y 30 %, debido a pérdidas en los gases de escape por radiación, en cenizas y en escorias. Sin embargo, la energía térmica disponible es de un 75% de la energía introducida en el proceso. A su vez, esta energía térmica puede ser convertida en electricidad con un rendimiento en torno al 30% debido principalmente al vapor de escape de las turbinas (Romero, A., 2010). Este aspecto es importante, ya que la mayor parte de las plantas del sur de Europa generan en su inmensa mayoría únicamente electricidad, por lo que se estaría primando a las plantas de climas más fríos, las cuales tienen unas demandas de calor, ya sea en forma de agua caliente o de calefacción mucho más alta que en lugares de climas más cálidos.

Reimann también encontró una serie de patrones condicionantes que deben cumplirse para que una planta de valorización supere los valores de eficiencia energética sin problemas, y fueron los siguientes:

- La planta de valorización debe estar comunicada con una red de distribución de calor, poco común en el sur de Europa.
- Garantizar una demanda estable y continua de calor, ya que no es posible almacenarlo. Además, para que el proceso de valorización energética sea eficiente debe ser continuo y estable a su vez.
- La localización de la planta se debe dar en zonas urbanas o muy cercanas a los núcleos urbanos o en polígonos industriales para dar salida a ese calor generado.

El Centro Común de Investigación de la Comisión Europea en 2012, emitió un informe (*Energy recovery Efficiency in Municipal Solid Waste-to-Energy plants in relation to local climate conditions*), en el que se expresa:

- Las condiciones climáticas influyen de manera significativa en las cantidades de energía que pueden ser producidas o utilizadas en forma de electricidad, calor o vapor.
- Para equiparar las instalaciones de valorización afectadas por los condicionantes climáticos locales, es razonable aplicar un factor de corrección climático (CCF) a la Fórmula R1.
- El CCF debe basarse tanto en el documento sobre mejores técnicas disponibles para la incineración de residuos y como en las condiciones climáticas locales.

Este hecho ha determinado la redacción de un borrador con modificaciones del Anexo II de la Directiva Marco de Residuos, donde se tiene en cuenta el CCF. La aplicación de este factor haría que algunas instalaciones de incineración categorizadas como D10, alcanzarían el umbral de la Fórmula R1 convirtiéndose en instalaciones categorizadas como R1.

5. Análisis de las plantas *Waste-to-Energy* en España

En el año 2012 la entrada total de RSU a las diez instalaciones *WtE* en España fue de 2,1 millones de toneladas, de las que 1,04 millones de toneladas corresponden a residuos en masa y, 1,06 millones de toneladas a material de rechazo, según MAGRAMA, 2014.

En la tabla 2 se presenta la ubicación de estas instalaciones, su capacidad y potencia generada. Se puede apreciar que la planta con mayor capacidad nominal es la de la C.A. Islas Baleares, ya que dispone de 4 hornos. Sin embargo, la planta de la C.A. País Vasco (Zabalgarbi) es la que más potencia generó debido a que es una planta especial, ya que la incineración se integra con un ciclo combinado de gas natural, permitiendo trabajar con unos parámetros de vapor diferentes a los de una WtE convencional y más ventajosos desde el punto de vista de la eficiencia termodinámica y de los niveles de corrosión en las conducciones (BREF-WI, pág. 311-313). A su vez, Cataluña es la comunidad con más plantas y una capacidad de tratamiento cercana a las 700.000 t/año. Todas las plantas aparecen en el registro administrativo de instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial disponible, publicado en la web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio del Gobierno de España, excepto la de la C.A. País Vasco (Zabalgarbi, S.A., de Bilbao).

A nivel de la Unión Europea, existen unas 450 plantas *WtE* con una capacidad anual de tratamiento de unos 78 millones de toneladas (CEWEP, 2014), por lo que las plantas españolas, con sus 2,6 millones de toneladas, representarían un 2% de la capacidad de tratamiento del total de las plantas europeas.

Como puede observarse en la tabla 3, las plantas *WtE* españolas son plantas de incineración/combustión convencionales. Sus capacidades normales de tratamiento oscilan entre los 3 y las 50 t/h por línea, y posibilita el tratamiento de residuos con PCI entre 1.400 y 4.500 kcal/kg sin añadir combustible auxiliar (Muruais, J., et al., 2010).

Tabla 2. Distribución por CCAA de las plantas *Waste-to-Energy*, 2012

CCAA	Nº Instalaciones	Capacidad		Potencia Generada (kWh/año)
		Nº Hornos	Capacidad nominal (t/año)	
C.A. Islas Baleares	1	4	732.000	*245.680.000
C.A. Cantabria	1	1	96.000	84.564.785
C.A. Cataluña	4	9	690.620	288.525.500
C.A. Galicia	1	2	533.742	344.096.500
C.A. Madrid	1	3	300.000	183.641.240
C.A. País Vasco	1	1	245.910	727.000.000
Ciudad Autónoma de Melilla	1	1	36.000	3.212.080
Total España	10	21	2.634.272	1.631.040.105

Fuente: MAGRAMA, *AEVERSU.

Según Wilson (2013), en términos de eficiencia de conversión a electricidad, con 1 tonelada de RSU pueden ser generados entre 0,4 – 0,7 MWh de energía eléctrica a través de la incineración. Analizando los datos de producción eléctrica y cantidad de RSU tratados de la Tabla 3, la mayor parte de los coeficientes de conversión se encuentran dentro de ese rango. Cabe destacar el caso de la planta de Zabalgarbi, que refleja unos valores altísimos debido a sus particulares condiciones. Además, la planta de Melilla tiene un coeficiente bastante por debajo del rango esperado. Por otro lado, no se observa una diferencia considerable entre los valores de las plantas que usan hornos de parrilla y los de lecho fluidizado, aunque cabe destacar que los valores de estas últimas están cercanos al límite superior del rango.

Todas las plantas comenzaron a funcionar antes de diciembre de 2008, por lo que el valor de eficiencia energética bajo las premisas de la Fórmula R1 debe ser como mínimo de 0,60. Solamente se disponen de datos de dos de ellas, los cuales están muy cercanos al límite marcado por la Directiva Marco de Residuos, lo que reafirma la dificultad que tiene este tipo de plantas para alcanzar los umbrales establecidos.

A su vez, puede observarse que la opción del horno de parrilla es la más extendida. Con la que no se requiere selección o triturado previo y puede tolerar grandes variaciones en composición y poder calorífico de los RSU. Tan solo dos instalaciones han optado por el lecho fluidizado, las cuales tienen unos costes de capital y mantenimiento más bajos que en parrilla, proporcionan una mayor eficiencia térmica total y pueden aprovecharse un amplio rango de combustibles tanto sólidos como líquidos. Sin embargo, requiere un control en el tamaño y composición de los residuos, que generalmente necesitan un pretratamiento (Arena, U., 2011).

Tabla 3. Características de las plantas *Waste-to-Energy* en España, 2012

Instalación	Tipo residuo	Capacidad incineración (t/h)	Cantidad RSU tratada (t/año)	Producción eléctrica (MWh)	Coeficiente conversión de RSU a electricidad (MWh/t)	Tipo horno	****EE-R1
Mallorca-Tirme (Baleares)	RSU	45,75	511.999	245.680	0,48	Parrilla de rodillos/móvil refrigerada por agua	-
Meruelo (Cantabria)	CDR	11	112.500	85.500	0,76	Parrilla de rodillos	-
Girona-Tragisa (Cataluña)	RSU	4	-	-	-	Parrilla Martin	-
Sant Adriá del Besós-Tersa (Cataluña)**	Rechazos y no aprovechables (70/30)	40	287.057	135.729	0,47	Parrilla deslizante (Von roll)	0,627
Mataró-TRM (Cataluña)	CDR	18	190.000	115.000	0,61	Parrilla deslizante móvil (Martin) (2)	-
Tarragona-Sirusa (Cataluña)	CDR	15,5	140.000	53.000	0,38	Parrilla de rodillos	-
La Coruña-Sogama (Galicia)	CDR	47	555.440	342.486	0,61	Lecho fluidizado circulante	-
Madrid-Tirmadrid (Madrid)*	Rechazos y otros residuos no aprovechables	37,5	265.919	183.642	0,69	Lecho fluidizado burbujeante de arena (3)	-
Bilbao-Zabalgarbi (País Vasco)	RSU	30	224.792	658.000	2,9	Parrilla deslizante (Martin)	0,61
Melilla-Remesa (Melilla)	RSU masa	5	39.302	8.446***	0,22	Parrilla de dientes (von-roll)	-

Fuente: AEVERSU, *Ayuntamiento de Madrid, **TERSA. ***dato equivalente, ya que se producieron 2.275MWh por avería de turbina durante 8 meses. ****estos datos están publicados en las páginas web de las plantas. El resto de valores no han sido publicados
Nota: los datos de la planta de Girona-Trargisa, no están disponibles.

Además de estos dos tipos de tecnologías de incineración, existen otras que son usadas en función principalmente del tipo de residuo a valorizar (Tabla 4). Por otro lado, existen otros

procesos térmicos de valorización como la pirolisis, la gasificación o el plasma, que pese a que pueden generar buenos datos teóricos en cuanto a eficiencia energética, aún no pueden considerarse tan maduras en su aplicación a los RSU como la incineración.

Tabla 4. Comparación tecnologías usadas en incineración

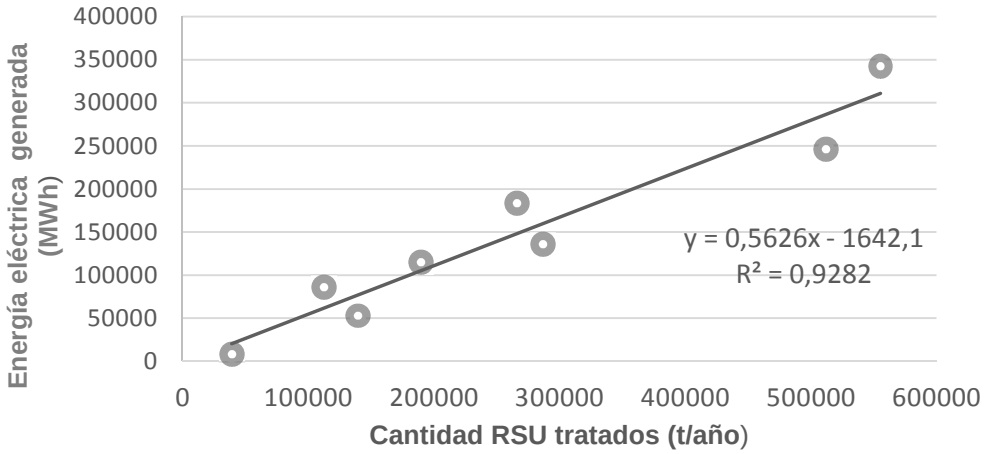
Tipo de residuo	Tipo de horno			
	Parrillas	Lecho fluidizado	Rotativo	Inyección líquida
Granular, homogéneo	Adecuado	Adecuado	Adecuado	-
Irregular	Muy adecuado	-	Adecuado	-
Sólido con bajo punto de fusión	-	Adecuado	Adecuado	-
Orgánico con cenizas fundibles	Muy adecuado	-	Adecuado	-
Residuo a granel voluminoso	-	-	Muy adecuado	-
Vapores orgánicos	Adecuado	Adecuado	Muy adecuado	Adecuado
Líquidos orgánicos	-	-	Adecuado	Muy adecuado
Fangos con carga halogenada	-	-	Adecuado	Adecuado
Fangos orgánicos	-	Adecuado	Adecuado	-

Fuente: Lleó, A., (2008), Centro de Tecnologías Limpias (CTL).

Con el fin de comprobar en las plantas existentes si la producción de electricidad está en función lineal con la cantidad de RSU tratados, se ha analizado la posible correlación entre la cantidad total de RSU tratados y la energía eléctrica generada para el intervalo entre las 38.000 y 600.000 toneladas. Excluyendo los datos relativos a la energía eléctrica generada por Zabalgarbi, debido a la singularidad de esta planta, se observa una correlación lineal positiva bastante fuerte, es decir, el análisis bivariante permite observar una correlación lineal directa entre las dos variables (R^2=0,9282) (Figura 3).

Por otro lado, a partir de los datos de producción eléctrica y cantidad total de RSU tratados en las 10 plantas *WtE*, se ha determinado la producción media de electricidad por tonelada valorizada en el año 2012, dando un valor de 785 kWh/t. Si fuesen valorizados con este tipo de plantas, la cantidad total de rechazos generados durante este año (7,8 millones de toneladas), podrían generarse en torno a 6.103.046 MWh de electricidad. Teniendo en cuenta que el consumo de electricidad medio por hogar (≈3 personas) es de 3.487 kWh por año (IDAE, 2013), se podría satisfacer la demanda eléctrica de 1.750.228 hogares o lo que es lo mismo, de 5.250.684 de personas. Además, se ha determinado la cantidad de energía eléctrica producida por cada unidad de energía contenida en los RSU. De esta forma, por cada kWh de energía contenida en los rechazos se obtienen 0,25972 kWh de electricidad en las plantas actuales. Para ello se ha tenido en cuenta el PCI medio de los rechazos estimado por Grau et al., (2012).

Figura 3. Correlación entre la potencia eléctrica generada y la cantidad de RSU tratados por las plantas de valorización energética de RSU en 2012.



Nota: los datos de la planta de Girona-Trargisa no están disponibles.

En el supuesto de que todo el rechazo fuese transformado a CSR (con un PCI medio de 5.800 kcal/kg) y considerando el mismo coeficiente de conversión de las plantas actuales, se estima que la producción media de electricidad es de 1.752 kWh/t. En base a esto, podrían generarse 9.807.168 MWh de electricidad, satisfaciendo la demanda eléctrica de 2.812.494 hogares. Lo que equivale a 8.437.483 de personas.

Por último, se ha estimado el número de plantas que serían necesarias para aprovechar la cantidad total de rechazo generado en el año 2012. A partir de los datos de la tabla 2 y tomando una capacidad nominal de tratamiento de 100.000 toneladas, sería necesaria la construcción de 63 nuevas plantas.

6. Conclusiones

En España se genera anualmente un flujo de rechazos procedentes de las distintas plantas de tratamiento de RSU, potencialmente aprovechable energéticamente, y que según los sistemas de gestión y tratamiento de residuos actuales son en su mayor parte, depositado en vertedero. Las plantas de triaje y compostaje son las que mayor cantidad de rechazos generan.

Mediante el procesado y transformación de los rechazos en un CSR, es posible obtener un combustible con unas propiedades homogéneas y con un mayor poder calorífico. Su aprovechamiento en las plantas *WtE* haría que la eficiencia energética según la Fórmula R1 de la Directiva Marco de Residuos aumentase, ya que aunque en el procesado del CSR hay un gasto energético, este no se tiene en cuenta en el cálculo de R1.

Tal y como está definida la fórmula R1, las plantas *WtE* del sur de Europa tienen muy complicado superar los valores mínimos establecidos de eficiencia energética, ya que en la actualidad, al generar básicamente solo electricidad y no aprovechar en mayor medida el calor (co-generación), existen bastantes problemas a la hora de alcanzar los umbrales de eficiencia energética marcados por la Directiva Marco de Residuos. En este estudio solo se han obtenido valores de eficiencia energética de 2 plantas, las cuales superan ligeramente el umbral establecido.

La principal tecnología para valorización energética en España es la incineración, y más en concreto los hornos de parrilla. Las cantidades tratadas por año van desde las 40.000t de la planta más pequeña hasta las 555.000t de la más grande, existiendo una relación lineal

positiva fuerte entre la cantidad de RSU tratados y la cantidad de energía eléctrica producida.

En el año 2012 solamente se valorizaron energéticamente el 13,57% de los rechazos. Si se aprovechase el total de este material, se estima que se podría satisfacer la demanda eléctrica de más de 5 millones de personas. En el caso de la transformación del rechazo en CSR, la cifra aumentaría a casi 8,5 millones. Para esto sería necesario el diseño y construcción de nuevas plantas *WtE*.

Por último, cabe decir que por tanto, que existe en España un desarrollo potencial en este campo, tanto en el diseño de combustibles alternativos como en el diseño y construcción de nuevas plantas para su valorización.

7. Bibliografía

Arena, U., Mastellone, M.L. & Perugini, F. (2003). The Environmental Performance of Alternative Solid Waste Management Options. Chemical Engineering Journal 96 (1–3), 207–222.

Arena, U., Di Gregorio, F., Amorese, C. & Mastellone, M.L. (2011). A techno-economic comparison of fluidized bed gasification of two mixed plastic wastes. Waste Management 31, 1494–1504.

Azapagic, A., Perdan, S. % Clift, R. (2004). Sustainable development in practice, J. Wiley & Sons. Ltd., Chicester, UK.

Bayard R., de Araújo Morais, J., Ducom, G., Achour, F., Rouez, M. & Gourdon, R. (2010). "Assessment of the effectiveness of an industrial unit of mechanical-biological treatment of municipal solid waste," *Journal of Hazardous Materials, vol. 175,* pp. 23-32.

Buekens A. & Cen K. (2011). Waste incineration, PVC, and dioxins. J. Mater. *Cycles Waste Manag., doi* 10.1007/s10163-011-0018-9.

Brunner, P.H., Morf, L. & Rechberger, H., (2004). Thermal waste treatment – a necessary element for sustainable waste management. In: Twardowska, Allen, Kettrup, Lacy (Eds.), *Solid Waste: Assessment, Monitoring, Remediation*. Elsevier B.Y, Amsterdam, The Netherlands.

Cheeseman, C.R., Monteiro da Rocha, S., Sollars, C., Bethanis, S. & Boccaccini, A.R. (2003). Ceramic processing of incinerator bottom ash. *Waste Management 23* (10), 907e916.

Colomer, F.J. & Gallardo, A. (2007). *Tratamiento y gestión de residuos sólidos*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Consonni, S., Giugliano, M. & Grosso, M. (2005). Alternative strategies for Energy recovery from municipal solid waste. *Part A: Mass and energy balances. Waste Management 25*, 123–135.

European Comission. (2006). *Integrated Pollution and Control, Reference Document on the Best Avalaible Techniques for Waste Incineration*.

European Comission. (2011). *Guidelines on the R1 energy efficiency formula in Annex II of Directive 2008/98/EC.*

Gallardo, A., Gómez, A. M., Colomer, F.J., Edo, N. & Pascual, V. (2013). Diseño de un CSR a partir de Rechazos de una Planta de Tratamiento de Residuos Urbanos. *17th International Congress on Project Management and Engineering*, Logroño.

Gallardo, A. Carlos, M., Bovea, M., Colomer, F. & Albarrán, F. (2014) Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standars. *Journal of Cleaner Production 83*, 118-125.

Gómez, C. (2007). Tratamiento de residuos en proyectos de eficiencia energética*. Master thesis. Universidad Politécnica de Catalunya.*

Grau, A. & Farré, O. (2011) Situación y potencial de valorización energética directa de los residuos. *Estudio Técnico PER 2011-2020.* IDAE.

International Solid Waste Association. (2006). Management of Bottom Ash from WTE Plants, ISWA-WG Thermal Treatment SubgroupBottom Ash from WTE-Plants, available on http//:www.iswa.org.

International Soild Waste Association. (2008). Management of APC residues from WTE Plants, ISWA-WG Thermal Treatment of Waste, 2 ed., available on http//:www.iswa.org.

Kisuk CPE (1998). Solid waste incineration. *U.S. Corps. of Engineers, Engineering Division, Report Tl 814-21*, Washington D.C. 96 pp.

McKay, G. (2002). Dioxin characterization, formation and minimization during municipal solid waste (MSW) incineration: a review. *Chemical Engineering Journal 86*, 343–368.

Muruais, J. & Maíllo, A. (2010). La incineración de los residuos urbanos. Aporte energético y ambiental. *Guía de valorización energética de residuos,* Cap. 3, Depósito Legal: M.44.970-2010. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

Opel, E. T. (1986). Hazardous Waste Destruction: Thermal Techniques will be Increasingly Used as Legal Restrictions on Land Disposal Take Effect*. Environmental Science and Technology 20(4): 312-318.*

Porteous, A. (2005). Why energy from waste incineration is an essential component of environmentally responsible waste management. *Waste Management 25*, 451–459.

Psomopoulos, C.S., Bourka, A. & Themelis, N.J. (2009). Waste-to-Energy: a review of the status and benefits in USA. *Waste Management 29*, 1718–1724.

Reimann D., 2009. Results of Specific Data for Energy, R1 Plant Efficiency factor and Net Calorific Value (NCV) of 231 European WtE Plants. *CEWEP Energy Report II (Status 2004-2007).*

Romero, A. (2010). La incineradora de residuos: ¿Está justificado el rechazo social? *Rev. R. Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp). Vol. 104,* Nº 1, pp 175-187. XI Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica.

Samaras P., Karagiannidis A., Kalogirou E., Themelis N. & Kontogianni, St. (2010). An inventory of characteristics and treatment processes for fly ash from waste-to- energy facilities for municipal solid wastes, *3rd Int. Symposium on Energy from Biomass and Waste*, Venice, Italy, 8–11 November, 2010. CISA Publisher, Italy- ISBN 978-88-6265-008.

Seoánez Calvo M. (2000). Tratado de Reciclado y Recuperación de Productos de los Residuos, Madrid: Mundi-Prensa.

Stengler E. (2010). On the Road to Recovery: Achieving R1 Status, *WASTE management world, V11 N6*.

Van Paasen, S.V.B., Cieplik, M.K. & Phokawat, N.P. (2006). Gasification of Non-Woody Biomass. Report ECN-C-06-032; Energy and Research Centre of the Netherlands (ECN): Petten, the Netherlands.

Wilson, B., Williams, N., Liss, B. & Wilson, B. (2013). A comparative Assessment of Commercial Technologies for Conversion of Solid Waste to Energy. EnviroPower Renewable, Inc.

04-015

FACTORS DETERMINING OPTIMUM LEVEL AGGLOMERATION WASTEWATER GENERATED IN SMALL URBAN POPULATION USING SUSTAINABILITY CRITERIA.

Moya Llamas, María José ; Trapote Jaume, Arturo

Universidad de Alicante.- Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales

In recent decades have been developed increasingly efficient technologies in sanitation and wastewater treatment. In contrast, it has been less studied the previous planning phase, which has focused on the implementation of convencional treatment plants that centralize large volumes of wastewater. Currently, especially in small urban agglomerations or disseminated population centers, more sustainable strategies to wastewater treatment are needed. In order to adapt their systems to European standards regarding the protection of the environment, these populations must overcome a shortage of technical and economic means through solutions such as clustering or decentralizing its wastewater systems. Based on the fundamental criteria of sustainable development, this document analyzes the main factors influencing planning more convenient system which determine the most suitable level of aggregation of the wastewater generated by these populations for their more sustainable treatment and management. Factors such as the distances between population centers, the costs of operation and maintenance of facilities or opportunities for reuse of treated effluent, are key in the decision.

Keywords: *Sustainability; planning; wastewater treatment; small populations; aggregation*

FACTORES DETERMINANTES DEL GRADO DE AGLOMERACIÓN ÓPTIMO DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN PEQUEÑAS POBLACIONES URBANAS UTILIZANDO CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD

En las últimas décadas se han desarrollado tecnologías cada vez más eficientes en materia de saneamiento y depuración de las aguas residuales. Sin embargo, se ha profundizado menos en la fase de planificación previa, la cual se ha orientado a la implantación de estaciones de tratamiento convencionales que centralizan grandes caudales de agua residual. Actualmente, especialmente en pequeñas aglomeraciones urbanas o núcleos diseminados de población, son necesarias estrategias más sostenibles para la depuración de las aguas residuales. A fin de adaptar sus sistemas a los estándares europeos en cuanto a protección del medio ambiente, estas poblaciones deben suplir la escasez de medios técnicos y económicos mediante soluciones como la agrupación o la descentralización de sus sistemas de depuración. En base a los criterios fundamentales del desarrollo sostenible, este documento analiza los principales factores que influyen en la planificación del sistema más conveniente, es decir, aquellos que determinan el grado de aglomeración idóneo de las aguas residuales generadas por estas poblaciones para su tratamiento y gestión más sostenible. Factores como las distancias entre los núcleos de población, los costes de operación y mantenimiento de las instalaciones o las oportunidades de reutilización del efluente depurado, resultan clave en la decisión.

Palabras clave: *Sostenibilidad; planificación; depuración; pequeñas poblaciones; aglomeración*

Correspondencia: María José Moya Llamas mjmoyallamas@telefonica.net

Agradecimientos: Mi más sincero agradecimiento al Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante donde he podido desarrollar la presente investigación, y en especial al Ing. Dr. D. Arturo Trapote Jaume, Tutor y Director de la misma, por su gran ayuda en esta labor.

1. Introducción

El informe Brundtland define desarrollo sostenible como satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades (World Commission on the Environment and Developement, 1987).

Los sistemas de recursos del agua sostenibles aquellos diseñados y gestionados para la completa contribución a los objetivos de la sociedad, ahora y en el futuro, manteniendo a la vez su integridad ecológica, medioambiental e hidrológica. (Bradley et al., 2007).

En la actualidad existe una importante corriente en favor de la planificación de infraestructuras sostenibles, cuestionándose las tan generalizadas infraestructuras centralizadas. En el caso de la depuración de las aguas residuales se plantean sistemas de menor tamaño, más resilientes ante las cambiantes condiciones (cambio climático, demográfico, descenso del consumo urbano de agua, avances tecnológicos) o bien ante cualquier fallo del sistema. Situados más próximos al punto generación del agua residual, facilitan la recogida, tratamiento y gestión del agua residual, incrementando las posibilidades de reutilización (Schramm y Felmeden, 2012 y Gikas y Tchobanoglous, 2009).

Los nuevos requerimientos hacen necesarias otras estrategias para la gestión del agua residual, como los sistemas satélite y los descentralizados (Gikas y Tchobanoglous, 2009).

1.2 La problemática de la depuración de las aguas residuales en pequeñas aglomeraciones urbanas.

España cuenta con un gran número de pequeñas poblaciones. De los 8.111 municipios existentes el 72 % presenta una población inferior a los 2.000 habitantes, elevándose a 3.800 (47%) los municipios menores de 500 habitantes. (Ferrer, Ortega & Salas, 2012).

El Real Decreto Ley 11/1995, trasposición de la Directiva europea 91/271/CEE, estableció como fecha límite el 01 de Enero de 2006 para que estas poblaciones sometiesen a sus aguas residuales a un *tratamiento adecuado*, fijando el año 2015 como fecha límite para alcanzar el buen estado ecológico de las masas de agua. Los esfuerzos para alcanzar los estándares europeos se han centrado en primer lugar en las grandes aglomeraciones urbanas (Plan Nacional de Saneamiento y Depuración (1995-2005)) para posteriormente abordar la depuración de pequeñas poblaciones (Plan Nacional de Calidad de las Aguas (2007-2015)). En 2008 se estimó que la carga contaminante procedente de pequeñas poblaciones que aún no disponía de tratamiento adecuado se situaba entre 3 y 4 millones de habitantes equivalentes repartidos en más de 6.000 aglomeraciones, muchas de ellas menores de 500 h. e. (Ortega et al. 2008)

Las especiales características de estas poblaciones (variabilidad de caudales y cargas contaminantes, dispersión de la población, orografía, falta de medios técnicos y económicos, ausencia de criterios establecidos para la elección del sistema de depuración y de la tecnología adecuada, etc.) hacen que cobre mayor importancia una buena planificación del saneamiento y depuración de sus aguas residuales. No obstante, la tendencia generalizada sigue siendo aglutinar varias poblaciones cercanas en un solo punto para el tratamiento conjunto de sus aguas.

Establecer el nivel de aglomeración óptimo de los pequeños núcleos urbanos para una gestión y tratamiento sostenible de sus aguas residuales se torna fundamental aunque, como

asevera Ortega (2008) esta tarea no debe ser afrontada en el marco de un determinado proyecto, sino de planes estratégicos a escala regional o autonómica.

2. Objetivos.

En caso de las infraestructuras para el tratamiento de las aguas residuales urbanas el concepto de economías de escala no siempre da lugar a la planificación del sistema de depuración más sostenible.En pequeñas aglomeraciones urbanas o núcleos diseminados de población son muchos los factores que deben ser tenidos en cuenta.

Se establece como objetivo principal de este estudio el análisis del grado de aglomeración idóneo de las aguas residuales provenientes de pequeñas aglomeraciones urbanas con el fin de planificar el sistema de depuración óptimo desde el punto de vista de la sostenibilidad.

Partiendo de los criterios básicos del desarrollo sostenible se identifican y analizan las principales variables y parámetros que intervienen en la determinación del grado de integración o centralización de las aguas residuales provenientes de estas poblaciones.

El resultado del análisis, síntesis e integración de dichos factores y sus inter-relaciones deberá ser adaptado a cada caso concreto mediante una matriz de decisión a fin de servir a los planificadores como instrumento sencillo a la hora de discernir la opción idónea.

3. Metodología.

La investigación se centra en el ámbito de las pequeñas poblaciones (<2.000 h.e.) dado que son éstas las que presentan mayores carencias en cuanto al cumplimiento de los estándares europeos en materia de saneamiento y depuración de las aguas residuales

En primer lugar se han analizado las diferentes configuraciones de los sistemas de depuración para la discusión del más adecuado dadas las especiales características de estas poblaciones.

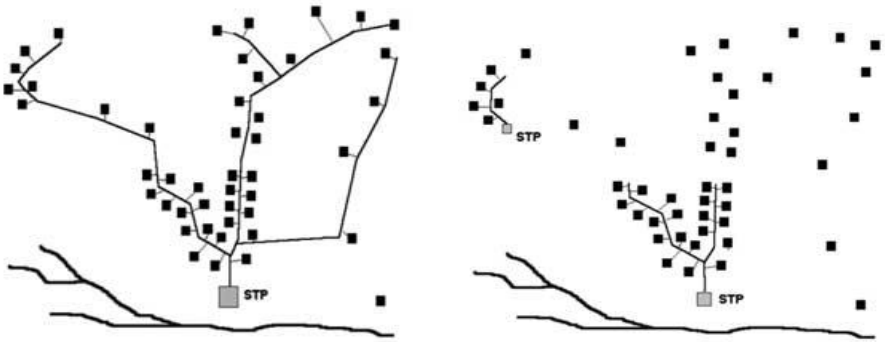
Posteriormente se han aplicado los criterios de sostenibilidad, identificándose los principales factores determinantes del nivel de aglomeración óptimo de pequeñas aglomeraciones urbanas para la gestión y tratamiento de sus aguas residuales.

3.1 Tipología de los sistemas de depuración. Ventajas e inconvenientes.

La gestión del agua residual se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante sistemas centralizados de tamaño “municipal” que recogen el agua residual de muchos productores (viviendas, zonas comerciales, industrias e instituciones) y la transportan a una EDAR situada en una zona alejada. Esta estación trata el afluente para la reutilización o el vertido al medio receptor, habitualmente lejos del punto de origen (Hophmayer-Tokich, 2006).

En la actualidad surgen otras configuraciones que, en determinadas condiciones, pueden resultar más convenientes para la gestión sostenible del agua residual urbana. Gikas y Tchobanoglous (2009) establecen una clasificación de los sistemas de depuración en: sistemas centralizados, sistemas satélite o semi-descentralizados, sistemas clúster o en racimo y sistemas on-site o descentralizados.

Figura 1. Tipologías de los sistemas para el tratamiento del agua residual. Sistema centralizado (izquierda) y sistemas clúster, satélite y descentralizados (derecha).



Fuente: Acosta, R., 2013

Se definen como sistemas satélite aquellos que suelen situarse en la parte alta del sistema de saneamiento y, generalmente carecen de instalaciones para el procesamiento de sólidos, los cuales se conducen a una estación centralizada para su tratamiento. Estos sistemas pueden ser usados para reducir el caudal de entrada a las estaciones centralizadas o para eliminar o reducir las descargas (impacto) sobre las masas de agua. Se clasifican a su vez en: sistemas de interceptación, sistemas de extracción y sistemas aguas abajo.

Otra tipología de sistemas de depuración son los sistemas agrupados, en racimo o clúster, los cuales a su vez pueden ser centralizados o descentralizados.

Finalmente, los sistemas on-site o descentralizados son aquellos que recogen, tratan y disponen (reutilizan) el agua residual cerca del punto de generación. Pueden ser aplicados en diferentes escalas: viviendas individuales, un grupo de viviendas, un distrito, instalaciones públicas, zonas comerciales, parques industriales e incluso una parte de una gran comunidad (Bakir, 2001 y Crites y Tchobanoglous, 1998).

La principal ventaja de los sistemas centralizados se deduce de su propia definición: sus procesos se basan en el tratamiento de grandes caudales, lo que los hace poco apropiados para pequeñas comunidades rurales o zonas periurbanas. Además, son infraestructuras con una larga vida útil, debido al alto capital invertido y al largo tiempo de depreciación, que cuentan con rutinas de decisión establecidas, importante experiencia de las Administraciones y una bien ensayada operativa diaria (Schramm y Felmeden, 2012).

De entre los inconvenientes de estos sistemas destacan sus altos costes de inversión, la fuerte dependencia de los mismos al tratarse de instalaciones de mayor escala, su baja flexibilidad y limitada resiliencia frente a cambios climáticos, demográficos, variaciones de la demanda, etc., y sus altos costes fijos, los cuales suponen un 70-80% de los costes totales. Además permiten un uso menos sostenible del agua, siendo menos adecuados para la reutilización del agua residual. (Gikas y Tchobanoglous, 2009).

En cuanto a los sistemas descentralizados, son más económicos en cuanto al volumen y longitud de las infraestructuras, operan con caudales inferiores (son muy adecuados para consumos inferiores a 50 l/had·d y más rentables que los centralizados de 50 a 100 l/hab/d), aumentan las posibilidades de reutilización estando disponible el efluente a reutilizar cerca de los puntos de uso y pueden ser construidos gradualmente reduciéndose la necesidad de importantes inversiones instantáneas.La mayor protección de la salud y medioambiente, su idoneidad en comunidades de pequeña densidad, su mejor adaptación a la variación de las condiciones locales y el ahorro potencial en los costes (operación y mantenimiento, energía, etc.)son otros factores que juegan a favor de este tipo de sistemas (USEPA, 1997).

En cuanto a los sistemas agrupados, a pesar de que economías de escala sugieren que en determinadas condiciones una única EDAR de mayor tamaño puede más económica que

múltiples plantas, cuando la comunidad cubre un rango de alturas o bien en zonas amplias, los costes de distribución y bombeo del agua pueden ser mayores que los costes de construcción de múltiples plantas de tratamiento de agua residual. Chung et al. (2008) llevaron a cabo la modelización de un hipotético sistema tratamiento de aguas residuales formado por una única planta frente a la opción de dos plantas y tres plantas de menor tamaño bajo el supuesto de una comunidad dispersa urbana-suburbana con una población máxima de 1.2 millones de h.e. Este estudio concluye que existe un mejor ajuste en el dimensionamiento de la instalación formada por tres plantas (mayor economía), siendo el factor determinante en la rentabilidad de múltiples EDARS el coste de transporte del agua a través del sistema, el cual queda determinado por la distancia y la orografía.

Sin embargo, a la hora de dirimir el sistema de depuración a implantar hay que tener en cuenta la sostenibilidad del mismo teniendo siempre presentes las condiciones particulares de las poblaciones a aglomerar.

3.2 Criterios de sostenibilidad aplicados a la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones.

Los tres pilares básicos del desarrollo sostenible son: sociedad, economía y medio ambiente. A pesar de estar incluido en los anteriores, para la realización del presente estudio se considerado un cuarto criterio: el técnico, dada su especial relevancia sobre la planificación y diseño de este tipo de infraestructuras.

Mediante la integración de los cuatro criterios citados, la investigación se ha centrado en la búsqueda de la solución óptima respecto a un conjunto de subcriterios que han servido como indicadores de sostenibilidad para la determinación del grado de integración de los sistemas de depuración (Figura 1). Dichos criterios se describen brevemente a continuación.

Figura 2: Solución óptima en base a los criterios de sostenibilidad.

Fuente: Elaboración propia.

A. Criterios Técnicos:

A.1 Tamaño de la población.

El presente estudio incluye aquellas aglomeraciones cuya población es inferior a 2.000 h-e. El CEDEX excluye de la definición de pequeña población aquellas menores de 50 h.e. a fin

de dejar fuera de esta categoría las viviendas aisladas y aquellas poblaciones muy pequeñas que no dispongan de sistemas de colectores para el agua residual urbana.

A.2. Caudal de entrada y sus oscilaciones.

A la hora de dirimir la conveniencia de aglomerar varias poblaciones para el tratamiento de sus aguas residuales la variable fundamental es el caudal de agua residual generado por cada uno de ellas (Qi), el cual determinará el caudal a tratar o caudal de entrada (Qe):

$$Qe = \sum_{i=1}^{n} Q_i \qquad (1)$$

En las pequeñas aglomeraciones la estimación de los caudales de diseño es complicada dadas las grandes variaciones horarias, diarias y mensuales o estacionales del caudal de aguas residuales generado. Juan José Salas Rodríguez (CEDEX, 2007) estima que en estas poblaciones el caudal mínimo es del orden del 30% del caudal medio, considerando la siguiente relación empírica entre el caudal punta y el medio (factor punta):

$$C_p = \frac{5}{\frac{1}{P^{\overline{6}}}} \qquad (2)$$

A.3. Caracterización del agua residual a tratar.

Estas poblaciones generan pequeños volúmenes de aguas residuales pero con mayor nivel de contaminación que en poblaciones mayores debido al menor grado de dilución. Es por esto que los valores de los parámetros básicos para su caracterización pueden resultar muy dispares en función de las pautas de consumo y las singularidades de cada pequeña aglomeración. Por ello se recomiendan campañas de aforo y muestreo. No obstante, a continuación se reproduce la información de Collado (1991) sobre las características de la contaminación en pequeñas poblaciones:

Tabla 1: Características de la contaminación en pequeños núcleos.

PARÁMETRO	CARGA UNITARIA	CONCENTRACIÓN
Dotación	150 +/-50 (l/hab·d)	
DQO (mg/l)	75-80 (g/hab.d)	700 +/- 100 (mg/l)
DBO5 (mg/l)	30-35 (g/hab.d)	300 +/- 65 (mg/l)
SS	25-30 (g/hab.d)	250 +/- 30 (mg/l)
N	8-9 (g/hab.d)	80 +/- 20 (mg/l)
P	3,5-4 (g/hab.d)	35 (mg/l)

Fuente: Collado, 1991.

A.4. Tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales en pequeñas aglomeraciones.

Dadas sus limitaciones técnicas y económicas, son recomendables tecnologías que requieran poco mantenimiento, funcionen eficazmente frente a las variaciones de las condiciones locales, minimicen costes de operación y mantenimiento, sean poco sensibles al bajo nivel de formación técnico, los fallos en sus equipos y procesos deterioren en menor medida la calidad del efluente, tengan alta integración ambiental y sencillez en la gestión de los lodos.

Las tecnologías aplicables en pequeñas poblaciones pueden dividirse en función de los requerimientos de energía del tratamiento secundario en: tecnologías extensivas (no necesitan aporte de energía externo pero requieren mayores superficies) y tecnologías intensivas (demandan un aporte de energía externo para la aceleración de los procesos de depuración, lo que conlleva menor superficie requerida que las anteriores).

Tabla 2: Tecnologías para la depuración de las aguas residuales de pequeñas poblaciones.

PRE-TRATAMIENTOS	TRATA-MIENTOS PRIMARIOS	TRATAMIENTOS SECUNDARIOS	
		EXTENSIVOS	INTENSIVOS
- DESBASTE - DESARE-NADO - DESEN-GRASADO	-FOSAS SÉPTICAS -TANQUES IMHOFF DECANTACIÓN PRIMARIA	SUELO COMO ELEMENTO DEPURADOR: - Aplicación subsuperficial: Zanjas Filtrantes, Lechos Filtrantes. - Aplicación superficial: Filtros Verdes. HUMEDALES ARTIFICIALES: - de Flujo Superficial, - de Flujo Subsuperficial: Vertical u Horizontal. MACROFITAS EN FLOTACIÓN LAGUNAJES: - Naturales - Artificiales. FILTRACIÓN: - Filtros de Arena, - Filtros del Turba, - Infiltración-Percolación	SISTEMAS DE BIOMASA SUSPENDIDA: - Aireación Prolongada, - Canales de Oxidación, - Reactores Secuenciales. - Biorreactores de Membranas. SISTEMAS DE BIOPELÍCULA: - Lechos Bacterianos o Filtros percoladores. - Contactores Biológicos Rotativos (CBR) - Sistemas Biopelícula sobre Lecho móvil (MBBR). SISTEMAS HÍBRIDOS Combinación de procesos de biomasa en suspensión y biopelícula.

Fuente: Elaboración propia.

A.5. Caudal de salida (Qs).

Como se ha citado anteriormente, las aguas residuales procedentes de pequeñas poblaciones en general son altamente biodegradables. Si existen posibilidades de reutilización parte del caudal de salida será destinado a ello. Sin embargo, el caudal que retorne a los cuerpos de agua debe ser tal que no suponga una afección negativa en la calidad de las aguas receptoras aguas abajo del punto de vertido, especialmente si se trata de zonas sensibles.

A.6. Caracterización del efluente depurado y rendimiento del proceso (Eficacia).

El Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, fija los valores máximos admisibles para vertidos procedentes de instalaciones secundarias o aquellos que se realicen en zonas "sensibles".

Sin embargo, la única estipulación contemplada en el citado Real Decreto en cuanto al vertido de las aguas residuales procedentes de pequeñas poblaciones es que sean sometidas a un *tratamiento adecuado*. En ausencia de valores específicos de las cargas contaminantes en este tipo de poblaciones, habitualmente se adoptan los valores reflejados en la Tabla 3.

Tabla 3: Requisitos para vertidos de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.

PARÁMETRO	CONCENTRACIÓN	PORCENTAJE MÍNIMO DE REDUCCIÓN (1)
DBO_5 (mg/l O_2)	25	70-90
DQO (mg/l O_2)	125	75
$SS_{totales}$ (mg/l) (2)	35	90
P_{total} (vertidos en zonas sensibles) (mg/l)(3)	2 (de 10.000 a 100.000 h-e) 1 (> 100.000 h-e)	80
N_{total} (vertidos en zonas sensibles) (mg/l)(3)	15 (de 10.000 a 100.000 h-e) 10 (>100.000 h-e)	70-80

Fuente: Real Decreto 509/1996.

(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.
(2) Requisito optativo.
(3) Para vertidos en zonas con aguas eutróficas o con tendencia a serlo.

A.7 Superficie mínima requerida.

La superficie disponible para la implantación de las EDAR puede constituir una limitación importante a la hora de considerar ciertas tecnologías, como son las extensivas. A continuación se clasifican las principales tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales en pequeñas poblaciones en función de la superficie requerida para su implantación.

Tabla 4: Requerimientos de superficie para la implantación de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.

REQUERIMIENTOS DE SUPERFICIE	TECNOLOGÍAS
Muy Bajo (<1 m2/habitante equivalente)	Aireación Prolongada Lechos Bacterianos Contactor Biológico Rotativo (CBR) Reactor Biopelícula sobre Lecho Móvil MBBR Reactor Secuencial SBR
Bajo (entre 1-3 m2/habitante equivalente)	Filtro Intermitente de Arena
Medio (entre 3-5 m2/habitante equivalente)	Filtro Intermitente de Arena Filtro de Turba Modificado Humedal Artificial Flujo Subsuperficial Vertical
Alto (entre 5-7 m2/habitante equivalente)	Infiltración-Percolación
Muy Alto (>7 m2/habitante equivalente)	Lagunaje Humedal Artificial de Flujo subsuperficial Horizontal

Fuente: Ortega de Miguel, E. et al., 2010

A.8 Localización y distancia.

El emplazamiento de la o las EDARs debe ser elegido cuidadosamente dada su gran repercusión sobre la sostenibilidad del sistema ya que, a pesar de que a priori se pueda presuponer el concepto de economías de escala, si se han de cubrir grandes superficies, los costes de las instalaciones de saneamiento pueden ser mayores en el caso de estaciones centralizadas que los de construcción de múltiples plantas.

B. Criterios Económicos:

B.1 Costes.

Los costes globales de los sistemas de saneamiento y depuración constan de: costes de inversión (costes de proyecto, construcción y puesta en marcha de las infraestructuras) y costes de funcionamiento, que incluyen los costes de mantenimiento y de operación, y se subdividen en: costes fijos, como los costes de personal, y costes variables (energía, etc.).

Los costes de construcción y puesta en marcha (inversión) de las conducciones de saneamiento son función del diámetro los colectores y de las longitudes a cubrir (Clark, 2002):

$$f_1(D_1, L_1) = a \cdot {D_1}^b \cdot L_1$$ (Siendo a y b constantes)

Walski et al. (1987) utilizan la siguiente formulación para la estimación de los costes de construcción y puesta en marcha de bombeo en función de la descarga del bombeo diseñado (x_i) y de la cota (H_i) a alcanzar:

$$f_2(x_i, H_i) = c \cdot {x_i}^d \cdot H_i^e$$ (Siendo c y d constantes)

En cuanto a los costes de construcción y puesta en marcha de las estaciones de tratamiento de aguas residuales, según Tang et al. (1987) éstos son función de la capacidad de tratamiento (wi) según la siguiente expresión:

$$f_3(q_i, L_i) = k + w_i^n$$ (Siendo k y n constantes)

De manera similar, los costes de mantenimiento y operación de colectores, conducciones y estaciones de bombeo quedan determinados según Clark (2002), U.S. Army Corps of Engineers (1980) y Walski et al. (1987) por el caudal de descarga (q_i) y el rango de altura (Li):

$$f_4(q_i, L_i) = l \cdot {q_i}^m \cdot {L_i}^o$$ (Siendo l, m y o constantes)

Chung et al. (2007) concluyen que el factor determinante en la rentabilidad de múltiples plantas es el coste del transporte del agua a través del sistema, determinado por la distancia y las diferencias de altura (orografía) entre centros de demanda.

C. Criterios Ambientales:

C.1 Vertido al medio receptor.

Los principales factores influyentes en la afección del vertido son: el caudal de vertido (el cual no debe suponer notable influencia sobre la calidad del medio receptor), vertidos directos desde la red de saneamiento, nutrientes, materia orgánica y modificaciones en el medio receptor aguas arriba del punto de vertido que mermen la capacidad de autodepuración.

A fin de conocer el estado del cuerpo de agua receptor y predecir la influencia del vertido lo conveniente es realizar campañas de muestreo. También pueden resultar de gran utilidad herramientas para la modelización matemática del medio receptor.

C.2 Potencia instalada.

En este apartado se considera tanto la potencia requerida para el funcionamiento de las instalaciones como la potencia necesaria para las infraestructuras que las albergan, en kW/hab.

C.3 Energía consumida.

Contempla la energía necesaria para el tratamiento (equipamiento electromecánico) como la energía consumida por las infraestructuras (fundamentalmente la iluminación).

Los principales aspectos que influyen en el consumo energético son: la carga contaminante recibida, la estacionalidad, el tamaño de la planta, el tipo de tratamiento aplicado y los procesos que lo componen, el tipo de aireación y agitación, la modularidad, la escala de los

equipamientos electromecánicos, las condiciones elegidas para la explotación y los criterios y metodologías de control (Andreu, P.S., et al., 2012)

C.4 Emisiones de CO_2.

El consumo de energía se asocia generalmente a impactos medioambientales a causa de las emisiones de dióxido de carbono.

Es posible reducir el consumo de energía y los impactos asociados incidiendo en factores como la tecnología seleccionada para el tratamiento de las aguas residuales. Por ejemplo, un sistema de fangos activos con una capacidad de 1000 h-e (<3,8 ·103 m3) puede producir más de 1400 toneladas de dióxido de carbono para su operación y 50 toneladas para el mantenimiento en unos 15 años de vida. (Emmerson et al., 1995).

C.5 Opciones de reutilización.

La escasez de recursos convencionales para cubrir la actual demanda de agua, la creciente preocupación medioambiental, el contexto económico y su repercusión en las economías familiares, entre otros motivos, conllevan la necesidad de recurrir a recursos alternativos de aguas, como los no convencionales. Entre ellos cabe destacar la reutilización de aguas procedentes de otros usos antes de ser vertidas al medio receptor.

C.6 Lodos estabilizados.

La producción de lodos está ligada a la tecnología empleada para el tratamiento de las aguas residuales. Así, mientras que los Humedales Artificiales, Lagunajes, Filtros de Turba, etc. generan poca cantidad de fangos, otras tecnologías como la Aireación Prolongada, o los sistemas Biopelícula generan cantidades importantes.

En pequeñas poblaciones que empleen sistemas con baja estabilización del fango (plantas de capacidad entre 1.000-2.000 h-e. excepto las de Aireación Prolongada) es recomendable la centralización de lodos procedentes de diferentes aglomeraciones urbanas para su tratamiento conjunto.Por el contrario, las plantas que disponen de sistemas de decantación-digestión o fango procedentes de sistemas de Aireación Prolongada, dado que el fango está estabilizado pueden optar por la valorización del fango para su uso local.

C.7 Generación de gas (CH_4)

Dada la elevada potencia calorífica de los lodos, la generación de gas metano y su aprovechamiento en forma de energía calorífica producida por su combustión puede jugar un importante papel en la recuperación energética de la planta. Hernández Muñoz, A. (2001) cifra el volumen de CH_4 producido en la digestión anaerobia de los lodos en 17 l/hab·d en el caso de fango primario hasta los 28 l/hab·d para el fango mezcla de primario y activado.

Puesto que el aprovechamiento energético de una planta es creciente en función del tamaño de la población, incluso en el caso de configuraciones de semi o descentralizadas, puede resultar beneficioso desde el punto de vista de la sostenibilidad centralizar la línea de fangos de estas poblaciones para el aprovechamiento del gas generado en su digestión anaerobia.

C.8 Otros factores ambientales.

La producción de malos olores, la generación de ruidos y la integración paisajística (impacto visual) son factores a considerar en la planificación del sistema de depuración óptimo en pequeñas poblaciones.

D. Criterios Sociales:

D.1 Características y singularidades de la población.

Entre las principales características de las pequeñas aglomeraciones urbanas en cuanto a la depuración de sus aguas residuales se refiere están: la ausencia de economías de escala,

la escasez de medios técnicos y económicos, la dispersión de la población y su disposición en pequeñas comunidades o zonas rurales. Todo ello complica notablemente la gestión adecuada de sus aguas residuales, siendo necesarios instrumentos eficientes para la planificación del sistema óptimo de depuración.

4. Resultados y discusión.

Se ha profundizado en los principales factores que inciden en la planificación del sistema de depuración más adecuado en pequeñas poblaciones en función del nivel de aglomeración de sus aguas residuales, los cuales se resumen a continuación.

Tabla 5: Principales factores influyentes en el grado de aglomeración óptimo de las aguas residuales de pequeñas poblaciones.

CRITERIOS	SUBCRITERIOS	PARÁMETROS/VARIABLES
Técnico	Tamaño de la población	P (H.e.)
	Caudal de entrada y sus oscilaciones	Q_m, C_p
	Caracterización agua residual	Tª, pH, S.S, M.O (DQO y DBO_5), N, P,
	Tecnología tratamiento	
	Caudal de salida	Q_s
	Caracterización del efluente depurado y límites de vertido	DBO_5 (mg/L O_2), DQO (mg/L O_2), SS_T (mg/L), P_T (zonas sensibles) (mg/L), N_{total} (zonas sensibles) (mg/L)
	Superficie mínima requerida	A (m_2/H.e.)
	Localización y distancia entre poblaciones	L (km), Ø (mm) (colectores saneamiento)
Económico	Costes inversión y puesta en marcha saneamiento	L (km), Ø (mm) (colectores saneamiento), H(m) (bombeo)
	Costes estaciones de tratamiento	W_i (capacidad de tratamiento)
	Costes operación y mantenimiento estaciones bombeo	H(m) (bombeo), Q_m
Medio-ambiental	Vertido al medio receptor	Q_{vert}, DBO, O.D., M.O., Nutrientes (N, P)
	Potencia Instalada	kW/Hab.
	Energía consumida	kWh/m^3
	Emisiones de CO_2	Tn
	Opciones de reutilización	Q_{reut}
	Lodos estabilizados	Kg/d
	Generación de gas metano (CH_4)	M^3/d
	Otros: malos olores, generación de ruidos, integración paisajística	
Social	Características de la población: dispersión, estacionalidad, , escasez de medios, etc.	

Fuente: Elaboración propia.

De la investigación realizada se deduce que los criterios con mayor incidencia sobre el nivel de integración o aglomeración de pequeños núcleos de población próximos son:

- la elección de la tecnología de tratamiento más adecuada, dado su influencia sobre la práctica totalidad de los criterios expuestos,
- la localización y distancia de las poblaciones. La orografía y el grado de dispersión de las poblaciones, el coste de los sistemas de saneamiento necesarios para su centralización

puede obrar en contra del concepto de economías de escala favoreciendo sistemas como los satélites o los descentralizados.

- los lodos generados en el tratamiento de sus aguas residuales ya que, a pesar de las ventajas de la descentralización o semi-descentralización, desde el punto de vista del aprovechamiento energético puede resultar conveniente centralizar la línea de fangos.
- los costes de inversión y puesta en marcha de las instalaciones de saneamiento (bombeos e impulsiones, colectores) de agua residual, que son función del diámetro y longitudes de las conducciones de saneamiento, de la descarga del bombeo diseñado y de la capacidad de tratamiento de la planta.

5. Conclusiones.

Durante las últimas décadas se han producido importantes avances en materia de saneamiento y depuración. No obstante, los cada vez más exigentes requerimientos en cuanto a la calidad final del efluente, la descentralización de los sistemas de tratamiento y depuración, los contaminantes emergentes, la regeneración y posterior reutilización, los subproductos generados, etc. hacen necesario un nuevo modelo de gestión de las aguas residuales urbanas donde la planificación sostenible de los sistemas de depuración se torna fundamental.

En el presente estudio se ha puesto de manifiesto la importancia esta planificación previa a la implantación de un determinado sistema de depuración especialmente en pequeñas poblaciones, asignatura pendiente en cuanto a cumplimiento de la Directiva 91/271/CEE se refiere y objetivo prioritario del Plan Nacional de Calidad de las Aguas (PNC 2007-2015).

Los sistemas centralizados no son factibles o bien no son la estrategia más rentable en determinados casos (pequeñas poblaciones, zonas rurales, poblaciones diseminadas, etc.) donde otras configuraciones como los sistemas satélite o semi-descentralizados pueden ser más sostenibles.

Para determinar la configuración más adecuada se han aplicado los criterios de sostenibilidad a los sistemas de depuración de las aguas residuales urbanas, identificándose los principales factores determinantes grado de aglomeración de las aguas residuales procedentes de pequeñas poblaciones. Se concluye que los factores más relevantes de manera general son: la elección de la tecnología apropiada, la localización y distancia entre núcleos de población, los lodos generados en el proceso de depuración, y los costes de inversión y puesta en marcha de las instalaciones de saneamiento de agua residual.

A fin de que el planificador pueda considerar las singularidades de las poblaciones a integrar, se propone la creación de una matriz de decisión que valore el grado de influencia de los criterios y subcriterios expuestos sobre la sostenibilidad del sistema de depuración en cada caso particular.

6. Referencias.

Acosta, R., (2013) So, you think you want to build a decentralized wastewater treatment system?. *Rural Community Assistance Partnership*. Obtenido de http://www.rcap.org/node/1283.

Andreu, P. S., Mifsut, C. L., & Soler, M. A. (2012). Optimización energética en EDAR de la Región de Murcia. *Ingeniería civil*, (168), 93-112.

Bakir, H. A. (2001). Sustainable wastewater management for small communities in the Middle East and North Africa. *Journal of Environmental Management, 61 (4),* 319-328.

Bradley, B. R., Daigger, G. T., Rubin, R., & Tchobanoglous, G. (2002). Evaluation of onsite wastewater treatment technologies using sustainable development criteria. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *4*(2), 87-99.

CEDEX, (2007). XXV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas [CEDEX]. Ministerio de Fomento, Madrid.

Chung, G., Lansey, K., Blowers, P., Brooks, P., Ela, W., Stewart, S. & Wilson, P. (2008). A general water supply planning model: Evaluation of decentralized treatment. *Environmental Modelling & Software, 23 (7),* 893-905.

Clark, R. M., Sivaganesan, M., Selvakumar, A. & Sethi, V., (2002). Cost models for water supply distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management, 128 (5),*312-321.

Collado, R., & Vargas, G. (1991). La depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades. Criterios de selección. *Tecnología del Agua,* 80, 28-47.

Crites, R., & Tchnobanoglous, G. (1998). Small and decentralized wastewater management systems. Boston. McGraw-Hill.

Emmerson, R. H. C., Morse, G. K., Lester, J. N., & Edge, D. R. (1995). The life-cycle analysis of small-scale sewage-treatment processes. *Water and Environment Journal*, *9*(3), 317-325.

Ferrer, Y., Ortega, E. & Salas, J. J. (2012). Tendencias actuales en las tecnologías de tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas. *Ingeniería Civil*, (168), 131-143.

Gikas, P., & Tchobanoglous, G. (2009). The role of satellite and decentralized strategies in water resources management. *Journal of Environmental Management*, *90*(1), 144-152.

Hernández Muñoz, A. (2001). Depuración y desinfección de aguas residuales. *Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Quinta edición. España*.

Hophmayer-Tokich, S. (2006). Wastewater Management Strategy: centralized v. decentralized technologies for small communities. *CSTM Studies and Reports*, (271), 1-27.

Ortega, E., Ferrer, Y., Salas, J. J., Aragón, C., & Real, A. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. *Ministerio de Medioambiente, Medio Rural y Marino. Madrid*.

Ortega, E., Salas, J. J., Ferrer, Y., Sobrados, L., & Aragón, C. (2008). La depuración de las aguas residuales en pequeñas poblaciones españolas. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas [CEDEX]. Ministerio de Fomento, Madrid.

Schramm, E., & Felmeden, J. (2012). Towards more resilient water infrastructures. In *Resilient Cities 2* (pp. 177-186). Springer Netherlands.

Tang, C.C., Brill, E.D., Pfeffer, J.T., (1987). Optimization techniques for secondary wastewater treatment system. *Journal of Environmental Engineering 113* (5), 935e951.

US Army Corps of Engineers, (1980). Methodology for area wide planning studies. *Engineer Technical.* Letter No. 1110-2-502, Washington, DC.

USEPA (1997). Response to Congress on use of decentralized wastewater treatment systems. United States Environmental Protection Agency Office of Water & Office of Wastewater Management, Washington DC.

Walski, T.M., Brill, E.D., Gessler, J., Goulter, I.C., Jeppson, R.M., Lansey, K., Lee, H., Liebman, J.C., Mays, L., Morgan, D.R., Ormsbee, L., (1987). Battle of the network models: epilogue. *Journal of Water Resources Planning and Management 113* (2), 191-203.

World Commission on Environment and Development. (1987). Our common future (p. XV). Oxford: Oxford University Press.

04-016

ANALYSIS OF THE EVOLUTION OF SPANISH LEGISLATION ON ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT

Bastante Ceca, María José; Fuentes Bargues, José Luis; Viñoles Cebolla, Rosario Universitat Politècnica de València

The Environmental Impact Assessment (EIA) is a legal-administrative procedure of which objective is the identification, prediction and interpretation of environmental impacts that a program or a project would produce on the environment if it is executed. In this process, prevention, correction and assessment of environmental impacts are done in order the program, plan or activity can be accepted, modified or rejected by the government, with adequate consultation to the administrations and private sector institutions that may be affected as well as the general public. The EIA was legislated in Spain by transposing Directive 85/337/EEC in Royal Decrees 1302/1986 and 1131/1988, which defined the stages of EIA, the content of the Environmental Impact Assessment (EIS) and projects to be subject to the EIA process. It has been almost thirty years since the first Spanish legislation to the current Law 21/2013 of EIA and is still pending the transposition into Spanish law of Directive 2014/52/EC on the evolution of certain public and private projects on the environment. The motivation and the objective of the present communication is to make an analysis of the evolution of the legislation on environmental impact to know its current status and relationship to engineering of projects.

Keywords: *environmental assessment; projects; environment; Spain*

ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA ESPAÑOLA SOBRE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento jurídico-administrativo que tienen por objeto la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un determinado programa, proyecto a actividad produciría sobre el medio ambiente en caso de ser puesto en marcha, para prevenir, corregir y valorar los impactos, y que el programa, plan o actividad pueda ser aceptado, modificado o rechazado si la corrección no fuera posible. La EIA se legisló en España mediante la transposición de la Directiva 85/337/CEE mediante los Reales Decretos 1302/1986 y 1131/1988, que definieron las fases del proceso de EIA, el contenido del Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) y los proyectos que debían someterse al proceso de EIA. Han pasado casi treinta años desde la primera normativa española hasta la actual Ley 21/2013 de Evaluación de Impacto Ambiental y todavía está pendiente la transposición al derecho español de la Directiva 2014/52/CE sobre la evolución de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, lo que motiva el objeto de la presente comunicación, que pretende realizar un análisis de la evolución de la normativa en materia de impacto ambiental para conocer su situación actual y la relación con la ingeniería de proyectos.

Palabras clave: *evaluación de impacto ambiental; proyectos; medio ambiente; España*

Correspondencia: María José Bastante Ceca mabasce1@dpi.upv.es

1. Introducción

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento jurídico-administrativo que tienen por objeto la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un determinado programa, proyecto a actividad produciría sobre el medio ambiente en caso de ser puesto en marcha, para prevenir, corregir y valorar los impactos, y que el programa, plan o actividad pueda ser aceptado, modificado o rechazado si la corrección no fuera posible.

2. Objetivos

El objetivo de la presente comunicación es realizar un análisis de la evolución de la normativa española e internacional sobre los procesos de evaluación de impacto ambiental de proyectos, planes, políticas y programas, para lo cual se realizará en primer lugar una síntesis de la evolución que han seguido dichos procesos, tanto a nivel internacional como a nivel europeo (comunitario) y finalmente a nivel nacional y/o regional.

Las conclusiones finales nos llevarán a establecer el estado actual de dichos procesos, y su relación con la ingeniería de proyectos, dado que todos ellos surgen con la necesidad de analizar la repercusión que la ejecución y puesta en marcha de determinadas actividades tendrán sobre el medio ambiente.

3. Antecedentes

3.1 Marco histórico internacional

Los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental surgen con la aprobación, en Estados Undios, de la “National Environmental Policy Act”, en 1969, cuya entrada en vigor tuvo lugar el 1 de enero de 1970 [EPA, 1970].

Esta Ley tuvo como aspecto destacable la creación del “Consejo de Calidad Ambiental” (Quality Environmental Council, QEC), que ya en agosto de 1973 publicó unas directrices para la elaboración de lo que en aquel momento se denominaron “Estudios de Impacto Ambiental” (Environmental Impact Statements, EIS).

A partir de este momento, distintos estados pertenecientes a los Estados Unidos aprobaron sus propias leyes de impacto ambiental.

En Europa los procesos relacionados con la evaluación de impacto ambiental de proyectos llegaron un poco más tarde, y no fue hasta 1985 cuando se aprobó la Directiva 85/337/CEE relativa a la evaluación de repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, y de aplicación obligatoria a los países miembros en ese momento de la Comunidad Económica Europea, CEE. Dicha Directiva obligaba a adoptar procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental como criterio de decisión en obras que fuesen susceptibles de causar alguna degradación ambiental. Esta fue la primera norma a nivel comunitario, aunque ya había países como Francia que aplicaban procedimientos de este tipo, a título individual, desde 1976.

Aunque como ya se ha indicado, los primeros intentos de incluir consideraciones ambientales antes de autorizar proyectos que pudieran tener alguna repercusión negativa sobre el medio datan de los años 70 y 80 del siglo pasado, no fue hasta la celebración de la Conferencia de Naciones Unidas de 1992 que tuvo lugar en Río de Janeiro cuando estos procesos cobraron un gran impulso. En la conocida como “Declaración de Río”, destaca el principio 17, donde se indica que “deberá emprenderse una evaluación del impacto

ambiental, en calidad de instrumento nacional, respecto de cualquier actividad propuesta que probablemente haya de producir un impacto negativo considerable en el medio ambiente y que esté sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente"[1].

Tras el impulso de la Cumbre de Río, distintos países fueron incorporando los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental a sus respectivas legislaciones. Por citar algunos, destacan Perú en 1990, Túnez en 1991, Bulgaria en 1992, Chile en 1994, o Rumanía en 1995. En la actualidad, puede afirmarse que la Evaluación de Impacto Ambiental es un proceso que se emplea universalmente.

La Directiva 337/85/CEE fue modificada posteriormente por las Directivas 97/11/CE (que ampliaba de 9 a 21 las categorías de actividades sometidas a procesos de evaluación de impacto ambiental), 2003/35/CE (que establecía la participación del público en la elaboración de ciertos planes y programas relativos al medio ambiente, modificando por lo tanto la Directiva 85/337/CEE en lo relativo a la participación ciudadana y acceso a la justicia), y 2009/31/CE, relativa al almacenamiento geológico de CO_2 (además de estar sometidas a procesos de evaluación de impacto ambiental la captura y el transporte de flujos de CO_2 con fines de almacenamiento geológico tal como establecía la Directiva 85/337/CEE, la Directiva 2009/31/CE establece que también deberán someterse a estos procesos los emplazamientos donde vaya a producirse el almacenamiento).

Como se ha indicado, en 1997 se publica la Directiva 97/11/CE [Unión Europea, 1997] que modifica la Directiva Europea 337/85 y que además de ampliar a 21 las categorías de proyectos consideradas como susceptibles de ser sometidas a un proceso de evaluación de impacto ambiental, contempla unos criterios que aparecen en su Anexo III en virtud de los cuáles se podrá determinar si un proyecto que en principio no deba ser sometido al trámite de evaluación de impacto ambiental, deberá ser objeto de evaluación a juicio de la autoridad ambiental. Otra novedad es que, tras solicitud del promotor, la autoridad competente deberá facilitar su opinión sobre el contenido y alcance de la información que el titular del proyecto deba proporcionar. Por último, se incorporan los requisitos del Convenio de Espoo, sobre la Evaluación de Impacto en el Medio Ambiente en contextos transfronterizos [España, 1997].

En 2011 se publica la Directiva 2011/92/UE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, que intenta recoger en un único texto todas las modificaciones producidas en las Directivas 85/337/CEE, 97/11/CE 2003/35/CE y 2009/31/CE.

Por último, en abril de 2014 se publica la Directiva 2014/52/UE que modifica la Directiva 2011/92/UE para garantizar la mejora de la protección del medio ambiente, el aumento de la eficiencia en el uso de los recursos y el apoyo al crecimiento sostenible en la UE, y que con este fin simplifica y armoniza los procedimientos de evaluación.

Más allá del ámbito de los proyectos públicos y privados, en el año 2001 se aprueba la Directiva 2001/42/CE relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, conocida como Evaluación Ambiental Estratégica, y que afecta a los planes y programas cuya elaboración o adopción incumba a una autoridad nacional, regional o local, o que sean exigidos por disposiciones legales, reglamentarias o administrativas, excluidos los que afecten a defensa nacional y casos de emergencia civil, o los de tipo financiero o presupuestario.

Por otro lado, en 2004 se aprueba la Directiva 2004/35/CE sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales, que aplica el principio "quien contamina paga", y de aplicación a los daños medioambientales

[1] http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/riodeclaration.htm (consultada el 27 de enero de 2015)

causados por actividades profesionales que presenten un riesgo para la salud humana o el medio ambiente.

En definitiva, se puede afirmar que existe una legislación amplia, rigurosa y actual que vela por la conservación y preservación de los espacios naturales en relación con las actividades llevadas a cabo por el hombre.

3.1 Marco histórico nacional

En el año 1986, como resultado de la transposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva 337/85 de la CEE se publica en España el Real Decreto Ley 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental, aplicable a los proyectos, públicos o privados, consistentes en la realización de obras, instalaciones o cualquier otra actividad comprendida en su Anexo, el cual comprendía 12 tipologías de proyectos [España, 1986].

En 1988 se aprueba el Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del RDL 1302/1986. En concreto, se establecen los contenidos que deberá tener el Estudio de Impacto Ambiental, documento principal en el que basar la decisión de aprobar o no un proyecto sometido a este procedimiento, así como el procedimiento para la Evaluación de Impacto Ambiental. También se especifican las características de las distintas tipologías de proyectos incluidas en el Anexo del RDL 1302/1986 [España, 1988].

El Convenio de Espoo ya indicado anteriormente, sobre Evaluación de Impacto en el Medio Ambiente en un contexto transfronterizo, del año 1991, fue ratificado por España en septiembre de 1997 y publicado en BOE en octubre del mismo año.

Estas novedades hicieron necesario un cambio en la legislación española, que culminó con la publicación en el año 2000 del Real Decreto Ley 9/2000, de 6 de octubre, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental [España, 2000], nuevamente modificado por la Ley 6/2001 [España, 2001]. Dichas modificaciones incluían 3 anexos en lugar de 1 como ocurría en el RDL 1302, distinguiendo entre aquellas tipologías de proyectos que deberían someterse de manera obligatoria a una evaluación de impacto ambiental (incluidos en el Anexo I), o aquellas tipologías que deberían someterse a una evaluación de impacto ambiental sólo cuando así lo decidiera el órgano ambiental en cada caso (incluidos en el Anexo II). La decisión sobre si una tipología de proyecto público o privado incluida en el Anexo II se debía someter o no a un proceso de evaluación de impacto ambiental se tomaría en base a los criterios establecidos en el Anexo III.

En el año 2008, y con el objetivo de establecer un marco único para la evaluación ambiental de proyectos, se publica el Real Decreto Legislativo 1/2008, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos, que posteriormente es modificada mediante la Ley 6/2010 de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos.

Paralelamente, en el año 2006 se aprueba la Ley 9/2006 sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas sobre el medio ambiente, que es la transposición de la Directiva 2001/42/CE. Asimismo, en 2007 se aprueba la Ley 26/2007 de Responsabilidad Medioambiental, que transpone la Directiva 2004/35/CE.

Todo esta dispersión de leyes finaliza en 2013 cuando, en diciembre, se aprueba la Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental, que afecta tanto a proyectos como a políticas, planes y programas, unificando así lo contenido en las Leyes 1/2008 y 9/2006.

Queda pendiente de transponer la Directiva 2014/52/UE, que se espera lo sea en breve.

4. La nueva Ley de Evaluación Ambiental

La Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental es la norma básica que en estos momentos regula el procedimiento de evaluación de evaluación ambiental, y afecta tanto a proyectos como a políticas, planes y/o programas.

Como novedades frente al procedimiento establecido por disposiciones anteriores, esta nueva ley distingue dos procedimientos de evaluación ambiental:

- Evaluación ambiental ordinaria. Para aquellas actividades incluidas en el Anexo I.
- Evaluación ambiental simplificada. Para aquellas actividades incluidas en el Anexo II.

Además, incluye un Anexo III donde se especifican los criterios que pueden hacer que el Órgano Ambiental correspondiente determine que una tipología de proyecto incluida en el Anexo II deba ser tipificada como ordinaria, y por lo tanto ser sometida a una evaluación ambiental ordinaria.

Las principales novedades que aporta la Ley 21/2013 frente al RDL 1/2008 son las siguientes:

- El RDL 1/2008 aplicaba únicamente a los proyectos, dejando los planes, políticas y programas con su propia legislación. La nueva Ley integra la legislación anterior aplicable tanto a los proyectos como a la evaluación ambiental estratégica (que afecta a planes, políticas y programas).
- Los Anexos I y II del RDL 1/2008 determinaban la obligatoriedad, o no, de sufrir un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, en base a los criterios del Anexo III. En la nueva Ley, todas las actuaciones incluidas en los Anexos I ó II estarán sometidas a un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, que será más exhaustivo o simplificado en función de las características de la actuación.
- Se acortan los plazos de resolución de los expedientes sometidos al proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, estableciendo nuevos procedimientos administrativos para los procesos de evaluación ambiental u ordinaria, respectivamente.
- Se establecen una serie de actuaciones previas al inicio del proceso, cuyo tiempo no contará dentro de los plazos máximos de resolución.
- Se incluyen consideraciones específicas sobre el cambio climático.
- Se distingue entre Declaración de Impacto Ambiental e Informe de Impacto Ambiental, según la resolución corresponda al proceso ordinaro o simplificado, respectivamente.

4.1. Actuaciones previas al proceso de evaluación ambiental

Como se ha indicado en el párrafo anterior, antes de iniciar el procedimiento de evaluación de impacto ambiental, tienen lugar una serie de actuaciones previas, unas de carácter voluntario para el promotor y otras obligatorias.

Así, con carácter obligatorio, el Órgano Sustantivo (OS), deberá cumplir con los trámites de información pública y consulta a administraciones públicas que puedan estar afectadas por el proyecto, así como a personas interesadas. Estos trámites serán válidos por 1 año hasta el inicio de la evaluación ambiental ordinaria, pasado el cual se considerarán caducados.

Con carácter voluntario, el promotor del proyecto podrá solicitar información al OS sobre el alcance del Estudio de Impacto Ambiental, quién trasladará dicha petición al Órgano

Ambiental (OA) para que lo determine, tras consultar también a las administraciones públicas afectadas y personas interesadas por el proyecto.

4.2. Procedimiento administrativo de la evaluación ambiental ordinaria

Tras la etapa de actuaciones previas, el proceso de Evaluación Ambiental Ordinaria comprende las siguientes fases:

Solicitud de inicio del procedimiento;

El promotor presentará la solicitud de inicio de la Evaluación de Impacto Ambiental ante el OS, que debe ir acompañada por:

- Documento técnico del proyecto.
- Estudio de Impacto Ambiental.
- Alegaciones e informes recibidos durante los trámites de información pública y consultas a las administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas.
- En su caso, observaciones que el OS considere oportunas.

Toda esta documentación constituirá el expediente técnico de impacto ambiental, que será analizado en la etapa posterior del proceso de evaluación.

Análisis técnico del expediente de impacto ambiental;

En este análisis de tendrá en cuenta cómo se han considerado las consultas a las administraciones públicas, a las personas afectadas, las consultas transfronterizas, y el cambio climático. Si fuera necesario, se pedirá la subsanación de algún error o información incompleta, suspendiendo temporalmente el cómputo del plazo máximo para la Declaración de Impacto Ambiental.

Declaración de Impacto Ambiental (DIA);

Es el resultado del análisis técnico del expediente. La Declaración de Impacto Ambiental tiene un carácter preceptivo y determinante, ya que determina si procede, o no, a efectos ambientales, la realización del proyecto y, en su caso, las condiciones en las que puede desarrollarse, las medidas correctoras y las medidas compensatorias necesarias.

Se trata de un documento que debe contener, obligatoriamente, los siguientes contenidos (y esto también es una novedad de la Ley 21/2013 ya que el RDL 1/2008 establecía una DIA mucho más simple):

a) La identificación del promotor del proyecto y del OS, y la descripción del proyecto.

b) El resumen del resultado del trámite de información pública y de las consultas a las Administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas, y cómo se han tenido en consideración.

c) El resumen del análisis técnico realizado por el OA.

d) Si proceden, las condiciones que deban establecerse y las medidas que permitan prevenir, corregir y, en su caso, compensar los efectos adversos sobre el medio ambiente.

e) Las medidas compensatorias que deban establecerse en caso de concurrir las circunstancias previstas en el artículo 45 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

f) El programa de vigilancia ambiental.

g) Si procede, la creación de una comisión de seguimiento.

h) En caso de operaciones periódicas, la motivación de la decisión y el plazo a que se refiere la disposición adicional décima.

La DIA tendrá una vigencia de cuatro años desde su publicación en el Boletín Oficial del Estado o diario oficial correspondiente hasta el comienzo de la ejecución del proyecto, prorrogables dos años adicionales a petición del promotor.

El plazo máximo para que el OA realice los trámites que comprende el proceso es de cuatro meses, contados desde la recepción completa del expediente de impacto ambiental, plazo que podrá prorrogarse dos meses adicionales por razones justificadas. Es decir, se acorta el plazo máximo de resolución y emisión de la Declaración de Impacto Ambiental hasta un máximo de 4+2 meses, cuando previamente a la entrada en vigor de la Ley 21/2013 había expedientes que tardaban hasta 24 meses en resolverse.

4.2. Procedimiento administrativo de la evaluación ambiental simplificada

El procedimiento de evaluación ambiental simplificada se aplicará, según la Ley 21/2013, a las siguientes tipologías de proyectos [España, 2013]:

a) Los proyectos comprendidos en el Anexo II.

b) Los proyectos no incluidos ni en el Anexo I ni el Anexo II que puedan afectar de forma apreciable, directa o indirectamente, a Espacios Protegidos Red Natura 2000.

c) Cualquier modificación de las características de un proyecto del Anexo I o del Anexo II, a menos que dichas modificaciones lo hagan cumplir las características para ser incluido en el Anexo I, ya autorizados, ejecutados o en proceso de ejecución, que pueda tener efectos adversos significativos sobre el medio ambiente. Se entenderá que esta modificación puede tener efectos adversos significativos sobre el medio ambiente cuando suponga:

- Un incremento significativo de las emisiones a la atmósfera.
- Un incremento significativo de los vertidos a cauces públicos o al litoral.
- Incremento significativo de la generación de residuos.
- Un incremento significativo en la utilización de recursos naturales.
- Una afección a Espacios Protegidos Red Natura 2000.
- Una afección significativa al patrimonio cultural.

d) Los proyectos que, presentándose fraccionados, alcancen los umbrales del Anexo II mediante la acumulación de las magnitudes o dimensiones de cada uno de los proyectos considerados.

e) Los proyectos del Anexo I que sirven exclusiva o principalmente para desarrollar o ensayar nuevos métodos o productos, siempre que la duración del proyecto no sea superior a dos años.

En este caso, el procedimiento estará formado por las siguientes fases:

Solicitud de inicio de la Evaluación de Impacto Ambiental simplificada

El promotor presentará la solicitud de inicio de la Evaluación de Impacto Ambiental simplificada ante el OS acompañada por la siguiente documentación:

a) La motivación de la aplicación del procedimiento de EIA simplificada.

b) La definición, características y ubicación del proyecto.

c) Una exposición de las principales alternativas estudiadas y una justificación de las principales razones de la solución adoptada, teniendo en cuenta los efectos ambientales.

d) Una evaluación de todos los efectos previsibles de la actuación proyectada sobre todos los elementos del medio, durante todas las fases del proyecto, incluyendo un apartado específico cuando el proyecto pueda afectar directa o indirectamente a los espacios Red Natura 2000 para la evaluación de sus repercusiones en el lugar, teniendo en cuenta los objetivos de conservación del espacio.

e) Las medidas que permitan prevenir, reducir y compensar y, en la medida de lo posible, corregir, cualquier efecto negativo relevante en el medio ambiente de la ejecución del proyecto.

f) La forma de realizar el seguimiento que garantice el cumplimiento de las indicaciones y medidas protectoras y correctoras contenidas en el documento ambiental.

Consulta a Administraciones públicas afectadas y a las personas interesadas

Se consultará a todas aquellas administraciones públicas que el OA considere que pueden verse afectadas por el proyecto, así como a las posibles personas interesadas en el mismo, poniendo a su disposición el documento ambiental del proyecto, teniendo éstas 30 días para pronunciarse sobre el mismo.

Informe de Impacto Ambiental (IIA)

Se realizará en un plazo máximo de tres meses desde la recepción de la solicitud de inicio del procedimiento, y en él se podrá determinar lo siguiente:

a) El proyecto debe someterse a una EIA ordinaria por tener efectos significativos sobre el medio ambiente. En este caso, el promotor elaborará el EsIA conforme lo indicado para el procedimiento ordinario. Para ello, el promotor podrá solicitar al OA el documento de alcance del EsIA.

b) El proyecto no tiene efectos significativos sobre el medio ambiente, en los términos establecidos en el IIA. En este caso, y al igual que ocurre con el proceso ordinario, la resolución tendrá una validez máxima de cuatro años desde su publicación en el Boletín Oficial del Estado o Diario Oficial correspondiente.

5. Conclusiones

En los últimos 30 años, desde que se publicase la primera Directiva sobre Evaluación de Impacto Ambiental de los proyectos, han sido múltiples las modificaciones normativas sobre la materia, con el objetivo de cumplir con el deber de protección de la naturaleza y disminuir las posibles repercusiones que determinadas actuaciones pudieran tener sobre el medio, haciendo que el causante de dichas repercusiones tenga contempladas la minimización, evitación, corrección y/o compensación de las mismas hasta un nivel compatible con el medio previamente a su autorización.

Así, las distintas modificaciones han ido enfocadas, por una parte, a ampliar progresivamente los supuestos y tipologías de proyectos que debían someterse a un proceso de evaluación de impacto ambiental, y por otra parte a cubrir más etapas del proceso, como es el caso de la normativa de evaluación ambiental estratégica, que cubre etapas anteriores a la fase de proyecto como son la fase de establecimiento de los planes, políticas y programas, como la normativa referente a la responsabilidad medioambiental, que cubre etapas posteriores a la puesta en marcha del proceso.

También, las diversas modificaciones han ido enfocadas a garantizar cada vez más una mayor protección ambiental al mismo que simplifican y agilizan los procedimientos administrativos.

De esta forma, y tras la aparición de diversas leyes y reales decretos, se publica en 2013 la Ley 21/2013 de evaluación ambiental, actualmente en vigor, y que integra en una única disposición la evaluación ambiental de proyectos así como la evaluación ambiental estratégica, fijando dos tipos de procedimientos de evaluación ambiental (ordinario y simplificado), y estableciendo unos plazos máximos de 4+2 meses (ordinario) y 3 meses (simplificado), tras una etapa de actuaciones previas que no forman parte del cómputo total de tiempo del procedimiento.

Queda por transponer al ordenamiento jurídico español la Directiva 2014/52/UE, que nuevamente hace hincapié en agilizar los procesos de evaluación de impacto ambiental, y que establece que los Estados Miembros deberán ponerla en marcha antes de mayo de 2017.

Referencias

España. Instrumento de Ratificación del Convenio sobre evaluación del impacto en el medio ambiente en un contexto transfronterizo, hecho en Espoo (Finlandia) el 25 de febrero de 1991. *Boletín Oficial del Estado*, 31 de octubre de 1997, núm. 261, pp. 31435-31443 [consultado 02 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/1997/10/31/pdfs/A31435-31443.pdf

España. Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. *Boletín Oficial del Estado,* 11 de diciembre de 2013, núm. 296, pp. 98151-98227 [consultado 02 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/2013/12/11/pdfs/BOE-A-2013-12913.pdf

España. Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental. *Boletín Oficial del Estado,* 24 de octubre de 2007, núm. 255, pp. 43229-43250 [consultado 02 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/2007/10/24/pdfs/A43229-43250.pdf

España. Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del RDL 1302/86. *Boletín Oficial del Estado,* 9 de mayo de 2001, núm. 111, pp 16607-16616 [consultado 02 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/2001/05/09/pdfs/A16607-16616.pdf

España. Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero. *Boletín Oficial del Estado*, 25 de marzo de 2010, núm. 73, pp 28590-28597 [consultado 02 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/2010/03/25/pdfs/BOE-A-2010-4908.pdf

España. Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas sobre el medio ambiente. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de abril de 2006, núm. 102, pp 16820-16830 [consultado 02 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/2006/04/29/pdfs/A16820-16830.pdf

España. Real Decreto 1131/88, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del RDL 1302/86. *Boletín Oficial del Estado*, 5 de octubre de 1988, núm. 239, pp. 28911-28916 [consultado 02 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/1988/10/05/pdfs/A28911-28916.pdf

España. Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos. *Boletín*

Oficial del Estado, 26 de enero de 2008, núm. 23, pp. 4986-5000 [consultado 02 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/2008/01/26/pdfs/A04986-05000.pdf

España. Real Decreto Legislativo 1302/86, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental. *Boletín Oficial del Estado*, 30 de junio de 1986, núm. 155, pp. 23733-23735 [consultado 02 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/1986/06/30/pdfs/A23733-23735.pdf

España. Real Decreto Ley 9/2000, de 6 de octubre, de modificación del RDL 1302/86, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental. *Boletín Oficial del Estado,* 7 de octubre de 2000, núm. 241, pp. 34606-34614 [consultado 02 abril 2015]. Disponible en: http://www.boe.es/boe/dias/2000/10/07/pdfs/A34606-34614.pdf

Unión Europea. Directiva 2003/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de mayo de 2003, que establece la participación del público en la elaboración de ciertos planes y programas relativos al medio ambiente y que modifica en lo referente a participación ciudadana y acceso a la justicia las Directivas 85/337/CEE y 96/61/CE del Consejo. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 26 de junio de 2003, núm 156, pp. 17-25.

Unión Europea. Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de abril de 2004 sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales. *Diario Oficial de la Unión Europea,* 30 de abril de 2004, núm 143, pp. 56-75.

Unión Europea. Directiva 2009/31/, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009 relativa al almacenamiento geológico de dióxido de carbono y por la que se modifican la Directiva 85/337/CEE del Consejo, las Directivas 2000/60/CE, 2001/80/CE, 2004/35/CE, 2006/12/CE, 2008/1/CE y el Reglamento (CE) no 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 5 de junio de 2009, núm 140, pp.114-135.

Unión Europea. Directiva 2011/92/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre de 2011 relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente. *Diario Oficial de la Unión Europea,* 28 de enero de 2012, núm 26, pp. 1-21.

Unión Europea. Directiva 2014/52/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014 por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente*. Diario Oficial de la Unión Europea,* 25 de abril de 2014, núm 124, pp. 1-18.

Unión Europea. Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de junio de 2001 relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas,* 21 de julio de 2001, núm 197, pp. 30-37.

Unión Europea. Directiva 85/337/CEE, de 27 de junio de 1985, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas,* 5 de julio de 1985, núm 175, pp. 40-49.

Unión Europea. Directiva 97/11/CE, de 3 de marzo de 1997, que modifica la Directiva 85/337/CEE. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas,* 14 de marzo de 1997, núm 73, pp. 5-15.

United States. National Environmental Policy Act (NEPA). 42 *U.S.Code, Chapter 55*, 1 de enero de 1970, pp. 4321-4370.

04-017

USE OF FLOWERING PERIOD OF SPECIES OF SUSTAINABLE GARDENING: MONITORING AND EVALUATION. DIVERSIFICATION IN THE GARDEN PROJECTS.

Mauri Ablanque, Pedro Vicente; Plaza Benito, Antonio; Ruiz-Fernández, Juan IMIDRA

Inside the garden one of the biggest problems is the lack of diversity, a floral calendar species suitable for Sustainable Gardening conducted under natural conditions in the IMIDRA exposed. in autochthonous and allochthonous over several years in plantings 'expressly' at Finca El Encin (Alcalá de Henares) species. More than fifty peninsular and Mediterranean native species adapted to the climate of the Community of Madrid, allow species to diversify Low Maintenance Gardening and increase the number of native species with ornamental and environmental values used. We made some suggestions to make gardening projects with sufficient diversity of species and colors may use them in the most appropriate flowering periods.

Keywords: *"Sustainable Gardening";"Flowering";"Biodiversity"*

USO DEL PERIODO DE FLORACIÓN DE LAS ESPECIES DE JARDINERÍA SOSTENIBLE: SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN. DIVERSIFICACIÓN EN LOS PROYECTOS DE JARDINERÍA

Dentro de la jardinería uno de los problemas mayores es la falta de diversidad, se expone un calendario floral de especies aptas para Jardinería Sostenible realizado en condiciones naturales en el IMIDRA. en especies autóctonas y alóctonas a lo largo de varios años en las plantaciones realizadas ‘ ex profeso’ en la Finca de El Encín (Alcalá de Henares). Más de medio centenar de especies autóctonas peninsulares y mediterráneas adaptadas a la climatología de la Comunidad de Madrid, permiten diversificar las especies para Jardinería de Bajo Mantenimiento y aumentar el número de las especies autóctonas con valores ornamentales y medioambientales utilizadas. Realizamos unas sugerencias para poder realizar proyectos de jardinería con la heterogeneidad suficiente de especies y colores pudiendo usarlas en los periodos más adecuados de floración.

Palabras clave: *"Jardinería Sostenible"; "Floración"; "Biodiversidad"*

Correspondencia: Pedro V. Mauri Ablanque pedro.mauri@madrid.org

Agradecimientos: La financiación es del IMIDRA, del proyecto FP13-JARD, (COMUNIDAD DE MADRID). Financiado por la UE y fondos FEADER: Europa invierte en zonas rurales.

1. Introducción

En España se comenzó a mediados de la década de los años ochenta, a valorar la utilización de especies autóctonas como plantas más austeras y adaptadas a las condiciones climáticas de cada zona. Si bien del examen de la lista de especies disponible en esas fechas (ICEA, 1990) se deduce que la mayoría de las especies autóctonas mediterráneas (árboles y arbustos) se han utilizado como ornamentales desde tiempo inmemorial.

La mayoría de la producción y utilización de planta autóctona ha estado y está ligada a las obras de infraestructuras y reforestación. Y las especies autóctonas utilizadas en jardinería urbana, excluidos los elementos arbóreos, son las especies de siempre (madroño, romero, santolinas, salvias, tomillos, lavandas etc.) que habitualmente tienen los viveros comerciales.

La jardinería urbana o privada, no puede basarse solamente en la utilización de planta autóctona. Entre otros factores porque el papel que cumplen estas especies en las sucesiones de la vegetación local, no se cumplen en un jardín. Otro factor esencial es que cada especie tiene un valor determinado, según la función que desempeña. Así una especie endémica, por el hecho de serlo, puede que no tenga ninguna cualidad jardinera.

Los trabajos con planta autóctona para xerojardinería se iniciaron en el IMIDRA en el año 1994, sobre la base de las colecciones de semillas de especies autóctonas conservadas en el Banco de Germoplasma de la Finca de El Encín, dando como resultado publicaciones de divulgación sobre xerojardinería (Alegre y Ruiz-Fernández, 1995), evaluación e introducción de especies autóctonas (Alegre et al., 1995; Ruiz-Fernández et al., 1997; Toledo et al., 1998), propagación (Toledo et al., 1997), autóctonas y jardinería pública (Ruiz-Fernández, et al., 2002; Ruiz-Fernández et al., 2005). Además, se ha realizado la serie de fichas 'Especies autóctonas ornamentales madrileñas' donde se describen más de 16 especies con sus características jardineras y requerimientos ambientales (Ruiz-Fernández y Toledo, 2000; Ruiz-Fernández, 2002). En el año 2005 se publicó por parte del IMIDRA el CD-Rom titulado 'Especies Autóctonas Ornamentales Madrileñas' (Ruiz-Fernández y Arranz, 2005), cuya finalidad era hacer hincapié en la flora ornamental madrileña, muchas de cuyas especies son utilizadas en jardinería en otras zonas, mientras que para nosotros son desconocidas. En esta misma publicación se realiza una ficha de cada especie (40 en total), donde de forma descriptiva se indican las características ornamentales de cada especie, sus requerimientos hídricos y ambientales.

Cuando el objetivo perseguido es la estética y la funcionalidad de los elementos utilizados en jardinería, y se desea compaginar con otras necesidades de carácter general, como es el ahorro de determinados recursos como el agua, entonces estamos hablando de xeriscape, 'xerojardinería' o 'jardinería de bajo mantenimiento'.

El primer lugar donde buscar plantas es en el medio ambiente que nos rodea: las plantas autóctonas suelen estar mejor adaptadas a 'sobrevivir' únicamente con el agua aportada por las lluvias y también a los suelos de la zona. Otro factor a tener en cuenta es el hábitat o microclima de las especies autóctonas, que nos indican parte de sus requerimientos o preferencias. La revalorización de la flora autóctona se realiza en los Estados Unidos de América mediante publicaciones institucionales (Borland et al., 1987; CNA, 1995; Costello y Jones, 1991; Mielke, 1993; Miller, 1991; Phillips, 1987).

Las bases para el ahorro de agua en jardines tiene su origen en los siete principios que definen el concepto de 'xeriscape', utilizado por primera vez en el estado de Colorado por la compañía abastecedora del área metropolitana 'Denver Water' en 1981:

- Diseño y planificación adecuados del jardín.
- Análisis del suelo y mejora en su caso.
- Selección adecuada de plantas.
- Reducción del césped, limitándolo a las zonas de mayor uso o más visibles.
- Sistemas eficientes de riego.
- Utilización de acolchados.
- Mantenimiento adecuado.

La diferencia fundamental entre el concepto 'Jardinería de Bajo Mantenimiento' y 'Jardinería Sostenible' es propiciar el aumento de la Biodiversidad de la Fauna Autóctona. Únicamente favorecida por la utilización de especies autóctonas lo más variadas posible.

Al igual que con las especies autóctonas, la difusión de especies utilizables en jardinería de bajo mantenimiento se puede realizar mediante publicaciones específicas como es el caso de los Estados Unidos (Johnson & Millard, 1993; Perry, 1992; Winger, 1996), junto con los Jardines Demostración (Xeriscape Demostration Gardens) que se pueden encontrar tanto a nivel local como estatal. Estos Jardines de Demostración o Jardines Piloto tienen por finalidad mostrar la variedad de especies eficientes en el uso de agua utilizables en jardinería de bajo mantenimiento en cada zona.

Los antecedentes sobre la preocupación y medidas para promover el ahorro de agua en las zonas verdes urbanas ya cuenta con una cierta tradición en la Comunidad de Madrid, entre otras medidas se recomienda, y hace hincapié en la utilización de especies autóctonas (López Lillo, 1993; Martínez Labarca, 2000; Gómez Manzaneque, 2001).

En 2008 se ajardinó la zona central o mediana de la entrada de la Finca El Encín como elemento de prácticas del Taller de Empleo existente en ese momento con especies de bajo mantenimiento autóctonas o exóticas. Sobre esta base nació la idea de creación de un Jardín Demostración con especies de bajo mantenimiento (como vemos en la Foto 1) y, en el cual, predominaran las especies autóctonas y otras especies que representaran una diversificación de las plantas con bajos requerimientos hídricos compatibles con las especies autóctonas.

En el año 2010 se inician las primeras reposiciones con especies autóctonas y de bajo mantenimiento al objeto de ir conociendo el comportamiento de las especies autóctonas en estado adulto y evaluar el comportamiento de especies comerciales y nos ha servido para realizar este trabajo de planificación.

2. Objetivos

- Conocer el comportamiento de las especies autóctonas y alóctonas en estado adulto, como el periodo de floración y la función que pueden desempeñar en el Jardín sostenible.

- Diversificar las especies que pueden utilizarse en la Comunidad de Madrid para la realización de proyectos de Jardinería sostenible que conserve y aumente la

biodiversidad y la diversidad de especies adaptadas al entorno, tanto autóctonas como exóticas.

- Poder servir al técnico para que pueda elegir la planta, según su comportamiento, coloración y floración en la realización de Proyectos de Jardinería. Podemos ver la variabilidad de colores tanto en la Foto 2 y 3.

- Cumplir una función social de divulgación de especies alternativas utilizables en la jardinería madrileña, sin competencia con las especies utilizadas tradicionalmente, pero que aumenten la diversidad de especies utilizadas y disponibles para la jardinería Sostenible.

- Mediante la realización de un calendario floral se pretende realizar una pequeña aportación al conocimiento del comportamiento floral de especies y variedades de especies autóctonas y de especies procedentes de otros climas utilizadas muy poco en la Comunidad de Madrid y la revalorización de especies poco utilizadas en la jardinería tradicional, consideradas de bajo mantenimiento.

- Difundir, a la vez, las propiedades jardineras que presentan nuestras plantas autóctonas para diversificar la gama de especies utilizadas tanto en jardinería pública como privada.

3. Metodología

El estudio se llevó a cabo en la finca "El Encín" del IMIDRA (Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario) en la latitud 40º 31 '12 "N, longitud 3º 18' 13" W, altura 603 mm. "El Encín" es una finca experimental de la Comunidad Autónoma de Madrid (España) situada en el municipio de Alcalá de Henares. Los suelos son generalmente Alfisoles y Entisoles (USDA Soil Taxonomy) con una amplia gama de texturas (de arena a la arcilla) y muchas veces con presencia de piedra caliza. El clima es mediterráneo Xeric, subtipo leve Meso-mediterránea aunque es comúnmente descrito como continental-mediterráneo con base en los registros históricos (1957-2000), el año promedio en la Finca El Encín es el siguiente: 13.4ºC de temperatura, humedad relativa del 60%, 1,8 m / s velocidad del viento, radiación global 308,9 cal / cm2 / día, 429,7 precipitación media anual y 744,9 mm / año ETP (Thorntwaite) (Mauri, 2000).

Se realiza la investigación del periodo de floración de 62 especies y/o sus variedades (Tabla nº 1) en plantas adultas presentes en las zonas ajardinadas correspondientes y aledañas a la zona de acceso a la Finca de El Encín, ubicada en Alcalá de Henares (Madrid). La zona principal de evaluación ocupa una superficie de 1.330 m^2, provista de sistema de riego por goteo autocompensante subterráneo, caudal por gotero de 2,3 l/h. y tratamiento para evitar intrusión de raíces. Marco: 33 x 50 cm. Profundidad: 30 cm. La zona de plantación está cubierta con malla anti-raíces horsol y 10 cm. de gravilla como mulching. Dicha zona dispone de diversas exposiciones (sol, semisombra y sombra) creada por las especies arbóreas situadas en el centro y/o los laterales de la misma, creando un microclima similar a las necesidades de cada especie. Esto permite situar las plantas en los lugares más adecuados y ensayar nuevas exposiciones para algunas de ellas.

Las especies autóctonas proceden de material obtenido de semillas de poblaciones locales o de selección varietal realizada en el IMIDRA. Las especies exóticas proceden de planta comercial de reproducción vegetativa, excepto en algún caso que proceden de semilleros.

Para la realización del calendario floral se ha tenido en cuenta diversos años de floración de las especies consideradas y de la experiencia acumulada sobre las mismas. Siendo el objeto la divulgación del comportamiento adulto de las plantas y sus cualidades jardineras. En cuanto a la influencia del clima en la floración, se ha aplicado un criterio restrictivo sobre el periodo de duración de la misma. Dicho criterio ha consistido en considerar como el inicio de floración entre diversos años, fundamentalmente 2012 y 2013, el más tardío, también aplicable al final de floración en sentido contrario. De esta forma se pretende que se puedan conocer las especies en su momento óptimo.

La divulgación constituye el objetivo último del presente trabajo y transferir las posibilidades de estas especies en la realización de proyectos de jardinería.

4. Resultados

En la Figura 1 se puede observar el "Inicio de Floración y el Periodo de Floración" y en la Figura 2 la "Duración del Periodo de Floración de las mismas". Respecto a la duración del Periodo de Floración, se observa que existe una gran disparidad entre los periodos más cortos y los más largos. Estas diferencias se justifican por la condición intrínseca de la especie, fundamentalmente si es reflorescente, si posee grandes racimos florales o si proceden las plantas de semilla.

De las especies estudiadas, en el Inicio de Floración, la mayor precocidad lo presentan cuatro especies autóctonas (*Iberis saxatilis, Rosmarinus officinalis*, *Vella pseudocitisus* y *V. spinosa*), seguidas por tres especies exóticas (*Chaenomeles japonica*, *Mahonia aquifolium* y *Otonna cheirifolia*), de las cuales sólo la última tiene una duración del periodo de floración comparable a las especies autóctonas mencionadas.

En las especies autóctonas, para conseguir periodos de floración más largos, en el caso de utilizar la reproducción vegetativa, es aconsejable utilizar material de plantación procedentes de diversas plantas madre para conseguir un efecto ornamental más prolongado, aunque menos intenso.

La prolongación de la duración de la floración ayuda al mantenimiento de la biodiversidad del entorno, al facilitar el acceso a las fuentes de alimentación de la entomofauna y hacer de corredores verdes de conexión entre la ciudad y su entorno natural.

En la Figura 3 se muestra el porcentaje de especies en floración a lo largo del año, extraído de la Figura 1. En él se observa que las especies de los meses de abril y mayo hacen de nexo de unión con las de floración de finales de primavera, lo que hace que el mayor número (porcentaje) de especies en floración se produzca en la primera quincena del mes de Junio.

La mayoría de las floraciones acaban en el mes de Julio, a partir de aquí, la floración es mantenida por especies de floración de verano como *Bupleurum fruticosum*, *Caesalpinia* gilliesi, *Frankenia corymbosa*, *Hibiscus syriacus*, *Limonium serotinum*, *Satureja obovata*, *Thymus aestivus* y *Vitex agnus–castus* entre otras, ayudadas por especies reflorecientes como *Centranhus ruber, Salvia chamaedryoides* y *Rosmarinus officinalis* en su segunda floración de otoño.

Dentro de la Tabla 2 se encuentran los distintos colores de las plantas y su tonalidad de la flor y tamaño para poder realizar un jardín sostenible y variado en cuanto a las características definidas, se ha colocado un resumen de todas las plantas estudiadas.

La *Erica multiflora* es la única especie que florece en pleno invierno, haciendo honor a su nombre popular: Brezo de invierno.

Un ejemplo de diferentes coloraciones las observamos en las Fotos 2 y 3.

5. Conclusiones

Hemos estudiado el comportamiento de las especies autóctonas de posible uso ornamental y se pueden usar en la jardinería sostenible; se pueden diversificar los jardines en la Comunidad de Madrid.

Se han conseguido caracterizar las especies estudiadas en las condiciones de la Comunidad de Madrid, como el calendario floral y su porte en nuestras condiciones climáticas, y se han conseguido rescatar y poder utilizar hasta 62 especies como podemos ver en la Tabla 1.

El estudio que hemos realizado sirve al técnico para que use la planta adecuada tanto en color de floración como en tamaño para que los jardines sean diversos y diferentes y puedan cumplir una función social de divulgación, dentro de todas las plantas estudiadas con un fin ornamental.

La utilización de especies autóctonas en jardinería, se plantea como algo esencial y complementario a la utilización de especies exóticas. Unas no pueden excluir a las otras. Donde pueda utilizarse una especie autóctona, utilícese.

Tabla 1. Relación de especies-variedades consideradas. Notas: Nº: Número asociado a cada especie. ESPECIE: Especie a la que hace referencia. TIPO DE MATERIAL: S: plantas procedentes de semillas o clones-población. C: Clon

Nº	ESPECIE	TIPO DE MATERIAL	Nº	ESPECIE	TIPO DE MATERIAL
1	*Althaea officinalis*	S	32	*Ligustrum vulgaris*	S
2	*Amelanchier ovalis*	S	33	*Limonium serotinum*	S
3	*Antirrhinum graniticum*	S	34	*Linum narbonensis*	S
4	*Bupleorum fruticosum*	S	35	*Lonicera etrusca*	C
5	*Caesalpinia gilliesii*	S	36	*Mahonia japonica*	C
6	*Centranthus ruber 'rosa'*	C	37	*Nepeta tuberosa*	S
7	*Centranthus ruber 'Alba'*	C	38	*Othonna cheirifolia*	C
8	*Chaenomeles*	C	39	*Phlomis crinita*	S
9	*Cistus clusii*	S	40	*Phlomis fruticosa*	S
10	*Cistus 'Madrid Bola del Mundo'*	C	41	*Phlomis herba-venti*	S
11	*Cistus 'Madrid Cisneriano*	C	42	*Phlomis lychnitis*	S
12	*Coronilla mínima 'Madrid Golden'*	C	43	*Phlomis purpúrea*	S
13	*Dorycnium pentaphyllum*	S	44	*Pyrus bourgeana*	S
14	*Erica multiflora*	S	45	*Rosmarinus officinalis*	C
15	*Erysimum scoparium*	S	46	*Rosmarinus officinalis*	C
16	*Frankenia corymbosa*	S	47	*Salvia chamaedryoides*	C
17	*Frankenia laevis*	C	48	*Salvia lavandulifolia*	S
18	*Frankenia thymifolia*	C	49	*Salvia lavandulifolia 'Alba'*	C
19	*Genista umbellata*	S	50	*Salvia officinalis*	C
20	*Helianthemumcinereum*	S	51	*Santolina chamaecyparisus*	C
21	*Helianthemum hirtum*	S	52	*Santolina squarrosa "Compacta"*	C
22	*Helianthemum violaceum*	S	53	*Satureja obovata*	C
23	*Helychrisum trianchanicum*	C	54	*Teucrium capitaum*	S
24	*Hibiscus syriacus*	C	55	*Thalictrum flavum*	C
25	*Hipericum balearicum*	S	56	*Thymbra capitata*	S
26	*Iberis saxatilis*	S	57	*Thymus aestivus*	S
27	*Jasminum fruticans*	S	58	*Thymus vulgaris*	C
28	*Lavándula angustifolia D.H.B*	C	59	*Vella pseudocytisus*	S
29	*Lavándula lanata*	C	60	*Vella spinosa*	S
30	*Lavándula stoechas stoechas*	C	61	*Viburnum lantana*	S
31	*Lavatera oblongifolia*	S	62	*Vitex agnus- castus*	S

Tabla 2. Relación de especies-variedades consideradas (ejemplo de una serie de plantas). Notas: PORTE, DIMENSIONES TIPO DE HOJA, COLORACIÓN PLANTA Y DE FLOR.

ESPECIE	PORTE	DIMENSIONES	TIPO DE HOJA	COLORACION HOJA	COLOR FLOR
Althaea officinalis	Mata	1,50 m x 0,5 m	Perenne	Verde glauco	Blanco
Amelanchier ovalis	Arbustivo	2,00 m x 1,00 m	Caducifolia	Verde-Anaranjada (en otoño)	Blanco
Antirrhinum graniticum	Mata	1,00 m x 0,50 m	Perenne	Verde	Blanco rosáceo
Bupleorum fruticosum	Arbustivo	1,50 m x 1,00 m	Perenne	Verde-Azulado	Verde-Amarillento
Caesalpinia gilliesii	Arbustiva	1,50 m x 1,00 m	Caducifolia	Verde	Amarillo (estambre rojo)
Centratus ruber 'rosa'	Mata	0,60 m x 0,50 m	Perenne	Verde - Azulado	Rosa
Centratus ruber 'Alba'	Mata	0,60 m x 0,50 m	Perenne	Verde-Azulado	Blanco
Chaenomeles	Arbustivo	1,50 m x 1,00 m	Caducifolia	Verde brillante	Rojo
Cistus clusii	Arbustivo	0,70 m x 0,50 m	Perenne	Verde	Blanco
Cistus 'Madrid Bola del Mundo'	Arbustivo	0,50 m x 1,00 m	Perenne	Verde	Rosa (estambre amarillo)
Cistus 'Madrid Cisneriano'	Arbustivo	0,50 m x 0,50 m	Perenne	Verde	Púrpura (estambre amarillo)
Coronilla mínima 'Madrid Golden'	Tapizante	0,30 m x 0,50 m	Perenne	Verde glauco	Amarillo
Dorycnium pentaphyllum	Arbustivo	0,80 m x 1,50 m	Perenne	Verde plateado	Blanco
Erica multiflora	Arbustivo	0,70 m x 0,60 m	Perenne	Verde	Rosa
Erysimum scoparium	Mata	0,30 m x 0,50 m	Perenne	Verde	Malva rosado
Frankenia corymbosa	Tapizante	0,20 m x 1,50 m	Perenne	Verde- gris	Rosa
Frankenia laevis	Tapizante	0,10 m x indeterminado	Perenne	Verde	Rosa
Genista umbellata	Arbustivo	0,80 m x 0,80 m	Perenne	Verde	Amarillo
Helianthemum cinereum	Arbustivo	0,30 m x 0,60 m	Perenne	Verde-gris	Amarillo
Helianthemum hirtum	Arbustivo	0,30 m x 0,30 m	Perenne	Gris	Amarillo
Helianthemum violaceum	Arbustivo	0,10 m x 0,30 m	Perenne	Gris	Blanco

Figura 1: PERIODO VEGETATIVO Y FLORACIÓN EN DÍAS DE ESPECIES DE JARDINERÍA SOSTENIBLE.

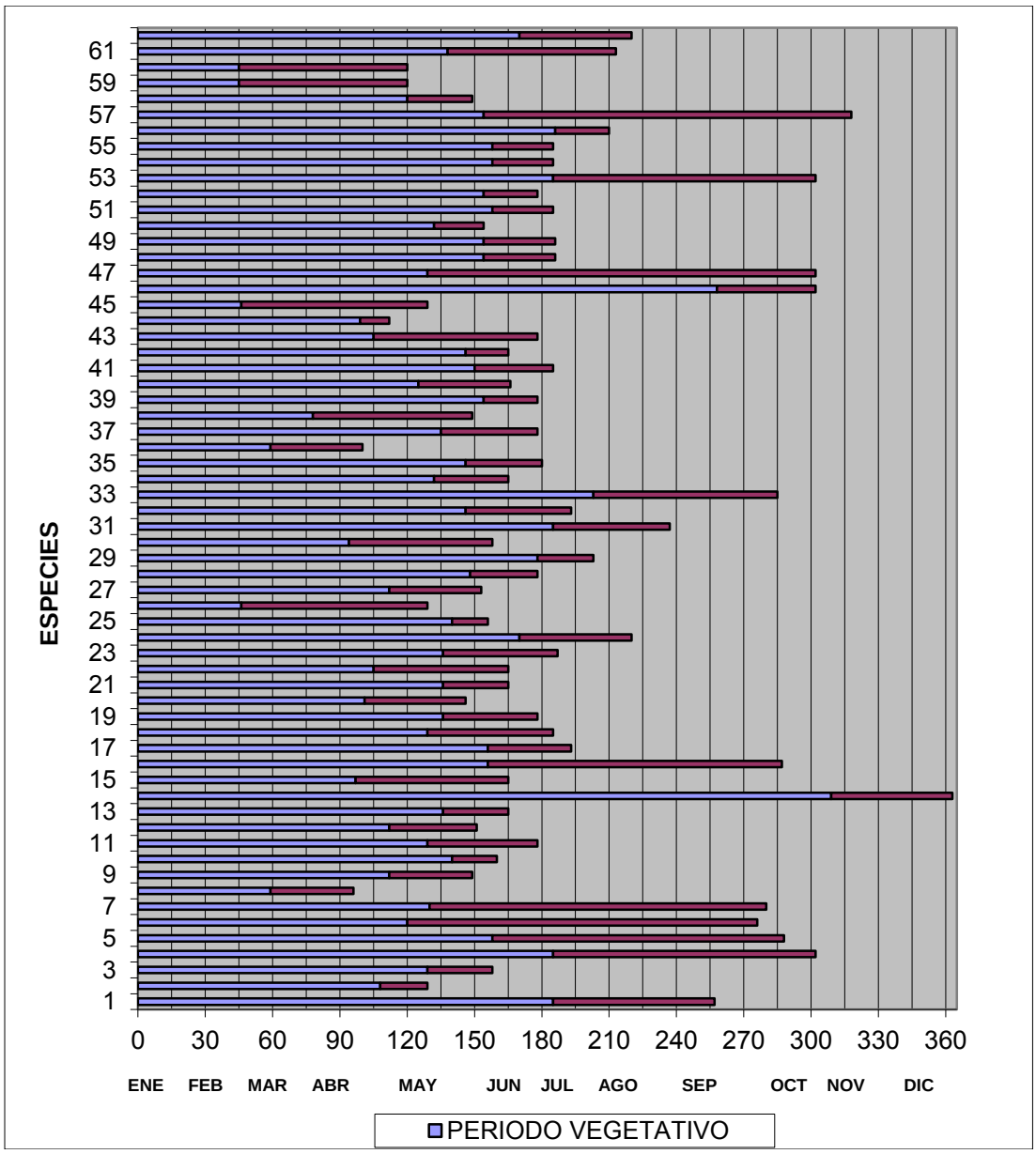


Figura 2: DURACIÓN DEL PERIODO DE FLORACIÓN DE LAS ESPECIES DE JARDINERIA SOSTENIBLE, ORDENADAS DE MENOR A MAYOR.

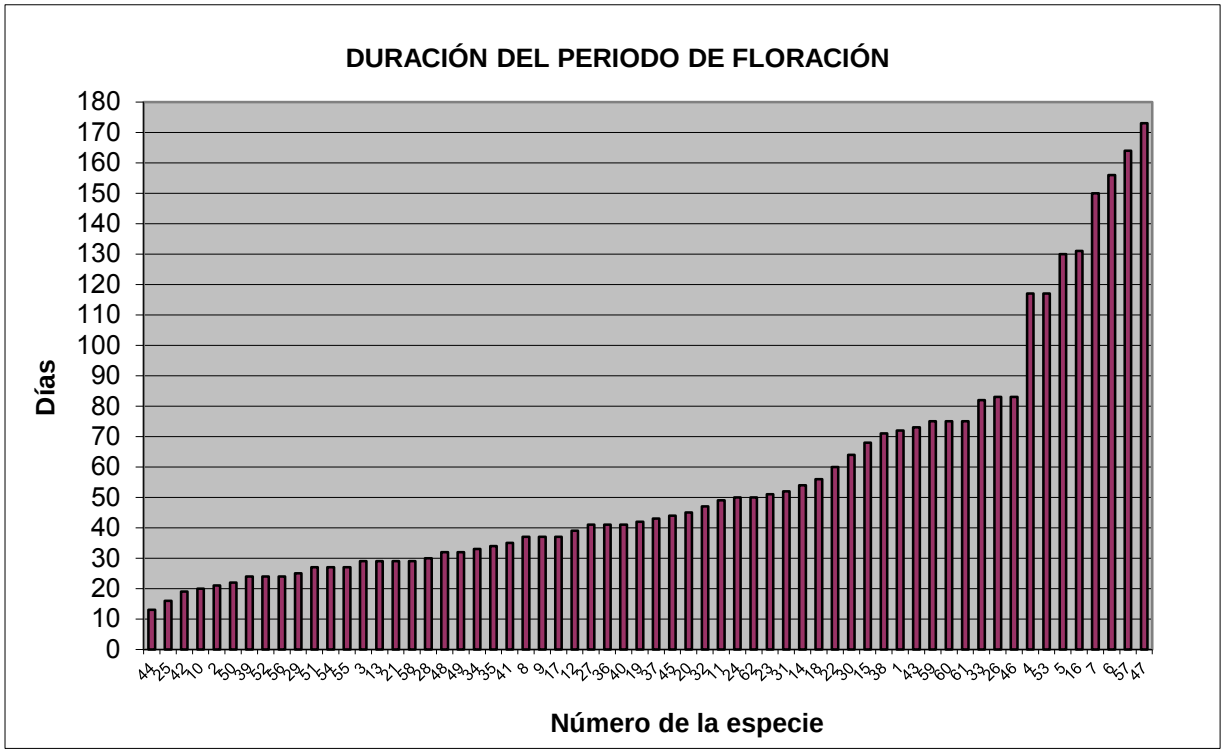
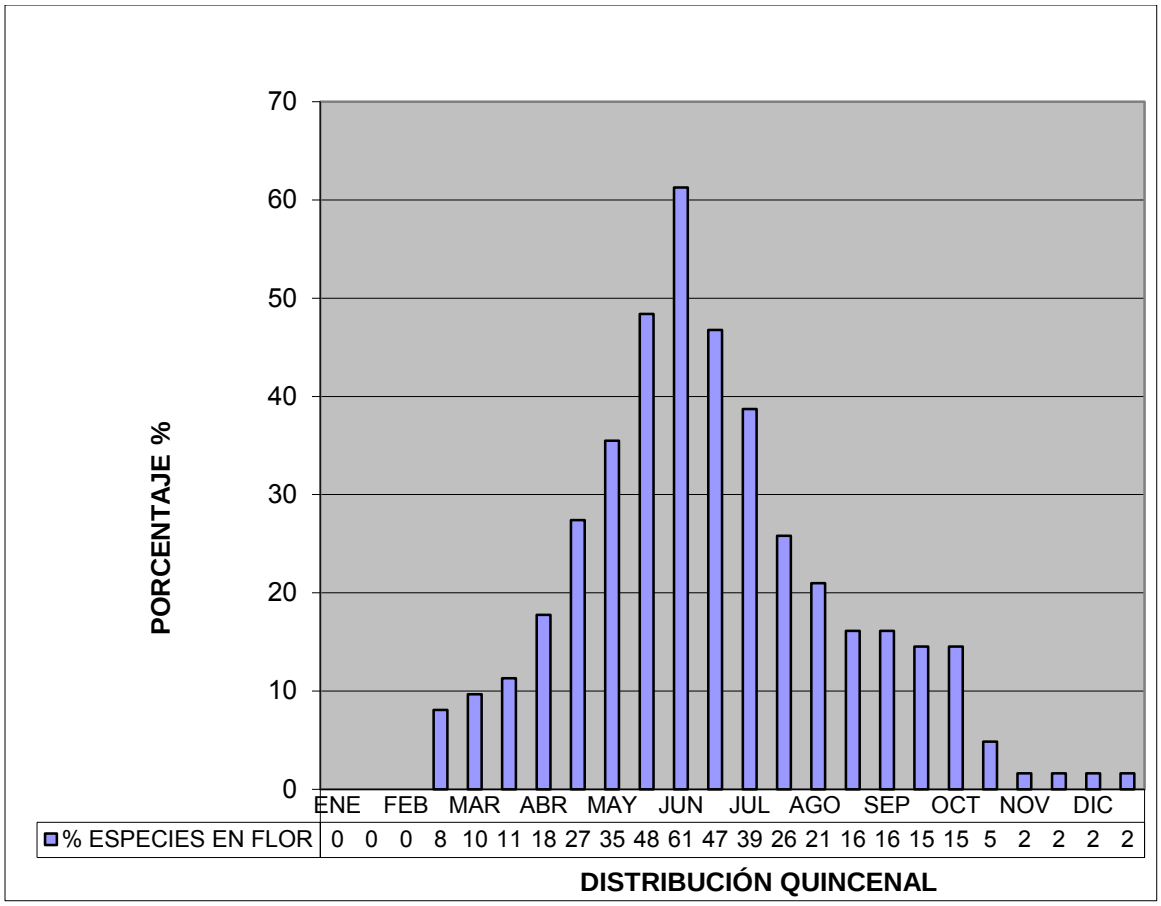


Figura 3: PORCENTAJE DE ESPECIES DE JARDINERIA FLORECIDAS QUINCENALMENTE.



6. Referencias bibliográficas

AGMASC (Área de Gobierno de Medio Ambiente y Servicios a la Ciudad). 2007. Criterios para una jardinería sostenible en la ciudad de Madrid. Ayuntamiento de Madrid. Comunidad de Madrid.

Alegre, J. & Ruiz-Fernández, J. 1995. Jardines contra la sequía. *Madrid También es Campo*, 14:18-19. Comunidad de Madrid.

Borland, J.M.; Brockner, S. & Janish, J.R. 1987. Native Plants of Genesse. Boulder, CO: Genesse Foundation. Colorado. USA.

CNA. Colorado Nursery Association. 1995. The Rocky Mountain Perennial Plant Guide. Denver. Colorado. USA.

Costello, L.R. & Jones, K.S.. 1991. *Water Use Classification of Lanndscape Species*. WUCOLS PROJECT. University of California Extension Service. California.USA.

Gómez Manzaneque, F. 2001. Ponencia: *Plantas Mediterráneas: una opción cercana*. Jornadas Agua y Jardín. Aproximación a la Xerojardinería. Canal de Isabel II. Madrid junio 2001. Comunidad de Madrid.

ICEA (Institució Catalana d'Estudis Agraris). 1990. La introducción de nuevas especies ornamentales en jardinería. Jornada del ICEA. *Horticultura* 60:118-120.

Johnson, E. & Millard, S. 1993. *The Low Water Flower Gardener*. Tucson. Arizona. USA.

López Lillo, A. 1993. Elementos ornamentales de la flora autóctona. *Memorias de las Jornadas Técnicas sobre el 'Uso del Agua en las Áreas Verdes Urbanas'* 21-65. Canal de Isabel II. Comunidad de Madrid.

Martínez Labarca, J.M. 2000. Especies Vegetales para su Utilización en Jardinería en la zona Sureste de la comunidad de Madrid. *Memoria Jornadas Internacionales de Xerojardinería Mediterránea,* Alcobendas Octubre 2000, 92-102.

Mauri, P.V. (Coord.) "El Encín". (2000). *Clima, suelo y vegetación*. Consejería de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid. ISBN 84-451-1865-X. Madrid. España.

Mielke, J. 1993. *Native Plants for Southwest Landscapes*. University of Texas Press. Texas. USA.

Miller, G. 1991. *Landscaping with Native Plants of Texas and the Southwest*. Voyageur Press. USA

Perry, B. 1992. *Landscape Plants for Western Regions: An Illustrate Guide to Plants for Water Conservation*. Claremont, California. USA.

Phillips, J. 1987. *Southwestern Lanscaping with Native Plants*. Museum of New Mexico Press.

Ruiz-Fernández, J. & Arranz, N. 2005. *Especies Autóctonas Ornamentales Madrileñas*. Pc-Cdrom. 52 MB. Fichas técnicas de 40 Especies Autóctonas Ornamentales Madrileñas. IMIDRA. Comunidad de Madrid.

Ruiz-Fernández, J.; Martínez, A.; Toledo, J.L.; Mora, O. & Alegre, J. 1997. Introducción de especies autóctonas en la Comunidad de Madrid. *Madrid Boletín Agrario* 2/3:46-50

Ruiz-Fernández, J. Medina, Mª.J.; Cuartero, N.V.; López-Cuadrado, MªC. & Moreno, A 2005. Divulgación de especies autóctonas. La experiencia de Torrejón de Ardoz. *Boletín Agrario*, 45:40-43.

Ruiz-Fernández, J. & J. L. Toledo. 2000. Especies autóctonas ornamentales madrileñas: *Achillea ageratum. Boletín Agrario*, 27.

Sánchez-Herrera, F. 2006. Reserva Natural de El Regajal mar de Ontígola*. Mariposas y sus biotopos. Lepidoptera vol. III*. Memoria 2004. Comunidad de Madrid.

Svihra, P.; Burger, D.W. & Harris, R. 1993. Treeshelters for nursery plants may increase growth, be cost effective. *California Agricultura* 47(4): 13-16.

Toledo, J.L.; Mora, O.; Alegre, J.; Martínez, A. & Ruiz-Fernández, J. 1997. Ensayos de propagación vegetativa. *Boletín Agrario* 6: 44-47.

Toledo, J.L.; Ruiz-Fernández, J.; Alegre, J.; Mora, O. & Martinez, A. 1998. Estudios para la introducción de las especies *Vella spinosa y Vella pseudocytisus*. *Boletín Agrario* 9:46-50.

Toledo, J.L.; Ruiz-Fernández, J.; Alegre, J.; Mora, O. & Martinez, A. 1998. Cistáceas. Estudios para la introducción de las especies *Cistus crispus y Halimium atriplicifolium*. *Boletín Agrario* 10: 32-36.

Winger, D. (De.) 1996. *Xeriscape Plant Guide. Denver Water*, AWWA, Arizona. USA.

Foto 1 Vista general de la zona de evaluación

Foto 2 *Genista umbellata* planta de flor amarilla

Foto 3 *Salvia chaedryoides* planta de flor azul.

04-018

VALORIZATION OF THE UTILIZATION OF WASTE MATERIALS FOR THE EXTRACTION OF RARE EARTHS

López Castaño, Raquel [1]; Ortega Fernandez, Francisco [2]; Andrés Vizán, Sara María [1]; Rodríguez Pérez, Fernando [2]

[1] ArcelorMittal, [2] Universidad de Oviedo

Over the last years and due to the development of the silicon industry for electronic components, new products have appeared on the market. Such products, which rely on the consumption of previously unused materials, pose a challenge for the identification, extraction and utilization of hitherto unknown elements. The most significant case is the development of the so-called Rare Earths, almost unknown and underused a decade ago and currently one of the basic elements for the development of mobile and car batteries, computers and electronic equipment and even wind turbine generators. This fast-growing market has created a huge demand, much higher than the supply which is centralized in just a few exploitations and countries, which entails a strategic risk as well as a supplies shortage. The study here presented aims to analyze, characterize and valorize the possibilities of using industrial waste for the exploitation of rare earth elements.

Keywords: *Industrial waste; valorization; rare earths*

VALORACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS PARA LA EXTRACCIÓN DE TIERRAS RARAS

Durante los últimos años, debido al desarrollo de la industria del silicio para componentes electrónicos, han aparecido nuevos productos que se apoyan en el consumo de materiales previamente no utilizados que plantean nuevos retos para la identificación, extracción y aprovechamiento de elementos hasta la actualidad casi desconocidos. El caso más significativo es el desarrollo del grupo denominado Tierras Raras, hasta hace unas décadas prácticamente desconocido e infrautilizado que, sin embargo, es en la actualidad un elemento básico para el desarrollo de las baterías de móviles o vehículos, los ordenadores y equipos electrónicos e incluso las palas de los aerogeneradores. El rápido crecimiento de este mercado ha creado una demanda muy superior a la oferta que se encuentra fuertemente centralizada en muy pocas explotaciones y países, con el consiguiente riesgo, tanto de desabastecimiento como estratégico. El presente estudio tiene por objeto el análisis, caracterización y valoración de las posibilidades de utilización de residuos industriales para la explotación de elementos pertenecientes al grupo de las tierras raras.

Palabras clave: *Residuos industriales; valorización; tierras raras*

Correspondencia: Francisco Ortega fran@api.uniovi.es

1. Introducción

Durante los últimos años se ha producido un enorme cambio en los sistemas productivos y, específicamente, en algunos sectores como la energía, las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y el transporte. La base de estos cambios es el desarrollo de la industria del silicio que, mediante la introducción de componentes electrónicos, ha supuesto un impresionante avance en todos los sectores, desde el control de procesos hasta la informática.

Estos nuevos productos se apoyan en el consumo de materiales previamente no utilizados por lo que se plantean nuevos retos para la identificación, extracción y aprovechamiento de elementos hasta la actualidad casi desconocidos. El caso más significativo es el desarrollo del grupo denominado Tierras Raras (TTRR), hasta hace unas décadas prácticamente desconocido e infrautilizado que, sin embargo, es en la actualidad un elemento básico para el desarrollo de las baterías de móviles o vehículos, los ordenadores y equipos electrónicos e incluso las palas de los aerogeneradores.

El rápido crecimiento de este mercado ha creado una demanda muy superior a la oferta que se encuentra fuertemente centralizada en muy pocas explotaciones y países, con el consiguiente riesgo, tanto de desabastecimiento como estratégico. Este riesgo se ha plasmado ya en serios problemas para algunas de las compañías internacionales más conocidas como *Hitachi*, *Samsung* o *Apple* han trasladado sus fábricas a China.

El hecho de que Apple, cuando se consolidó como la marca más valiosa del mundo en 2007, decidiera empezar a fabricar sus productos en China no solo tiene que ver con los bajos salarios en el gigante asiático. Los nuevos *iPads* o *iPhones* llevan diferentes elementos de las TTRR en su diseño, e instalar sus fábricas en China no solo les garantiza el suministro de las tierras raras constantemente, sino que debido a las diferencias de precio de las TTRR dentro y fuera de China, permite que sus productos puedan tener precios competitivos en el mercado.

Los países occidentales, preocupados por esta fuerte dependencia, han emprendido acciones para intentar resolver el problema y, al menos, disponer de recursos que, en caso necesario pudiesen ser explotados. Entre estas acciones se encuentra la búsqueda de nuevas fuentes de obtención de estos elementos.

2. Objetivos

El presente estudio tiene por objeto el análisis, caracterización y valoración de las posibilidades de utilización de residuos industriales para la explotación de elementos pertenecientes al grupo de las TTRR.

Para ello se utiliza como caso de estudio el de los residuos procedentes de la minería del hierro, realizando un análisis de los contenidos de tierras raras en los residuos seleccionados, para posteriormente valorar la idoneidad de cada residuo para la extracción de determinados elementos de interés.

3. Las Tierras Raras

3.1. Descripción

Las tierras raras son un conjunto de 17 elementos (Tabla 1), de los que 15 de ellos son metales en transición que pertenecen al grupo de los Lantánidos (que en la tabla periódica engloban desde el Lantano al Lutecio) y los dos restantes son el Escandio y el Itrio, los

cuales tienen características físicas y químicas similares y normalmente se encuentran juntos en la naturaleza.

Tabla 1: Elementos de las TTRR y sus características (Jackson, 1993)

Tierra Rara	Símbolo	Número atómico	Valencia	Peso atómico	Óxidos
Lantano	La	57	3	138,92	La_2O_3
Cerio	Ce	58	3,4	140,13	CeO_2
Praseodimio	Pr	59	3,4	140,92	Pr_6O_{11}
Neodimio	Nd	60	3	144,27	Nd_2O_3
Prometio	Pm	61	3	145	-
Samario	Sm	62	2,3	150,43	Sm_2O_3
Europio	Eu	63	2,3	152	Eu_2O_3
Gadolinio	Gd	64	3	156,9	Gd_2O_3
Terbio	Tb	65	3,4	159,2	Tb_4O_7
Disprosio	Dy	66	3	162,46	Dy_2O_3
Holmio	Ho	67	3	164,94	Ho_2O_3
Erbio	Er	68	3	167,2	Er_2O_3
Tulio	Tm	69	3	169,4	Tm_2O_3
Iterbio	Yb	70	2,3	173,04	Yb_2O_3
Lutecio	Lu	71	3	174,99	Lu_2O_3
Escandio	Sc	21	3	44,95	Sc_2O_3
Itrio	Y	39	3	88,92	Y_2O_3

A pesar de que el nombre de tierras raras pueda sugerir que sean escasas, la abundancia de las TTRR en la corteza terrestre es alta con la excepción del Prometio (Pm), cuya única procedencia es como subproducto de la fisión del Uranio en reactores nucleares. El resto se encuentran en la naturaleza aunque también puedan ser obtenidos de forma sintética en el laboratorio.

La abundancia en la corteza terrestre de las TTRR en conjunto puede considerarse de unas 220 ppm, lo cual es superior a la abundancia, por ejemplo, del carbón que se sitúa en 200 ppm. (Gupta, y otros, 2005). Como comparación, algunas de las TTRR como el Cerio, Itrio o Neodimio son mucho más abundantes que el Plomo. El Tulio que es el elemento más escaso de este grupo, resulta ser hasta 200 veces más abundante que el Platino o el Oro.

Sin embargo esta alta presencia viene complementada con una escasa concentración, de modo que es infrecuente que se agrupen en depósitos minerales con extensión y concentración suficiente para que sea económicamente viable su extracción por métodos de minería convencional (Hoz, 2012).

3.2. Fuentes

En la naturaleza las TTRR no aparecen de forma pura sino en diferentes tipos de minerales. Su afinidad con el oxígeno hace que se presenten como óxidos aunque otras combinaciones sean posibles (Jackson, 1993). Los principales minerales son monacita, bastnasita, xenotima, gadolinita, apatita y circón. Aproximadamente el 95% de las TTRR se encuentran en los tres primeros minerales (Gupta, y otros, 2005), cuyas principales características se describen a continuación:

- **Bastnasita**, (La, Ce) FCO_3, es un fluocarbonato rico en Cerio y escaso en TTRR pesadas. Se encuentra en zonas de contacto metamórfico y pegmatitas.

- **Monacita**, (Ce, La, Nd, Y, Th) PO_4, es un orto fosfato de TTRR y Torio. Aproximadamente el 70% de su composición son óxidos de TTRR y de ellos entre un 20 y 30% son Ce_2O_3, entre 10 y 40% La_2O_3, 5% Y_2O_3, siendo el resto cantidades significativas de Nd, Pr, Sm y en menor cantidad de Dy, Er, y Ho. El contenido en Torio varía desde un 4 a 12% y frecuentemente hay presencia de Uranio. Sus depósitos son rocas ígneas ácidas y metamórficas, encontrándose como mineral detrítico en depósitos costeros y arenas de playa.

- **Xenotima**, (Y) PO_4, es un orfosfato de Itrio en el cual está normalmente presente en una concentración de entre el 54 y 65% de óxidos de TTRR pesadas con un 1% de TTRR ligeras, un 3% de ThO_2, 3% U_3O_8 y entre un 2 y 3% de ZrO_2. Se presenta en el mismo tipo de depósitos que la monacita pero es mucho menos abundante, con yacimientos mixtos en los que el contenido de xenotima se sitúa entre un 0,5 y 5%.

3.3. Reservas mundiales

La determinación de la disponibilidad de TTRR es dependiente tanto de los recursos investigados como de las condiciones de mercado. Las referencias a reservas se refieren a aquella parte de los recursos cuya recuperación resulta comercialmente viable y ha sido justificada por el desarrollo.

Sin embargo las reservas no representan el total de los recursos hallados de un mineral, sino los recursos potencialmente recuperables en las condiciones actuales, por lo que existe una cantidad superior que puede ser considerada viable en un futuro a la que se denomina recursos contingentes.

Dadas las condiciones cambiantes del mercado que permiten considerar a algunos yacimientos como reservas o no en función de la demanda y considerando además la necesaria reserva de los valores por parte de las autoridades nacionales como protección de un bien estratégico, es posible encontrar diferencias importantes en la disponibilidad de óxidos de TTRR (REOs) en función de las fuentes consultadas.

Tabla 2: Reservas y reservas probadas de TTRR mundiales.

País	Reservas probadas (t REO)			
	Gupta	Schüler	M.C.S.2012	M.S.C.2014
E.E.U.U.	13.000.000	13.000.000	13.000.000	13.000.000
Australia	5.800.000	5.400.000	1.600.000	2.100.000
Brasil	310.000	-	48.000	22.000.000
Canadá	1. 000.000	-	-	-
China	89.000.000	36.000.000	55. 000.000	55.000.000
India	1,300.000	3.000.000	3. 100.000	3.100.000
Malasia	35.000	-	30.000	30.000
Sudáfrica	400.000	-	-	-
Sri Lanka	13.000	-	-	-
URSS	21. 000.000	19.000.000	19. 000.000	19.000.000
Otros países*	21. 000.000	22.000.000	22.000.000	22.000.000
Total	154.258.000	98.400.000	110.000.000	136.230.000

* Canadá, Islandia, Sudáfrica, Malawi, Vietnam…

La Tabla 2 muestra las reservas según las fuentes más fiables y actualizadas (U.S. Department, 2014)**,** (Gupta, y otros, 2005) (Schüler, y otros, 2011). Las diferencias nacen de que no existe un sistema de clasificación de reservas a nivel mundial, sino que cada país tiene diferentes definiciones para determinar qué son reservas y qué son recursos contingentes, lo que dificulta las comparaciones entre las distintas estimaciones.

3.4. Producción

Hasta los años 70 la producción de TTRR era testimonial Sin embargo, el despegue de la electrónica supuso el incremento de la producción de este tipo de metales. A mediados de los 80, China comienza también la comercialización de tierras raras aprovechando que se trataba de un subproducto en algunos de sus yacimientos más voluminosos de hierro. La entrada de China en el mercado de las TTRR terminó por lastrar el resto de la producción mundial puesto que los bajos salarios de sus trabajadores y el menor control medioambiental aumentaban su competitividad. En 2002 China llegó a producir el 97% de TTRR mundiales.

La Tabla 3 (U.S. Department, 2014) muestra la situación actual del mercado, observándose la posición claramente dominante del gigante asiático.

Tabla 3: Distribución de la producción de tierras raras por país.

País	Producción (t REO)	
	2012	2013
E.E.U.U.	800	4.000
Australia	3.200	2.000
Brasil	140	140
China	100.000	100.000
India	2.900	2.900
Malasia	100	100
Vietnam	220	220
Rusia	2400	2400
Otros países	NA	NA
Total	109.860	111.760

Las previsiones de mercado hacen ver que los hallazgos de nuevos depósitos junto con las nuevas técnicas de recuperación, reciclaje y reutilización de TTRR, permitirán que la producción mundial continúe incrementándose. En todo caso se prevé que el monopolio actual chino, que ha alcanzado un 97% de la cuota de mercado, se verá reducido en los próximos 5 años debido a la concienciación del problema por parte de E.E.U.U y la Unión Europea.

3.5. Usos

El papel de las TTRR es cada vez más importante en los últimos tiempos debido a sus propiedades químicas y físicas únicas que han contribuido a los avances tecnológicos en muchas áreas, tales como las turbinas eólicas, vehículos eléctricos e híbridos, iluminación de bajo consumo, ordenadores, TVs, móviles, industria aeroespacial, usos militares, imanes permanentes, refino de combustibles, vidrios, lentes, láseres…

Las TTRR tienen como destino tanto mercados maduros y estables (metalurgia, iluminación, fabricación de vidrios, catalizadores…), los cuales ocupan el 41% del consumo mundial de tierras raras, como mercados emergentes en continua expansión (aleaciones para baterías, imanes permanentes…).

En los mercados maduros el Lantano y Cerio representan el 80% de las TTRR. En el caso de los nuevos mercados, el Disprosio, Neodimio y Praseodimio simbolizan el 85% de las tierras raras consumidas (Goonan, 2011).

Globalmente la importancia de cada una de las aplicaciones (Schüler, y otros, 2011) sobre el uso de las TTRR es la siguiente:

1. Pulido de vidrio y cerámicas, entre 33.000 y 42.000 t,30%.
2. Imanes permanentes, 21.000-27.000 t, 20%.
3. Catalizadores, entre 20.000 y 25.000 t, 20%.
4. Aleaciones metálicas y baterías, entre 17.000 y 23.000 t, 18%.
5. Fósforos de tierras raras para monitores de ordenador, iluminación, radares, televisión y rayos-x mejorar los películas de las cámaras de video, 9.000 t, 7%
6. Otros, 5%.

4. Caso de estudio: residuos industriales de la minería del hierro

Dado el auge del mercado de las TTRR y las previsiones futuras referentes a un considerable aumento de la demanda, resulta interesante analizar las posibilidades de emplear residuos industriales como fuente alternativa de estos elementos en lugar de las escasas menas existentes en la actualidad.

Como caso de estudio se ha elegido el de la minería del hierro debido a los enormes volúmenes de residuos de difícil tratamiento que se generan como consecuencia de esta actividad extractiva.

Después de realizar una identificación y caracterización de todos los subproductos generados como consecuencia de la minería de los óxidos de hierro, se determina que resulta interesante valorar la posibilidad de utilizar para su posible uso como fuentes alternativas de TTRR, las **colas o *tailings*** de tratamiento de mineral.

Los motivos principales de esta elección son su peligrosidad, su dificultad de tratamiento y su abundancia.

Con el fin de valorar la viabilidad real de la explotación de TTRR a partir de menas alternativas, se recogen una serie de materiales representativos de diversas etapas de la actividad siderúrgica.

Específicamente, las muestras recogidas son:

A. *Tailing* de mineral de hierro con procedencia Asia, cola de flotación.
B. *Tailing* de mineral de hierro con procedencia Asia, cola de tostación y separación magnética.
C. *Tailing* de minería de hierro con procedencia América del Sur.
D. *Tailing* de minería de hierro con procedencia América del Norte.

A partir de esta selección, el proceso seguido es el siguiente:

1. Extracción y análisis de muestras
2. Valoración de las cantidades de metales raros existentes así como su impacto posible en el mercado,
3. Interpretación de la viabilidad

5. Resultados

5.1. Análisis en laboratorio

Las muestras descritas en el apartado anterior fueron analizadas mediante espectroscopía de masas ICM. El ensayo empleado requiere su disolución por lo que fueron atacadas con HNO_3/HCl hasta su disolución total.

Del ensayo se obtienen valores en disolución de concentraciones en ppm de 14 elementos correspondientes a las TTRR, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Y, no existiendo posibilidad de realizar test para Y y Sc y descartándose el Pr dado que no existe en forma natural sino sólo como resultados de procesos atómicos. Los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Resultados de los análisis de las 4 muestras

Elemento	A (ppm)	B (ppm)	C (ppm)	D (ppm)
La	3,85	96,51	12,82	19,13
Ce	6,08	137,14	21,06	37,26
Pr	0,66	13,31	2,34	4,45
Nd	2,6	54,87	7,36	18,37
Sm	0,63	12,31	1,26	3,62
Eu	0,17	3,49	0,37	0,78
Gd	0,57	13,51	1,11	3,62
Tb	0,08	2	0,12	0,49
Dy	0,54	12,44	0,69	2,8
Ho	0,12	2,98	0,11	0,57
Er	0,45	9,45	0,26	1,63
Tm	0,06	1,48	0,03	0,22
Yb	0,44	9,13	0,16	1,33
Lu	0,07	1,19	0,03	0,19

5.2. Estimación del mercado

Una vez conocidas las concentraciones de TTRR metálicas existentes en cada uno de los residuos, es preciso evaluar el impacto potencial que esto tendría sobre el mercado, es decir, si realmente existe suficiente cantidad del residuo para poder ser beneficiado cubriendo cuotas significativas.

En el tratamiento del mineral de hierro por cada tonelada de hierro procesada se generan 360 kg de colas de flotación.

A nivel mundial en los últimos 10 años se han extraído aproximadamente 23.590 millones de toneladas de hierro, es decir, hay aproximadamente de 8.492 millones de toneladas de *tailings* almacenados que pueden ser una gran fuente de recuperación de TTRR.

Tal y como se muestra en la tabla 5, tomando como base de concentraciones de *tailings* la muestra B, se calcula que aproximadamente 3,14 millones de toneladas de TTRR están depositadas en colas de flotación a nivel mundial. Su recuperación por tanto no solo sería

técnicamente viable sino que ambientalmente tendría un gran impacto positivo al ayudar a disminuir el volumen de residuos y la contaminación ligada a estos.

Tabla 5: Cálculo de las cantidades de TTRR contenidas en colas de flotación

Elemento	B (ppm)	Cantidad (t)
La	96,51	819601,52
Ce	137,14	1164647,73
Pr	13,31	113033,84
Nd	54,87	465977,98
Sm	12,31	104541,44
Eu	3,49	29638,47
Gd	13,51	114732,32
Tb	2	16984,80
Dy	12,44	105645,45
Ho	2,98	25307,35
Er	9,45	80253,18
Tm	1,48	12568,75
Yb	9,13	77535,61
Lu	1,19	10105,95
Total	369,81	3140574,44

5.3. Valoración del mercado potencial

Contextualizando el análisis del mercado de residuos tanto a nivel europeo como mundial realizado en el apartado anterior se deduce que las posibilidades de obtener TTRR como subproducto de las colas de flotación reportaría un nuevo negocio con perspectivas de beneficio.

Estos residuos han de ser vigilados y controlados durante décadas por su alta contaminación, con el coste económico que esto conlleva. Por lo tanto si más de 3 millones de toneladas de TTRR se encuentran entre estos desechos, el que contengan TTRR da un nuevo valor añadido a las empresas que los generan.

Se estiman que durante 10 años se han acumulado en colas de flotación hasta 3 millones de toneladas, a una media de 300.000 toneladas al año. Esta cantidad es muy superior a la producción anual de TTRR que fue de 111.800 toneladas en 2013.

Como se ha comentado con anterioridad, en la última década se han acumulado aproximadamente 3 millones de toneladas de REOs en colas de flotación. Este volumen es mucho más elevado que la producción mundial de TTRR en el mismo periodo de tiempo.

Las reservas probadas de TTRR en 2014 son de 136.230.000 toneladas, por lo que la cantidad de REO depositada en estos residuos equivale al 2,3% de las reservas mundiales.

Desde el punto de vista anual los residuos generados en estos procesos son más de 1 millón de toneladas, lo que daría lugar a unas 300.000 toneladas de TTRR al año o lo que es lo mismo el 2,7 veces el volumen de la producción mundial actual. Este dato es muy significativo dado que se prevé que por el incremento de mercados tecnológicos emergentes la demanda de TTRR continúe con un crecimiento acelerado. Así pues, es importante tener en cuenta estos residuos de la extracción de hierro que han acumulado grandes cantidades de TTRR y seguirán haciéndolo, de manera que resultan una posible futura fuente de recuperación.

5.4. Viabilidad

Desde hace varias décadas las minas y plantas de tratamiento para obtener minerales con TTRR están en producción, por lo que sus procedimientos son claros y efectivos, fundamentalmente basados en técnicas de lixiviación que realizan un lavado molecular de las matrices. Todos los yacimientos actuales son de base óxido, con mezclas variadas de REOs en matrices de óxidos fundamentalmente cálcicos y silícicos.

Dado que no existen diferencias significativas en composición entre las menas actuales y los residuos objeto de este estudio (más allá de los porcentajes que no alteran las condiciones de presentación de los metales raros, que aparecen siempre asociados a dichas matrices oxídicas) no parece que existan barreras técnicas que impidan su explotación. Tampoco existen barreras de protección intelectual que pudiesen bloquear el acceso a los tratamientos.

Por todo ello la viabilidad técnica del beneficio de residuos de minería de hierro está garantizada, siempre condicionada a la viabilidad económica.

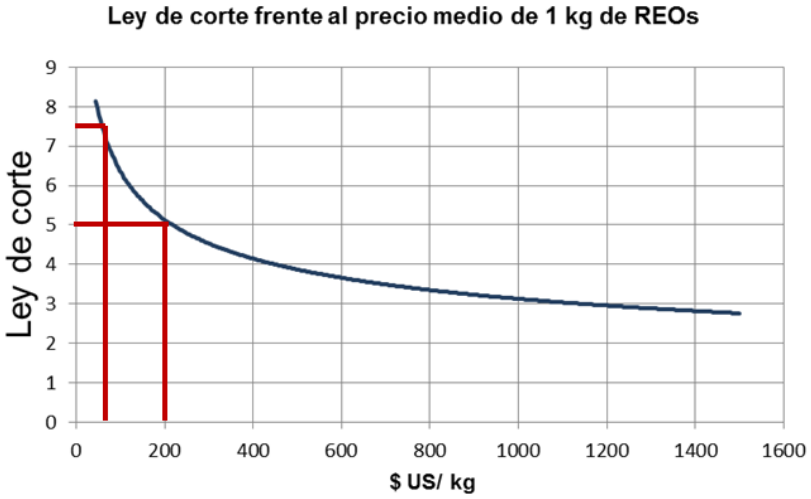
En apartados anteriores ya se trató de diversos aspectos de viabilidad de las TTRR relacionados con su viabilidad económica como son la existencia de mercado y la valoración de la capacidad de producción a partir de estos residuos, quedando pendientes los aspectos ligados al coste.

El mercado de las TTRR no está regido por mercados de valores, futuros o metales sino por contratos entre particulares por lo que obtener datos fiables no siempre es sencillo. En todo caso las TTRR se venden en forma de óxidos que será la sustancia a comparar.

Los precios de TTRR más bajos de los últimos 8 años se han dado en 2005 a excepción del Europio cuyo precio medio más bajo se alcanzó en 2006 (239 $US/kg). Estos precios son los que marcan los niveles mínimos de rentabilidad puesto que son los que han provocado el cierre de la mayor parte de las minas abiertas en ese momento. A falta de valores más directos, se puede considerar que dichos valores son los precios mínimos para que la explotación de cada uno de estos elementos sea viable económicamente.

En 2002 la mina estadounidense de Mountain Pass se vio forzada a cerrar los precios de los óxidos de tierras raras marcaban una ley superior al 5% (ley de explotación de Mountain Pass). Se puede considerar que el valor correspondiente a ese periodo de máximos posibilita la apertura de la mina de nuevo, con *cut-off* del orden del 5%.

Figura 1: Ley de corte frente al precio medio de 1kg de REOs



Es evidente que debe existir una relación entre el precio de venta y la concentración mínima para la viabilidad de la explotación comercial. Por otra parte esta relación no es lineal, sino que está afectada por los costes fijos y el incremento de nuevos actores a medida que crece el coste, produciendo un efecto que se puede considerar hiperbólico. La aproximación por los tres puntos conocidos permite la generación de una curva de ajuste que modela esa relación ley/precio antes citada.

Con esto se pueden calcular dos elementos clave: el precio mínimo necesario para que los residuos tratados puedan pasar a rentabilidad y la ley mínima del residuo rentable en cada momento.

La abundancia en la corteza terrestre de TTRR y la ley de corte de mineral viene determinada por los óxidos de TTRR, por ello se ha de calcular la presencia de los elementos para poder realizar la comparación con las sustancias analizadas.

El mineral de bastnasita es explotado con una ley de corte del 5% y de media tiene un contenido en REOs del 70%. El mineral de Monacita tiene también una ley de corte del 5% y su contenido en REOs del 68%.

En la Tabla 6 se comparan los diferentes análisis con los mínimos explotables de cada uno de los elementos. Los valores resaltados en negrita señalan los contenidos más altos en cada elemento entre todas las muestras recogidas.

Tabla 6: Comparativa entre las concentraciones de las muestras y las de explotación de mineral

Elemento	Bastnasita (ppm)	Monacita (ppm)	A (ppm)	B (ppm)	C (ppm)	D (ppm)
La	3903,2	3279,1	70,1	**96,5**	12,8	19,1
Ce	12378,0	10987,9	**144,7**	137,1	21,1	37,3
Pr	233,6	188,8	**16,2**	13,3	2,3	4,4
Nd	2187,5	2227,0	**65,5**	54,8	7,4	18,4
Sm	161,2	434,4	**12,5**	12,3	1,3	3,6
Eu	29,4	14,2	3,1	**3,5**	0,3	0,8
Gd	58,9	715,7	9,2	**13,5**	1,1	3,6
Tb		83,9	1,6	**2**	0,1	0,5
Dy		1309,0	8,7	**12,4**	0,7	2,8
Ho		374,8	1,8	**2,9**	0,1	0,5
Er	148,7	809,2	4,4	**9,5**	0,3	1,6
Tm		188,2	0,6	**1,5**	0,0	0,2
Yb		870,7	4,2	**9,1**	0,2	1,3
Lu		261,7	**1,7**	1,2	0,1	0,2
Total	19100,7	21745,1	344,5	369,8	47,72	94,46

Ninguna de las proporciones encontradas en los 4 análisis es superior a las concentraciones explotables en la naturaleza por lo que su recuperación según ese baremo es inviable. En función de las leyes de corte y el precio del mineral el proceso si puede serlo.

Sobre los residuos analizados destacan las muestras B y la mena del residuo A, ambos procedentes de la misma mina, como los más favorables para posibles explotaciones en función de las futuras evoluciones del mercado de las TTRR.

La muestra B tiene una concentración de Europio y Gadolinio aproximadamente 1/4 respecto a la explotable para el mineral de monacita. Estas son las concentraciones más altas entre todas las muestras en relación a los niveles de explotación. El Europio es uno de los REE más críticos y se cotiza en el mercado de 900 $ el kg en forma de óxido. El precio del Gadolinio es de 46,5 $ el kg, tiene un gran mercado pues es uno de los REE que más aplicaciones tiene.

En los *tailings* B, C y D destaca su contenido en La, Eu, Sm, Pr.

Las muestras C y D poseen los niveles de concentración más bajos, resultando inviables para la recuperación de TTRR.

6. Conclusiones

La producción de TTRR es un problema identificado por todas las autoridades de todos los países desarrollados debido a su alto consumo y su carácter monopolista.

Los residuos industriales pueden suponer una fuente interesante para la recuperación de las TTRR contenidas en ellos dada la escasez de menas minerales de estos elementos.

En concreto, analizando los residuos más adecuados procedentes de la minería del hierro se observa que los contenidos de TTRR en ellas se sitúan de media 1/10 ppm debajo de las minas en explotación.

La recuperación de *tailings* presenta importantes posibilidades de aprovechamiento. Esto, asociado a una viabilidad ambiental positiva debido al costo continuo de su almacenamiento, hace de ellos la mayor de las fuentes de recursos contingentes de TTRR.

Los bajos niveles encontrados en los *tailings* flotados demuestran la capacidad del sistema de flotación para arrastrar totalmente las TTRR en la fase mineral, mientras que se demuestra que la separación magnética mantiene las tierras raras en la fase de residuo. De esa forma, la optimización de los tratamientos puede permitir, en función de los puntos de corte de la flotación garantizar un nivel de concentración muy próximo a los niveles que se consideran comerciales en la actualidad

Los *tailings* en función de los valores del mercado de las TTRR, podrían llegar a ser una fuente para su recuperación, puesto que en estos 10 últimos años en estos residuos se ha acumulado una cantidad de más de 3 millones de TTRR, equivalente al 2,3% de las reservas probadas mundiales.

En conclusión, si bien en la actualidad no es viable económicamente la posibilidad de extraer TTRR de residuos de la minería del hierro, es imprescindible permanecer atentos a la evolución del mercado para poder valorizar este tipo de residuos como fuente de tierras raras.

7. Bibliografía

Goonan, Tomas G. (2011). *Rare Earth Elements- End Use and Recyclability*. U.S. Departmente of the Interior. Reston, Virginia, E.E.U.U: U.S. Geological Survey Scientific Investigations, 2011. Report 2011-5094.

Gupta, C.K. y Krishnamurthy, N. (2005). *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. CRC Press, 2005.

Hoz, Mauro de la. (2012). *Las Tierras Raras: Elementos claves del Siglo XXI*, Universidad Nacional de Salta y Universidad de Brasilia. 2, Instituto de Bio y Geociencias del NOA, Agosto de 2012, Vol. 2. Editorial Concinet.

Jackson, W.D. and Christiansen, G. (1993). *International Strategic Minerals Inventory*. U. S. Geological Survey Circular 930-N. Denver CO., 1993.

U.S. Department of the Interior (2014). Rare Earth Mineral Commodity Summaries. U.S. Geological Survey, Febrero de 2014, págs. 128-129.

Schüler, Dr. Doris Schüler y Buchert, Dr. Matthias. (2011). *Study on Rare Earths and Their Recycling*. Öko-Institute.V. Darmstadt., 2011

World Steel. (2013). World Steel. [En línea] 2013. http://www.worldsteel.org/statistics/statistics-archive/2013-iron-production.html.

04-019

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF SYNERGIES IN COGENERATION WITH INDUSTRIAL GAS

García García, Sergio; Luiña Fernández, Rocío; Ortega Fernández, Francisco;
Rodríguez Montequín, Vicente
Universidad de Oviedo

The utilization of polluting by-products derived from any industrial activity using cogeneration techniques is an excellent resource for waste management and the production of sustainable energy. One of the most singular cases is the steel industry, where a by-product is produced in the form of potentially inflammable gas with a high GHG effect. Its utilization has a double approach: it enables to reduce global costs and, in addition, it represents a significant reduction in polluting emissions of the installation. Nevertheless, this utilization also presents some issues. It is dirty gas with a low heat level which is discontinuously produced. Few installations have been developed for this purpose and their real influence on the process sustainability is yet unknown. In this study, the energy, resources, emissions and waste generated during a cogeneration process in the steel industry is quantified applying the Life Cycle Analysis (LCA) tools. The case is developed over an installation that produces electricity and steam combining the cogeneration technology in simple cycle with specially adapted engines.

Keywords: *Cogeneration; Life Cycle Assessment; Industrial gas*

EVALUACIÓN AMBIENTAL DE LAS SINERGIAS EN COGENERACIÓN CON GASES SIDERÚRGICOS

El aprovechamiento de subproductos contaminantes procedentes de cualquier actividad industrial mediante técnicas de cogeneración supone un excelente recurso para gestión de los residuos y la producción de energía sostenible. Uno de los casos más especiales es la industria siderúrgica en la que como subproducto, se producen unos gases potencialmente combustibles con alto efecto GEI. Su aprovechamiento tiene una doble vertiente: permite disminuir los costes globales de producción pero además supone una importante reducción en las emisiones contaminantes de la instalación. No obstante este aprovechamiento no está exento de problemas. Son gases sucios con bajo nivel calorífico que son producidos de forma discontinua. Pocas instalaciones han sido desarrolladas al efecto y su influencia real sobre la sostenibilidad del proceso es aún una incógnita. En este trabajo, aplicando las herramientas de inventario del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), se cuantifica la energía, recursos, emisiones, vertidos y residuos originados durante un proceso de cogeneración siderúrgica. El caso se desarrolla sobre una instalación que produce electricidad y vapor combinando la tecnología de cogeneración en ciclo simple con motores especialmente adaptados.

Palabras clave: *Cogeneración,; Análisis de Ciclo de Vida; Gases siderúrgicos*

Correspondencia: Vicente Rodríguez Montequín montequi@api.uniovi.es

1. Introducción

El acero tiene un papel esencial en el desarrollo sostenible siendo un material con un alto porcentaje reciclado. Sin embargo, su producción sigue teniendo importantes impactos ambientales. Por lo tanto, la eficiencia en el uso de materias primas, agua y energía así como la reducción de las emisiones a la atmósfera y la valorización de los residuos del proceso son líneas estratégicas fundamentales del sector en materia de sostenibilidad. En los últimos años se han logrado grandes avances al respecto, pero indudablemente es necesario seguir buscando nuevos caminos hacia una producción sostenible (UNESID, 2015).

El intento de conectar inputs y outputs del proceso siderúrgico ofrece la cogeneración como posible solución frente a la producción de unos gases altamente contaminantes pero potencialmente combustibles. Estos gases se producen de manera inevitable en el proceso siderúrgico. Dada su composición, rica tanto en gases tóxicos (CO), como en gases que contribuyen al efecto invernadero (CH_4), o como en gases autoinflamables (H_2), no pueden ser vertidos a la atmósfera de forma libre, sino que deben ser quemados de forma controlada.

Desde hace muchos años la existencia de los gases siderúrgicos suponen una gran fuente de polémica entre los diferentes colectivos afectados por los mismos debido al elevado impacto ambiental originado al quemar dichos gases en las antorchas cuando estos no pueden ser aprovechados o almacenados en sus respectivos gasómetros.

Por otra parte, la energía consumida en todo el proceso productivo llega a suponer un porcentaje muy significativo del coste económico, entre el 20% y el 40% en algunos países, y, por supuesto, del coste ambiental. Son varios los vectores mediante los cuales se obtiene dicha energía. Aproximadamente el 50% de la misa proviene del carbón, el 5% del gas natural y el 5% de otros gases (Worldsteel Association 2014).

Además, las medidas acordadas dentro de la política energética de la Unión Europea, con sus tres objetivos 20-20-20, para 2020, consistente en reducir un 20% el consumo de energía primaria; reducir otro 20% las emisiones de gases de efecto invernadero; y elevar la contribución de las energías renovables al 20% del consumo, contribuyen a perseguir una mejora continua en cuanto a sostenibilidad se refiere.

2. Objetivo

La cogeneración con gases siderúrgicos evita importantes emisiones a la atmosfera, a la vez que permite un aprovechamiento térmico de los mismos generando vapor y energía eléctrica. Esto se traduce en una gran reducción en el consumo de recursos no renovables como el gas natural o el carbón, que a su vez implica una reducción de los impactos debidos a la producción de los mismos y evita su agotamiento, algo muy relevante en un sector tan intensivo en el consumo energético como el siderúrgico.

No obstante, el bajo poder calorífico, escasa presión, toxicidad y contenido en sustancias sucias y potencialmente contaminantes de los gases siderúrgicos, reducen en gran medida las tecnologías disponibles para su utilización así como su eficiencia.

Por lo tanto, la influencia real sobre el comportamiento ambiental del proceso no es del todo obvio y requiere de una evaluación. Se utiliza para ello la herramienta de Análisis del Ciclo

de Vida (ACV) mediante la cual se cuantifica el impacto de la energía, recursos, emisiones, vertidos y residuos originados durante un proceso de cogeneración siderúrgica. El caso se desarrolla sobre una instalación conectada a la factoría siderúrgica integral a la que da servicio.

3. Producción de gases siderúrgicos valorizables energéticamente

Los gases siderúrgicos con posibilidad de ser valorizados en una planta de cogeneración están directamente relacionados con dos etapas concretas del proceso de fabricación del acero como son la obtención del arrabio y la conversión de hierro en acero (Enríquez Berciano & Tremps Guerra 2007).

3.1. Gas de coque o gas rico (GC)

El proceso de obtención de coque se basa en un calentamiento en ausencia de aire del carbón en un rango de temperaturas de 500 a 1100ºC (pirolisis). Este proceso se lleva a cabo en hornos denominados baterías de coque diseñados especialmente para las propiedades del carbón. Además el carbón empleado debe poseer unas características particulares con el fin de obtener un coque de buena calidad. Durante este proceso se produce una destilación del carbón originándose productos como alquitranes o breas, agua y gases. Estos gases poseen con un contenido apreciable en H_2 (50 %), así como con CH_4 y otros inertes. El gas de coque se caracteriza por tener un poder calorífico apreciable (4.000 kcal/Nm^3), poco menos de la mitad que el gas natural, un contenido no despreciable de sustancias potencialmente contaminantes (SH_2, NH_3,…) y abundancia de aceites pesados de origen orgánico, que dificultan su aprovechamiento energético.

3.2. Gas de alto horno o gas pobre (GHA)

El proceso de obtención del arrabio (hierro líquido con alto contenido en C) se lleva a cabo en los altos hornos, reduciéndose el mineral de hierro (óxido de hierro) gracias al empleo de carbono en forma de coque siderúrgico. Como consecuencia se obtiene un gas rico en CO y CO_2, fruto de la combinación del carbono (el del coque) con el oxígeno del mineral de hierro, y un alto contenido en N_2, por lo que son ricos en inertes y tienen un poder calorífico muy bajo (apenas 800 kcal/Nm^3, menos de la décima parte del gas natural).

3.3. Gas de acería (GLD)

El arrabio obtenido en los altos hornos se introduce en un convertidor donde se oxida parte del carbono formando CO, que a su vez oxida a otros carbonos formando CO_2 para obtener el acero de la máxima calidad.

Los convertidores más utilizados en la actualidad son de tipo LD, a los que se sopla oxígeno puro a alta presión. Como resultado de la reacción entre el oxígeno soplado al convertidor LD y el carbono contenido en el arrabio se forma un gas que contiene CO combustible en aproximadamente un 70 %, y el 30 % restante CO_2 inerte. Este gas se denomina gas de acería y tiene un poder calorífico bajo (sobre 2.100 kcal/Nm^3, entre la cuarta y la quinta parte que el gas natural). Es bastante limpio pero, por su alto contenido en CO, es altamente tóxico.

4. Cogeneración como sinergia en la industria siderúrgica

La cogeneración es una tecnología que permite un importante ahorro de energía primaria mediante la producción conjunta de energía térmica y mecánica. La energía térmica generada es aprovechable en forma de gases o líquidos calientes mientras que la energía

mecánica se convierte en energía eléctrica por medio de un alternador. El mayor rendimiento respecto a las tecnologías convencionales se basa en el aprovechamiento de energías residuales, lo que a su vez se traduce también en un menor impacto ambiental.

El proceso de generación de energía eléctrica supone el aprovechamiento térmico del combustible para generar energía mecánica en los motores de gas, mediante la utilización del ciclo Otto clásico y la generación de energía eléctrica en los alternadores mediante la transformación de la energía mecánica entregada por los motores.

Por otro lado, el proceso de generación de vapor supone el aprovechamiento térmico del calor del agua de refrigeración de los motores para el calentamiento del agua de aporte a las calderas, el aprovechamiento térmico de los gases de escape de los motores de gas para generar vapor en la caldera de recuperación y el aprovechamiento térmico del combustible para generar energía calorífica y producir vapor en las calderas de combustión.

Las ventajas, tanto técnicas como de política energética que la cogeneración presenta están relacionadas con un elevado rendimiento global, menores pérdidas en la red eléctrica por transporte y distribución debido a su cercanía al punto de consumo y diversificación de las fuentes energéticas. Por otra parte, también cuenta con una serie de inconvenientes como el riesgo técnico inherente a toda modificación de las instalaciones, posibles cambios en la normativa vigente y la incertidumbre en la política de precios energéticos.

El aprovechamiento de los gases siderúrgicos que se producen de forma inevitable en cogeneración supone un ahorro de combustibles convencionales, ya que cada millón de metros cúbicos de gas de acería se pueden transformar en unos 707 MWh de energía eléctrica. Si se trata de gas de batería de coque, cada millón de metros cúbicos se convertirán en aproximadamente 11.800 toneladas de vapor.

Además, dada su composición, rica tanto en gases tóxicos (CO), como en gases que contribuyen al efecto invernadero (CH_4), así como en gases autoinflamables (H_2), no pueden ser vertidos a la atmósfera de forma libre, sino que deben ser quemados de forma controlada.

Por lo tanto, la instalación de una planta de cogeneración anexa a la planta siderúrgica permitirá tener como inputs los gases comentados y obtener como outputs energía térmica que se enviará a la propia siderurgia y energía eléctrica, volcada a la red eléctrica que a su vez dará servicio a la producción del acero.

5. Descripción del caso de estudio

Se propone como caso de estudio una instalación compleja y singular que produce electricidad y vapor mediante una combinación de la tecnología de cogeneración en ciclo simple, con motores especialmente adaptados para su funcionamiento con gas de acería, y la generación de vapor en calderas que consumen fundamentalmente gas de baterías de coque, además de gas de acería y gas natural.

5.1. Infraestructura y funcionamiento

La planta consta de una parte eléctrica y de una térmica, ocupando una superficie de 8.233 m^2. En la parte eléctrica se produce la conversión de energía mecánica en energía eléctrica a través de 12 motores de combustión a gas tipo JENBACHER JMS 620E GS-S/N.L. Estos motores están alimentados con gas de acería procedente del proceso siderúrgico o, de forma alternativa, con gas natural (de forma esporádica y únicamente posible en 3 de ellos). Tienen 19.440 kW de potencia eléctrica neta total.

Adicionalmente y a modo de cogeneración esta planta cuenta con una caldera de recuperación capaz de producir 30 t/h de vapor sobrecalentado, con quemador adicional.

Trabaja normalmente aprovechando el calor de los gases de escape del proceso de combustión en los motores (cogeneración) o quemando gas de coque o gas natural, bien en modo aire ambiente (combustión convencional) o en modo post-combustión (calor de recuperación + combustión convencional).

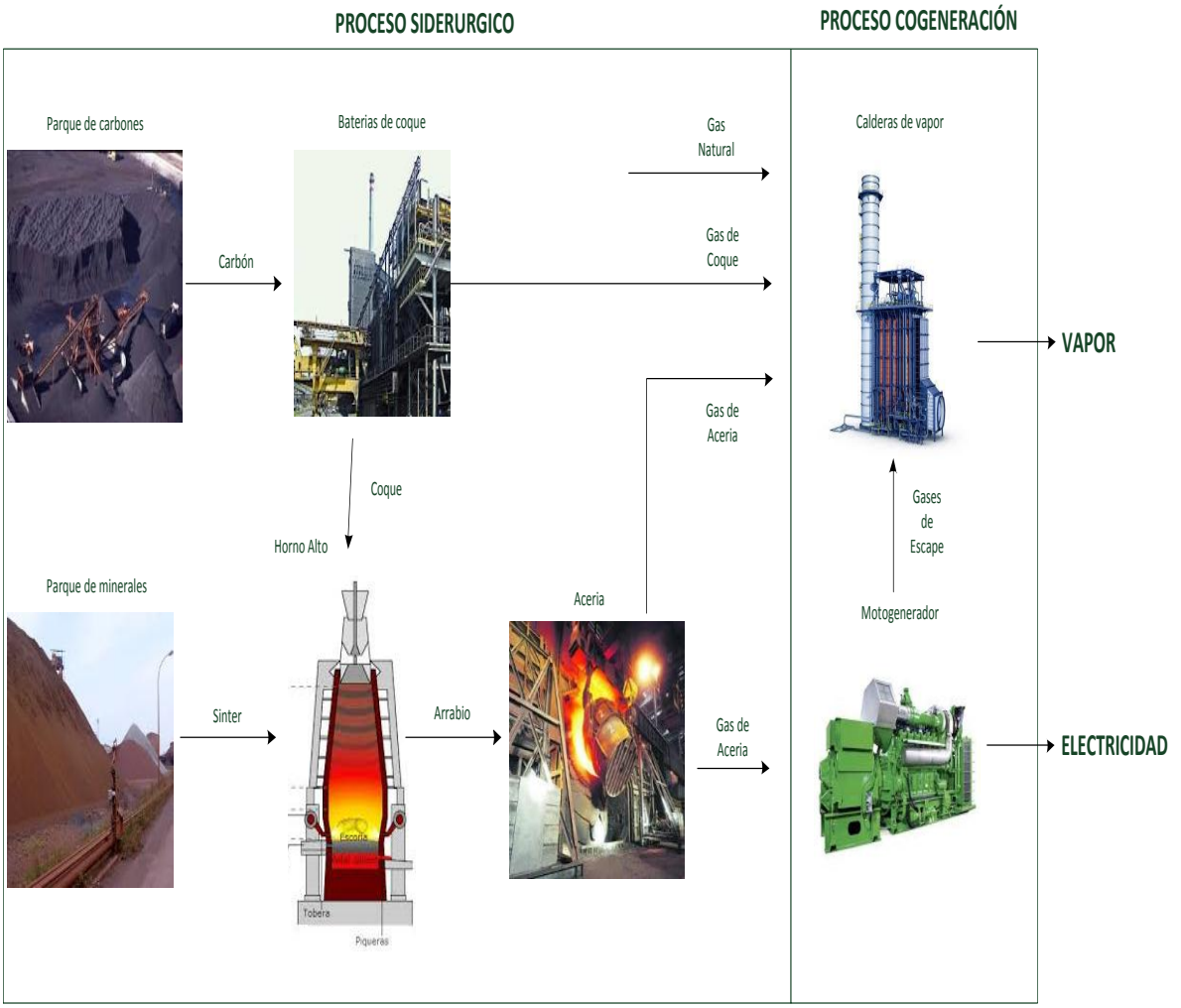
La parte térmica está compuesta por 3 calderas acuotubulares convencionales mixtas para producir hasta 35 t/h de vapor sobrecalentado cada una. Pueden quemar indistintamente gas procedente del proceso de coquización del carbón, gas natural, el anteriormente citado gas de acería o cualquier combinación o proporción de los mismos.

Tanto los gases siderúrgicos como el gas natural se transportan mediante tubería. Lo mismo ocurre con el vapor, el agua y el nitrógeno. Sin embargo, los productos químicos son suministrados en recipientes de 1.000 litros a pie de camión en la instalación, con procedencia de Madrid y el aceite en camiones cuba de 12.000 litros de capacidad, procedencia Algeciras (Cádiz).

5.2. Combustibles

El consumo y reparto de los gases es función de la oferta de gases siderúrgicos por parte de la factoría, utilizándose el gas natural únicamente como complemento cuando la demanda de energía térmica supera los recursos disponibles de gases residuales.

Figura 1. Aprovechamiento de gases siderúrgicos



5.3 Agua

El agua que consume la planta es fundamentalmente utilizada en la producción de vapor, pero es necesario acondicionarla mediante un proceso de ósmosis inversa de alta eficiencia. También se utiliza en los circuitos de refrigeración y para otros usos comunes (red sanitaria, contraincendios, potable, etc). Por tanto, es fácil asociar que a una mayor demanda de energía térmica (vapor) se producirá un mayor consumo de este recurso.

El 100% del agua empleada en la instalación es agua potable procedente de la ETAP de la factoría y distribuida a través de su anillo interno. No existe posibilidad de entrada alguna de otro tipo de agua en la instalación.

5.4. Aceite, productos químicos y nitrógeno

El funcionamiento de la planta requiere de aceite para lubricar los motores y de diversos productos químicos utilizados también en los motores, en el tratamiento de agua (reductor de cloro, bisulfito sódico,), en el circuito de refrigeración (biocida) y en el circuito de vapor (capturador de oxígeno, monoetanol Amina).

El nitrógeno es empleado en las maniobras de inertización y barrido de las tuberías que contienen los gases siderúrgicos, evitando que estos gases altamente explosivos entren en contacto con el oxígeno (comburente) dando lugar a una reacción en cadena.

5.5. Energía producida

En la instalación existe un punto de conexión eléctrica bi-direccional con la red de distribución en 132 kV que permite exportar la energía eléctrica generada por los grupos motogeneradores y en el caso de que la planta no se encuentre generando energía la electricidad sería importada de la red de distribución.

En cuanto a la energía térmica que se produce en el proceso de cogeneración, ésta es entregada en forma de vapor a 300ºC y 19 bar de presión para su aprovechamiento en las diferentes instalaciones de la factoría.

5.6. Emisiones, vertidos y residuos

Esta planta de cogeneración cuenta con cuatro focos de emisión autorizados que, en condiciones normales, lanzan a la atmósfera al año 185,43 t de SO_2, 417,82 t de NO_x y 316.346,22 t de CO_2.

Además, también cuenta con cuatro puntos de autorizados de vertido, tres de los cuales son vertidos directos a cauce y uno de ellos, el relativo al agua de los aseos, por infiltración al terreno a través de una zanja filtrante previa depuración.

Los residuos peligrosos que fundamentalmente se originan en planta son aquellos en estado líquido procedente de las labores de limpieza y por tanto diluido en agua, unas 18 toneladas anuales de agua con aceite procedente de los separadores agua/aceite previos al vertido final y fosos de los trafos y unas 77 toneladas de aguas de limpieza ácidas/alcalinas procedentes fundamentalmente de la limpieza química de la calderas. También hay que añadir unas 8,5 toneladas de aceite usado, libre de PCB’s, procedentes del sistema de lubricación de los motores de cogeneración.

Por otra parte, existe una serie de residuos no peligros relacionados con el funcionamiento de las instalaciones de la planta, es decir, residuos asimilables a residuos sólidos urbanos.

6. Análisis del caso de estudio

Para realizar la evaluación de la sostenibilidad de la instalación descrita se ha aplicado la metodología de ACV definida por la norma UNE-EN ISO 14.040 como "una técnica para evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, proceso, o actividad mediante: la recolección de un inventario de las entradas y salidas relevantes de un sistema; la evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con esas entradas y salidas; y la interpretación de los resultados de las fases de análisis y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio" (AENOR, 2006).

6.1. Definición del análisis

Para seleccionar la unidad funcional de evaluación se revisaron diferentes estudios (C. Perilhon, 2012, R. Parajuli, 2014, P. Adams, 2014) en los que se hacía un ACV de procesos de cogeneración o similares, para decidir finalmente seguir a R. Turconi (2013) y tomar como unidad funcional la producción de 1MWh térmico.

En cuanto a los escenarios analizados, para determinar si el envío de los gases siderúrgicos a un proceso de cogeneración supone un beneficio ambiental, a pesar de las características negativas de los mismos, se han planteado tres escenarios:

- Escenario 0: el impacto de producción de 1 MWh térmico a partir de gas natural, es decir, sin aprovechamiento de gases siderúrgicos, los cuales han de ser quemados en antorcha.
- Escenario 1: el impacto de producción de 1 MWh térmico en la instalación de cogeneración descrita a partir de gas natural, cuando, por razones de funcionamiento de la factoría, no se están recibiendo gases de proceso.
- Escenario 2: el impacto de producción de 1 MWh térmico en la instalación de cogeneración descrita, funcionando ésta de forma exclusiva con los gases generados en la fabricación del acero.

Dado que en el proceso de cogeneración se obtienen dos productos simultáneamente, vapor y electricidad, existe un problema de asignación que se resuelve mediante sustitución ampliando los límites del sistema.

6.2. Inventario del ciclo de vida (ICV)

Los datos utilizados en el ICV son, principalmente datos primarios, tomados de los procesos que se llevan a cabo en la instalación descrita anteriormente. Sin embargo, en algún caso, como por ejemplo para la modelización de la infraestructura, se han tomado datos de la base de datos suiza Ecoinvent 2.1., adaptándolos al caso particular de estudio.

Para la construcción del inventario del escenario 0 se tendrán en cuenta, tanto el proceso como la infraestructura, de la combustión de gas natural en una caldera tomada de Ecoinvent.

Además de las emisiones generadas durante la combustión del gas natural, es necesario contabilizar las emisiones que se producen en antorcha al quemar aquellos gases procedentes del proceso siderúrgico por no ser derivados a cogeneración (593,008 kg CO_2, 0,660 kg NO_x y 0,0,1888 kg SO_2). El gas natural utilizado se corresponde con el que ofrece Ecoinvent para España.

El escenario 1 se construye a partir de la instalación descrita en el punto 5, pero funcionando de forma exclusiva con gas natural para producir el vapor demandado en la factoría. Como se explicaba anteriormente, esta situación se corresponde con esos

momentos en los cuales la factoría de acero no tienen gases siderúrgicos para enviar a la planta de cogeneración, por lo tanto tampoco habrá gases para quemar en antorcha y no se contabilizarán estas emisiones. El gas natural que se utiliza será el mismo que en el escenario 0.

La planta se modeliza a partir de componentes de una planta de cogeneración de Ecoinvent que se adaptan a la instalación propuesta, teniendo en cuenta la superficie ocupada 8.233 m^2 y una vida útil de la misma de 30 años (Dones, R. et al, 2007). En cuanto a las emisiones, dado que en este escenario sólo se está quemando gas natural, se tomarán 308,182 kg CO_2, 0,412 kg NO_x y 0,309 kg SO_2.

En el escenario 2 se utiliza la misma planta que en el escenario 1, pero en este caso, el funcionamiento se llevará a cabo con gases siderúrgicos de forma exclusiva. Se contabiliza también la producción de electricidad. Dado que se ha decidido resolver el problema de asignación de impacto mediante sustitución, la energía eléctrica generada aparecerá como evitada.

Tabla 1. Datos de inventario de funcionamiento de la planta de cogeneración

ENTRADAS	Unidades	1 MWh térmico
Gas de Cok (GCK) - Calderas	Nm3	72,9706416
Gas de Aceria (GLD) - Calderas	Nm3	58,3248764
Gas de Aceria (GLD) - Motores	Nm3	238,040541
Nitrogeno	Nm3	0,06742254
Agua Total	m3	2,01250759
P.Q. Tratamiento de agua	Kg	0,01199124
P.Q. Circuito de Refrigeracion	Kg	0,00510632
P.Q. Circuito de vapor	Kg	0,00198898
P.Q. Motores	Kg	0,00023906
Aceite	Tn	0,00013636
Infraestrucutra	Pcs	0,0000600
SALIDAS		
Producción Eléctrica	MWh	0,17966594
Vertido V1 - Proceso	m3	0,60862889
Vertido V2 - Aseos	m3	0,00068886
SO_2 (Planta Térmica)	Tn	0,00035462
NO_x (Planta Térmica)	Tn	0,00079908
CO_2 (Planta Térmica)	Tn	0,60534432
SO_2 (Planta Eléctrica)	Tn	2,3235E-05
NO_x (Planta Eléctrica)	Tn	0,00043207
CO_2 (Planta Eléctrica)	Tn	0,39275213
Residuos Peligrosos	Tn	0,00020194
Residuos No Peligrosos	Tn	0,00012814

6.3. Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

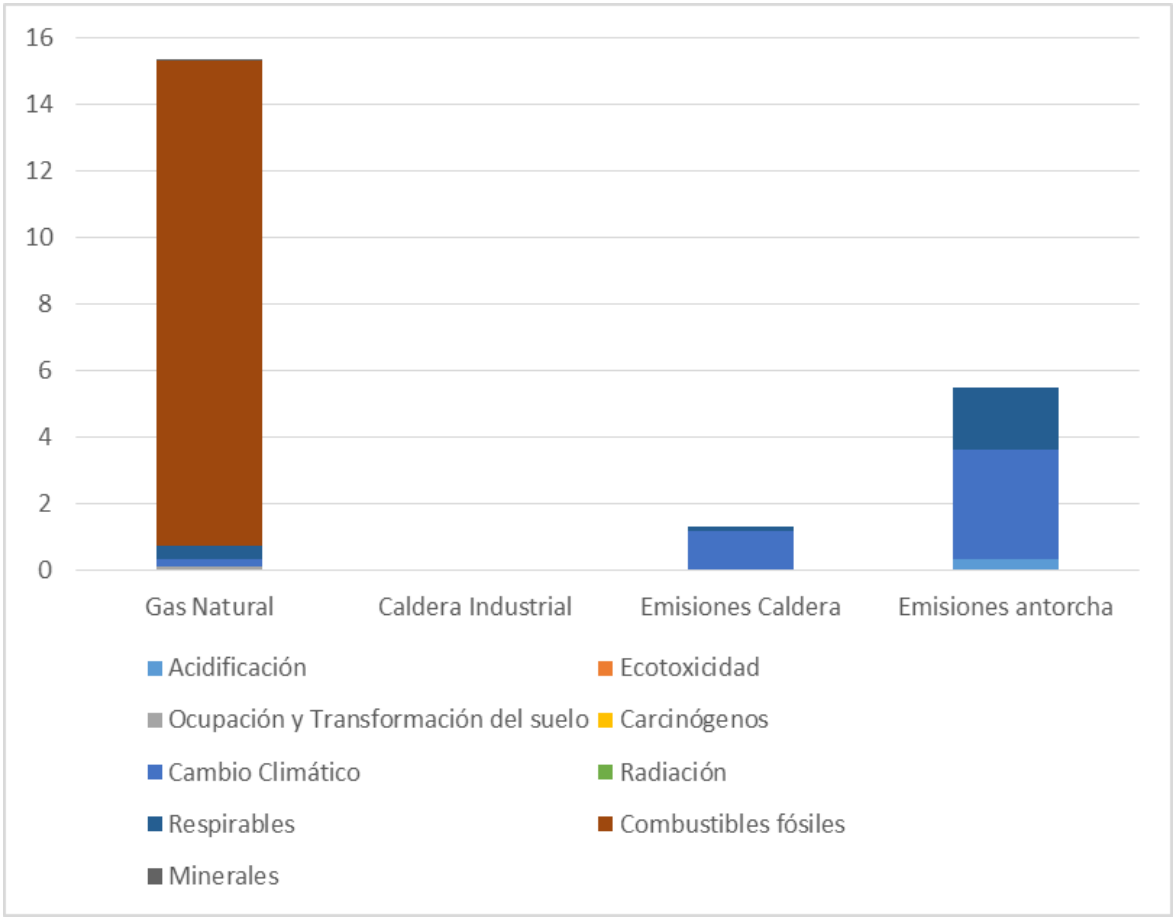
Para realizar el Análisis del Impacto del Ciclo de Vida se ha empleado como método de evaluación Ecoindicador 99 por ser uno de los indicadores más difundido en la actualidad y que ofrece resultados en efectos sobre la salud de las personas, la calidad de los ecosistemas y el consumo de recursos.

A continuación se muestran los resultados obtenidos son el software GaBi 4.4 con el que se ha realizado el análisis de cada escenario y la comparación de los mismos.

La Figura 2 muestra una distribución del impacto generado en la producción de 1MWh de vapor en el escenario 0, es decir, cuando no existe un aprovechamiento de los gases siderúrgicos en la cogeneración, sino que son quemados de forma controlada en antorcha.

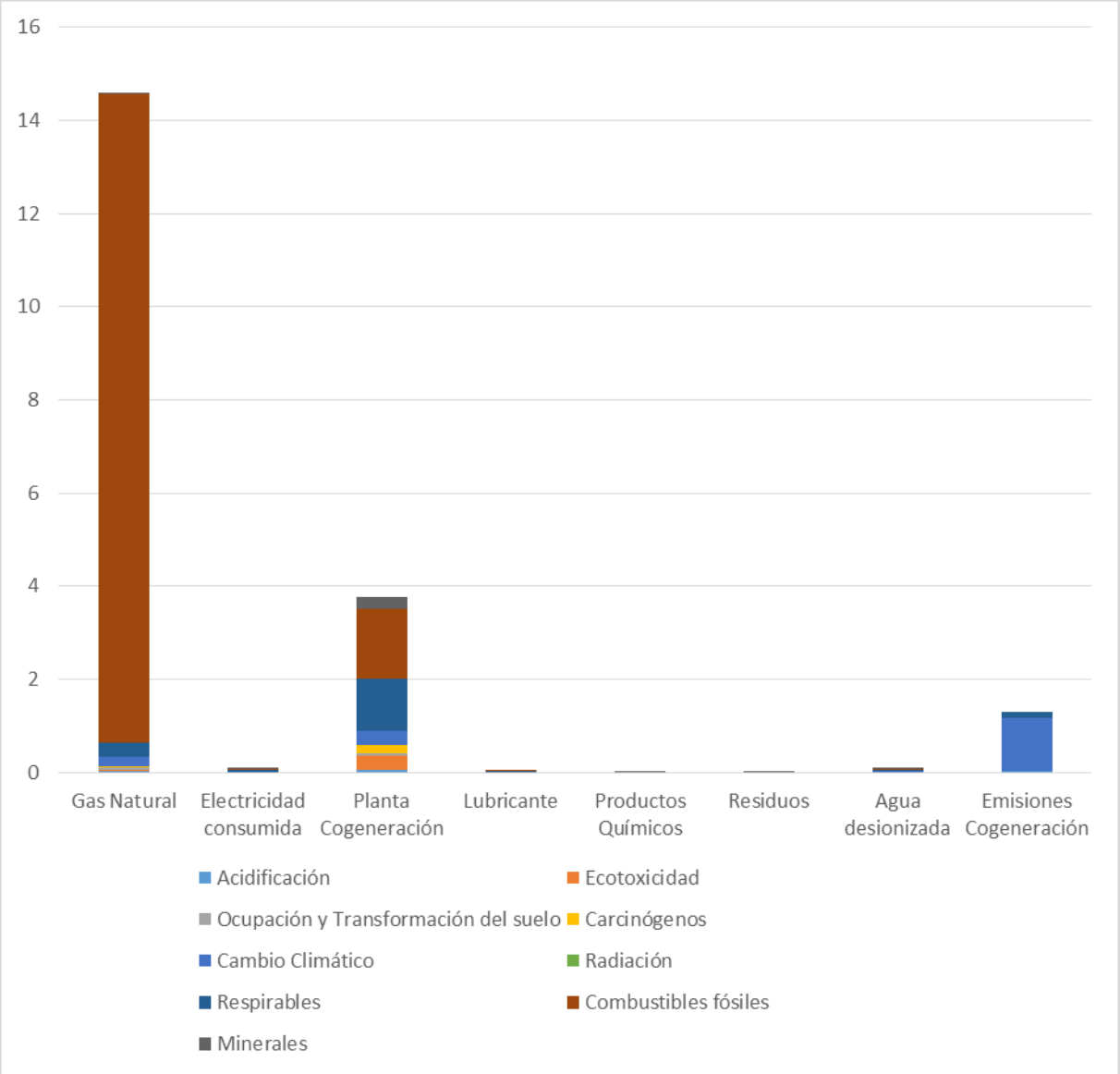
Como se puede ver, el mayor impacto recae sobre el consumo del gas natural en la categoría de combustibles fósiles. Los siguientes impactos con más relevancia se deben a las emisiones producidas durante la combustión del gas natural para la producción de vapor y durante la quema controlada de los gases en antorcha, siendo superior este último. Las emisiones a la atmósfera afectan fundamentalmente a las categorías de impacto de cambio climático y respirables (orgánicos e inorgánicos), ambas incluidas dentro de la categoría final de salud humana. Por otro lado, el impacto debido a la caldera industrial resulta completamente irrelevante frente a los impactos ya comentados.

Figura 2. Evaluación del impacto de la producción de 1MWh de vapor en el escenario 0



La **Figura 3** muestra los resultados obtenidos en la evaluación del escenario 1, el cual se corresponde a aquellas situaciones en las que, aunque existe una planta de cogeneración diseñada para funcionar con gases siderúrgicos, está funcionando con gas natural por no haber disponibilidad de dichos gases. Podría ser por ejemplo el caso de una parada en alguna de las partes de la factoría para mantenimiento. La variación con el escenario 0 radica en que en este caso el impacto por las emisiones a la atmósfera sólo se debe a la combustión del gas natural en la planta térmica. Por otra parte, aumenta el impacto de la planta de cogeneración. Esto se debe a que es una planta especialmente diseñada para para quemar gases siderúrgicos. Además, sólo se está utilizando para producir vapor, por lo tanto no existe la compensación del impacto por la electricidad evitada.

Figura 3. Evaluación del impacto de la producción de 1MWh de vapor en el escenario 1

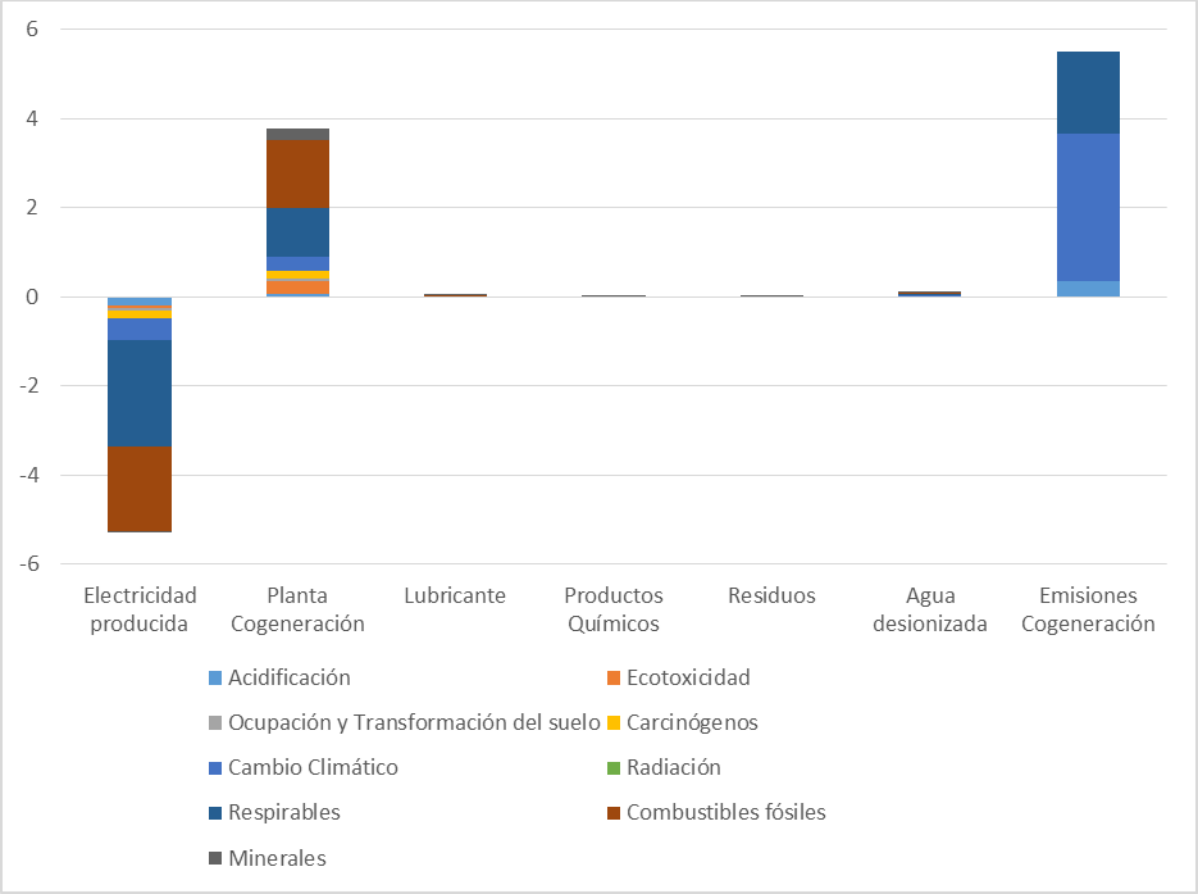


La **Figura 4** muestra los impactos generados cuando la planta de cogeneración está produciendo el vapor demandado por el proceso de fabricación de acero a partir de gases siderúrgicos. Por lo tanto, no existe el impacto debido al consumo del gas natural, que era el más importante en los otros dos escenarios. La siguiente diferencia importante es que el impacto negativo derivado de la producción de la electricidad, ya que se introduce como

electricidad evitada. Respecto a las emisiones, en este escenario el impacto relacionado con las mismas es muy superior a los primeros. Esto se debe a que, a pesar de que los gases siderúrgicos tienen un importante contenido energético, éste nunca será equiparable al del gas natural. Es decir, el rendimiento de la planta de cogeneración con los gases siderúrgicos es muy inferior al del que se consigue cuando funciona con gas natural.

En cuanto al siguiente impacto más relevante, la planta de cogeneración, el resultado es similar al caso anterior, ya que es la misma planta.

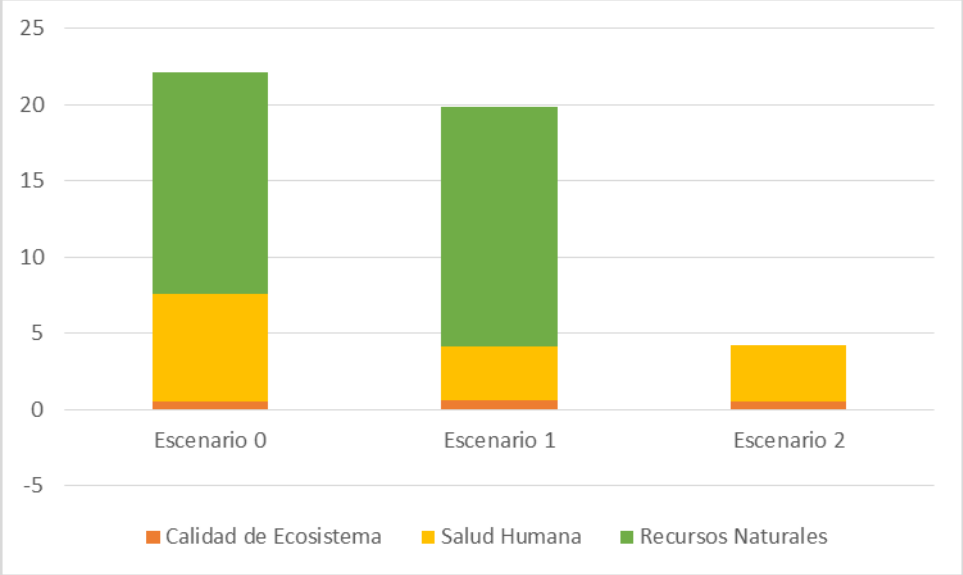
Figura 4. Evaluación del impacto de la producción de 1MWh de vapor en el escenario 2



Finalmente, si se compara el impacto global de los tres escenarios (**Figura 5**), se puede concluir que, a pesar de que el envío de los gases siderúrgicos a cogeneración supone la necesidad de una planta especialmente diseñada para ello, un rendimiento menor que si funcionara con gas natural y unas emisiones más contaminantes, se consigue una reducción de casi 20 puntos en el impacto global de la producción de 1 tonelada de vapor (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por lo tanto, el escenario 2 es una vía más sostenible que los escenario 0 y 1.

Sin embargo, en aquellas situaciones en las que no se disponga de gases siderúrgicos para enviar a la planta de cogeneración y se requiera de gas natural, tan sólo se estará consiguiendo una reducción del impacto de unos 3 puntos aproximadamente. Esto se debe, principalmente, al impacto alcanzado en la categoría de recursos naturales por el consumo de gas natural.

Figura 5. Comparativa del impacto global de escenarios



7. Conclusiones

El acero es un material fundamental en las sociedades desarrolladas y, sin embargo, su proceso de fabricación lleva asociados importantes impactos ambientales. Por lo tanto, se hace necesario buscar y aplicar las mejores técnicas disponibles que permitan avanzar hacia un desarrollo sostenible.

Los gases siderúrgicos, como el de acería, coque y horno alto, son subproductos peligrosos que han de ser quemados de forma controlada en antorcha. Este hecho genera una serie de emisiones a la atmósfera que se transforman en importantes impactos ambientales como se ve en los resultados del escenario 0.

Por otra parte, la industria siderúrgica tiene una alta demanda energética, tan sólo de vapor demanda, aproximadamente, 1 tonelada por cada 7 toneladas de acero producido. La producción de este vapor requiere del consumo de gas natural, lo que también se traduce en fuertes impactos ambientales.

Tras la aplicación de la herramienta de ACV, los resultados obtenidos demuestran que el aprovechamiento de los gases siderúrgicos en cogeneración, los cuales tienen un contenido energético nada despreciable, resulta ser una vía muy interesante, ya que permite eliminar el impacto de las emisiones al ser quemados los gases en antorcha y obtener vapor y electricidad sin un consumo de recursos fósiles.

8. Referencias

Adams, P. & McManus, M. 2014. Small- scale biomass gasification CHP utilisation in industry: Energy and environmental evaluation. Sustainable Energy Techonolgies and Assessments. 2014.

AENOR (2006). ISO14040 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y Marco de referencia. ISO14044 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requerimientos.

Dones, R., Bauer, C.,Bolliger, R., Burger, B., Heck, T., Röder, A., Scherrer, P., Frischknecht, R., Jungbluth, N. & Tuchschmid, M., 2007. Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for Current Systems in Switzerland and other UCTE Countries. Ecoinvent report Nº5. Ecoinvent Center.

Enríquez Berciano, J.L. & Tremps Guerra, E., 2007. Metalurgia Secundaria. Available at: http://oa.upm.es/1000/1/Berciano_Tremps_01.pdf [Accedido abril 27, 2015].

Parajuli, R., Loke, S & Ostergaard, P., 2014. Life cycle assessment of district heat production in straw fired CHP plant. Biomass and Bioenergy. 2014.

Payno M.L. & Seitén, J. 2014. Metalurgia y siderurgia. Open Course Ware. Dpto. de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales. Universidad de Cantabria. CreaIve Commons BY-NC-SA 3.0

Turconi, R, Boldrin, A. & Astrup, T., 2013. Life cycle assessment (LCA) of electricity generation technologies: overview, comparability and limitations. s.l. : Renevable and Sustainable Energy Reviews, 2013, Vol. 28.

UNESID, 2015. La industria siderúrgica, en el corazón de la economía verde. Available at: http://www.unesid.org/acero-y-sociedad-medio-ambiente.php [Accedido abril 16, 2015].

Worldsteel Association, 2014. Energy use in the steel industry, Available at: http://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets/content/02/text_files/file0/document/fact_energy_2014.pdf [Accedido abril 17, 2015].

04-020

MODELING THE LIFE CYCLE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF THE URBAN WATER CYCLE: INFLUENCE OF THE SELECTED SECONDARY INVENTORY DATA

Ibáñez-Forés, Valeria [1]; Mcmanus, Marcelle [2]; Papacharalampou, C [2]; Bovea Edo, Mª Dolores [1]

[1] Universitat Jaume I, [2] University of Bath

This research explores the environmental performance of the life cycle of urban water systems by applying the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. The need for accurate and representative life cycle inventory (LCI) data is the first step to fulfil this goal. To assure the appropriateness of these data, a critical assessment of available inventories in literature and commercial databases was carried out taking into account the following stages: 1)abstraction, 2)potabilization, 3)supply, 4)collection and 5)wastewater treatment. Selected LCI data were used to obtain environmental indicators for each stage of the urban water cycle. These indicators were combined in order to model the environmental behaviour of the whole cycle considering the different influences from the data sources. The measurements obtained may be used in future studies for calculating percentiles or other measures when assessing water cycle LCIs. This novel approach will be of interest to both LCA methodology researchers those researching the water industry, but also to those who will use data for water in the future.

Keywords: *Life cycle assessment; LCA; Life cycle inventory; LCI; urban water cycle*

MODELADO DEL COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DEL CICLO DE VIDA DEL AGUA URBANA: INFLUENCIA DE LOS DATOS DE INVENTARIO SELECCIONADOS

Este trabajo se centra en analizar el ciclo de vida del agua urbana mediante la aplicación de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Para ello, es necesario disponer de datos de inventario del ciclo de vida (ICV) precisos y representativos del sistema a analizar. Para ello, se ha realizado una revisión crítica de los datos de ICV secundarios disponibles en bases de datos comerciales, abarcando las siguientes etapas: 1)extracción, 2)potabilización, 3)distribución, 4)recogida y 5)tratamiento del agua residual. A partir de ellos se obtuvieron indicadores ambientales que cuantifican el impacto ambiental de cada una de las etapas del ciclo de vida del agua urbana. Posteriormente, estos indicadores se combinaron con el fin de modelar el comportamiento ambiental del ciclo completo considerando la influencia del origen de los datos de ICV. Los resultados obtenidos pueden utilizarse en futuros estudios para el cálculo de percentiles, entre otros. Este nuevo enfoque es de interés tanto para investigadores centrados en el estudio de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, como en el estudio de la industria del agua.

Palabras clave: *Análisis del ciclo de vida; ACV; Inventario del ciclo de vida; ICV; ciclo del agua urbana*

Correspondencia: MD Bovea Edo bovea@uji.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación obtenida del "Pla de promoció de la investigació de la Universitat Jaume I".

1. Introducción

En agosto de 2013, la Comisión Europea publicó el Séptimo Informe sobre la aplicación de la Directiva relativa al Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas (Directiva 91/271/EEC). Este informe identifica las principales deficiencias en la aplicación de dicha directiva, entre las que destacan la necesidad de mejorar la comunicación de la información ambiental en el sector del agua, así como el cumplimiento de las obligaciones relativas a la gestión y tratamiento de aguas, con el fin de garantizar el buen estado de ríos, lagos, zonas costeras y aguas subterráneas (COM 574/2013).

Para mejorar el desempeño ambiental de los sistemas de gestión del agua desde un punto de vista holístico, es necesario conocer a fondo cómo se comporta el ciclo del agua urbana y cuáles son sus puntos débiles. La metodología de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) (ISO 14040-44, 2006) es una herramienta que permite evaluar el desempeño ambiental de los sistemas desde “la cuna a la tumba”, por lo que permite considerar su ciclo completo.

Son diversos los artículos que aplican la metodología ACV a alguna de las etapas del ciclo del agua. Por ejemplo, Arroita et al. (2015) sobre la obtención de agua natural; Uche, Martínez-Gracia y Carmona (2014) estudian la distribución; Du et al. (2013) la recogida y los sistemas de alcantarillado; Garrido-Baserba et al. (2014), Risch et al. (2014), Niero et al. (2014) y Corominas et al. (2013[a]) se centran en el tratamiento de aguas residuales; etc. Analizando dichas publicaciones, se observa que entre las mayores dificultades a la hora de analizar el ciclo del agua desde un punto de vista holístico mediante la aplicación de la metodología ACV, destaca por un lado la configuración de un Inventario del Ciclo de Vida (ICV) representativo y completo, y por otro, la dificultad de poder comparar los resultados de diferentes estudios debido a las diferentes unidades funcionales (UF) que considera cada uno de ellos. En algunos estudios, las UF están basadas en parámetros de calidad (habitante equivalente), mientras que en otros, en parámetros de cantidad (m^3 de agua utilizadas por el usuario o de agua residual tratadas en las EDAR) (Corominas et al., 2013[b]).

En esta línea, Loubet et al. (2014) comparó diversas aplicaciones de la metodología ACV al ciclo de vida del agua urbana desde su potabilización hasta su tratamiento como agua residual. Entre sus conclusiones, destacaba la necesidad de estandarizar el enfoque de la evaluación del ciclo del agua, incluyendo la definición de una unidad funcional común, así como de incorporar análisis de incertidumbre de los datos de inventario.

La obtención de datos de inventario primarios de cada una de las etapas en que puede dividirse el ciclo de vida del agua urbana no es siempre posible, por lo que se recurre en muchas ocasiones a datos de ICV secundarios incluidos en bases de datos comerciales. Sin embargo, la utilización de estos datos secundarios debe realizarse con cautela, puesto que la forma en que cada base de datos obtiene, expresa y referencia sus datos puede incorporar incertidumbre al análisis (ISO 14044, 2006).

El objetivo de esta comunicación es analizar cuál es el grado de incertidumbre en la contribución al impacto ambiental del ciclo del agua urbana en función del origen de los datos de inventario utilizados en su estudio de ACV. Para ello, tras describir el ciclo de vida del agua urbana (sección 2), en la sección 3 se aplica la metodología ACV a cada etapa de dicho ciclo, para lo que: se resumen las características del ciclo del agua analizado (sección 3.1), se describen los datos de inventario y bases de datos seleccionados (sección 3.2) y se presentan los resultados ambientales obtenidos por dato y etapa del ciclo del agua urbana bajo estudio (sección 3.3). Seguidamente, en la sección 4 se analizan las variaciones de los indicadores ambientales que se obtendrían al combinar los datos de inventario de cada una de las etapas para conformar el inventario del ciclo de vida completo del agua urbana. Para finalizar, las conclusiones se presentan en la sección 5.

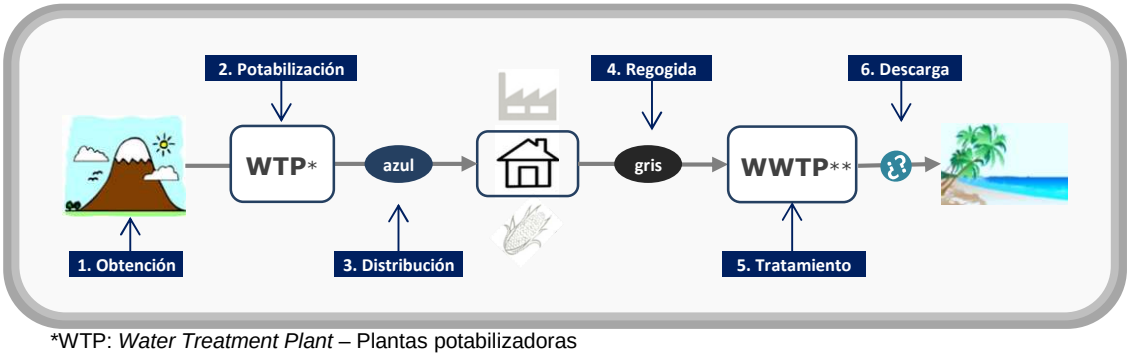
2. Ciclo de vida del agua urbana

El ciclo del agua urbana varía con factores como la localización, donde se incluye la orografía, el clima, etc.; el desarrollo tecnológico; la gestión que se realice del agua; las necesidades de abastecimiento; etc.

En general, dicho ciclo se puede dividir en una serie de fases que se muestran en la Figura 1 y se describen a continuación:

1) ***Obtención de agua natural***: obtención de agua o bien del subsuelo, normalmente a través de la perforación de pozos sobre acuíferos, o bien de depósitos superficiales como pueden ser ríos o embalses. En el caso de estos últimos, los embalses suelen incorporar plantas hidráulicas de generación de energía.
2) ***Potabilización del agua***: proceso encargado de asegurar que el agua destinada al consumo humano tiene la calidad, en términos de propiedades físicas y químicas, adecuadas para dicho consumo. Generalmente, esta etapa incluye procesos de coagulación-floculación, decantación, filtración y, finalmente, desinfección a través, por ejemplo, de la cloración.
3) ***Distribución del agua***: transporte del agua desde las plantas de potabilización hasta los puntos de consumo. Para ello se requiere de un entramado de tuberías conectadas a estaciones de bombeo que permitan hacer llegar el agua a cualquier localización.
4) ***Recogida/alcantarillado***: recogida y transporte del agua residual producida en el núcleo urbano hacia las plantas de tratamiento. Para ello se utiliza un entramado de conducciones subterráneas que conforman el sistema de alcantarillado urbano.
5) ***Tratamiento***: el tratamiento de las aguas residuales se realiza en las EDAR, plantas donde el agua adquiere los estándares de calidad europeos necesarios para poder ser vertida a masas superficiales de agua como ríos, lagos o el mar. De manera general, los procesos a los que se somete el agua residual en las EDAR pueden agruparse en tres bloques: pre-tratamiento y tratamiento primario, basados fundamentalmente en tratamientos mecánicos donde se eliminan los residuos voluminosos, grasas, aceites, etc.; tratamiento secundario o biológico, donde se elimina el contenido biológico por ejemplo en reactores; y, finalmente, el tratamiento terciario, basado principalmente en la desinfección del agua. Además, dichas plantas incluyen una línea de fangos donde estos son espesados, digeridos y deshidratados.

Figura 1. Ciclo de vida del agua urbana



*WTP: *Water Treatment Plant* – Plantas potabilizadoras
**WWTP: *WasteWater Treatment Plant* – Plantas de tratamiento de agua residual

3. Aplicación de la metodología ACV para cada etapa del ciclo de vida del agua urbana

Para analizar la influencia que tiene el origen de los datos de inventario utilizados a la hora de modelar el ciclo de vida del agua urbana, se ha aplicado la metodología ACV a cada etapa de dicho ciclo.

3.1 Definición de objetivos y alcance

El objetivo es obtener indicadores ambientales que cuantifiquen el impacto ambiental de cada una de las etapas en que puede dividirse el ciclo de vida del agua urbana (Figura 1): obtención de agua natural, potabilización del agua, distribución del agua, recogida/alcantarillado y tratamiento.

El alcance del estudio incluye desde la etapa de extracción del agua natural hasta su tratamiento final como agua residual. Los parámetros generales del ciclo del agua, así como las características básicas y procesos incluidos en cada etapa del ciclo analizado, se resumen en la Tabla 1. Cabe señalar que dicho ciclo se basa en el ciclo del agua urbana en una ciudad de la costa este española y que sus parámetros básicos, inclusive los relativos a los flujos y pérdidas de agua entre etapas, se basan en los identificados por Amores et al. (2013) para el ciclo del agua en ciudades de la región mediterránea.

La unidad funcional considerada para todo el ciclo es 1 m^3 de agua urbana suministrada al consumidor final, según el modelo propuesto por Amores et al. (2013).

Tabla 1: Alcance del ciclo del agua a analizar

Alcance: etapas consideradas	Características básicas del ciclo del agua considerado (Límites del sistema)	Volumen relativo a la UF (m^3/m^3)*
Obtención de agua natural	Extracción de agua subterránea a través de pozos y sistemas de bombeo localizados sobre acuíferos.	1.2
Potabilización del agua	Proceso de potabilización de agua, procedente de pozos subterráneos, que permite dotar a dicha agua natural de los estándares europeos de calidad *(Directiva 98/83/EC)*.	1.2
Distribución	Conjunto de canalizaciones y sistemas de bombeo que llevan el agua potabilizada hasta los puntos de consumo. Capacidad entre 6-18 Mm^3/año y vida útil 70 años.	1.2
Recogida	Sistema de alcantarillado que facilite el transporte del agua residual desde los puntos de consumo a las plantas de tratamiento. Capacidad entre 5-15 Mm^3/año, longitud entre 100-250 km y vida útil 100 años.	1
Tratamiento como agua residual	Tratamiento que combine técnicas físicas, químicas y biológicas que permitan que el agua residual cumpla con los requisitos de calidad europeos para su posterior vertido en aguas receptoras *(Directiva 91/271/EEC)*. Plantas con capacidad entre 5-15 Mm^3/año y vida útil media de 30 años.	1

*Amores et al. (2013)

3.2 Inventario del ciclo de vida

El inventario del ciclo de vida debe recoger, de manera específica y fiable, todas las entradas y salidas de materiales, agua, energía, emisiones a la atmósfera, vertidos al agua y al suelo, así como los residuos sólidos generados en cada etapa del ciclo del agua urbana.

De acuerdo a la norma ISO/TS 14048 (2002), dicho inventario se configuró mediante la cuantificación de los flujos de entrada y salida de cada una de las etapas del ciclo del agua urbana considerado (ver Tabla 1), desde la obtención del agua natural hasta el tratamiento previo a su vertido. Para ello, se utilizaron los datos de inventario que ofrecen las bases de datos ECOINVENT 3.01 (PRé Consultants, 2013), LCA-Food DK database (Nielsen et al., 2003) y ELCD 3.0 (Joint Research Centre [JRC], 2014).

Dichos datos fueron adaptados con el fin de hacerlos comparables e integrables en el ciclo del agua bajo estudio. Para ello, estos fueron referenciados a la unidad funcional en todas las etapas del ciclo (1 m^3 de agua urbana suministrada al consumidor final) teniendo en cuenta las pérdidas de agua entre etapas (ver Tabla 1); fueron ajustados bajo la consideración de una calidad de aguas de entrada y salida equivalente en las etapas de potabilización y tratamiento, respectivamente; y, finalmente, fueron adaptados para que consideraran distancias entre plantas similares en las etapas de distribución y recogida de aguas.

Tabla 2: Datos de inventario para el ciclo del agua analizado

		Opciones a evaluar de cada base de datos		
		ECOINVENT	**ELCD**	**LCA-FOOD**
Fase	**Obtención de agua natural**			1
	Potabilización del agua	2	1	1
	Distribución	1		
	Recogida	4		
	Tratamiento como agua residual	4	2	1

A continuación, se describen los detalles del proceso de selección de datos de inventario:

1) ***Obtención de agua natural***. Entre las bases de datos seleccionadas, únicamente LCA-Food incluye datos para la obtención de agua subterránea, ECOINVENT sólo contempla la obtención de agua de embalses con plantas hidráulicas y ELCD no incluye ningún dato para esta etapa. Por este motivo, la obtención del agua natural se modela únicamente a partir de los datos del LCA-Food.

2) ***Potabilización del agua***. Las bases de datos seleccionadas parten de principios muy diferentes, mientras que ELCD ofrece la posibilidad de seleccionar la potabilización tanto de agua subterránea como de agua superficial, respectivamente, ECOINVENT únicamente permite seleccionar el proceso de potabilización de agua sin distinguir su procedencia, diferenciando únicamente los procesos en base a la procedencia de las plantas utilizadas para obtener sus datos (Suiza o resto del mundo). Por otro lado, la base de datos LCA-Food únicamente dispone de la potabilización de agua subterránea. Cabe señalar que en ningún caso se especifica la composición química de dichas aguas, por lo que la selección de la opción más adecuada es realmente complicada. En el caso de estudio se incluyen las opciones dadas por las tres bases de datos.

3) ***Distribución del agua***. El principal problema en la selección de datos de distribución del agua es que cada dato está referenciado a unidades diferentes, mientras que en ECOINVENT es posible valorar la construcción de la red en base o bien a los km que esta tiene o a los m^3 de agua que esta transporta, en la LCA-Food sólo puede valorarse el consumo energético derivado de la operación de la red. En el caso de estudio se ha

seleccionado la red de ECOINVENT, basada en la red suiza de transporte de agua del país.

4) ***Recogida/alcantarillado***. Para modelizar la etapa de recogida del agua residual producida en el núcleo urbano, es necesario recabar información relativa al sistema de alcantarillado. ECOINVENT ofrece la posibilidad de modelizar dicha etapa a través de 10 tipos de alcantarillado agrupados en 5 clases de sistemas en base a su capacidad y tamaño y, a su vez, cada clase basada en datos suizos o globales, respectivamente. Para acotar los datos a analizar, se han seleccionado aquellos sistemas de recogida con capacidades de transporte entre 10.000-40.000 m^3/día y longitud entre 100-250 km.

5) ***Tratamiento***. Las tres bases de datos analizadas ofrecen opciones para modelizar el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, o bien no especifican el tipo de planta modelizada o bien diferencian las plantas en base al volumen o la calidad del agua tratada, respectivamente. ECOINVENT ofrece datos para cinco tipos de plantas de capacidades distintas, que a su vez están configuradas o bien a partir de datos suizos o bien con datos internacionales. En este caso se han seleccionado las cuatro plantas de la base de datos de ECOINVENT con capacidad de tratamiento entre 10.000-40.000 m^3/día. En el caso de la base de datos LCA-Food, únicamente existe una alternativa, una planta de elevada eficiencia energética en cuya descripción únicamente se indica que alcanza una capacidad de 350.000 habitantes-equivalentes. El tratamiento de aguas residuales seleccionado de la base de datos ELCD no indica la capacidad de la planta, únicamente que su tratamiento permite cumplir con los requisitos de la Directiva 91/271/EEC de tratamiento de aguas residuales urbanas.

3.3 Evaluación del impacto ambiental

Una vez seleccionados los datos de inventario para configurar el ICV del ciclo del agua urbana, se ha realizado la evaluación del impacto ambiental de cada dato en cada etapa. Para ello se ha aplicado el método CML-IA baseline (Center of Environmental Science [CES], 2014) con el programa informático SimaPro 8.0.4 (2014).

Siguiendo la metodología propuesta por la norma ISO 14040-44 (2006), se han obtenido indicadores ambientales para las categorías de impacto: Consumo de recursos abióticos (kg Sb eq.), Consumo de recursos abióticos (combustibles fósiles) (MJ), Calentamiento Global (kg CO_2 eq.), Toxicidad en humanos (kg 1,4-DB eq.), Ecotoxicidad acuática en agua dulce (kg 1,4-DB eq.), Ecotoxicidad acuática marina (kg 1,4-DB eq.), Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4-DB eq.), Acidificación (kg SO_2 eq.) y Eutrofización (kg PO_4^{3-} eq.).

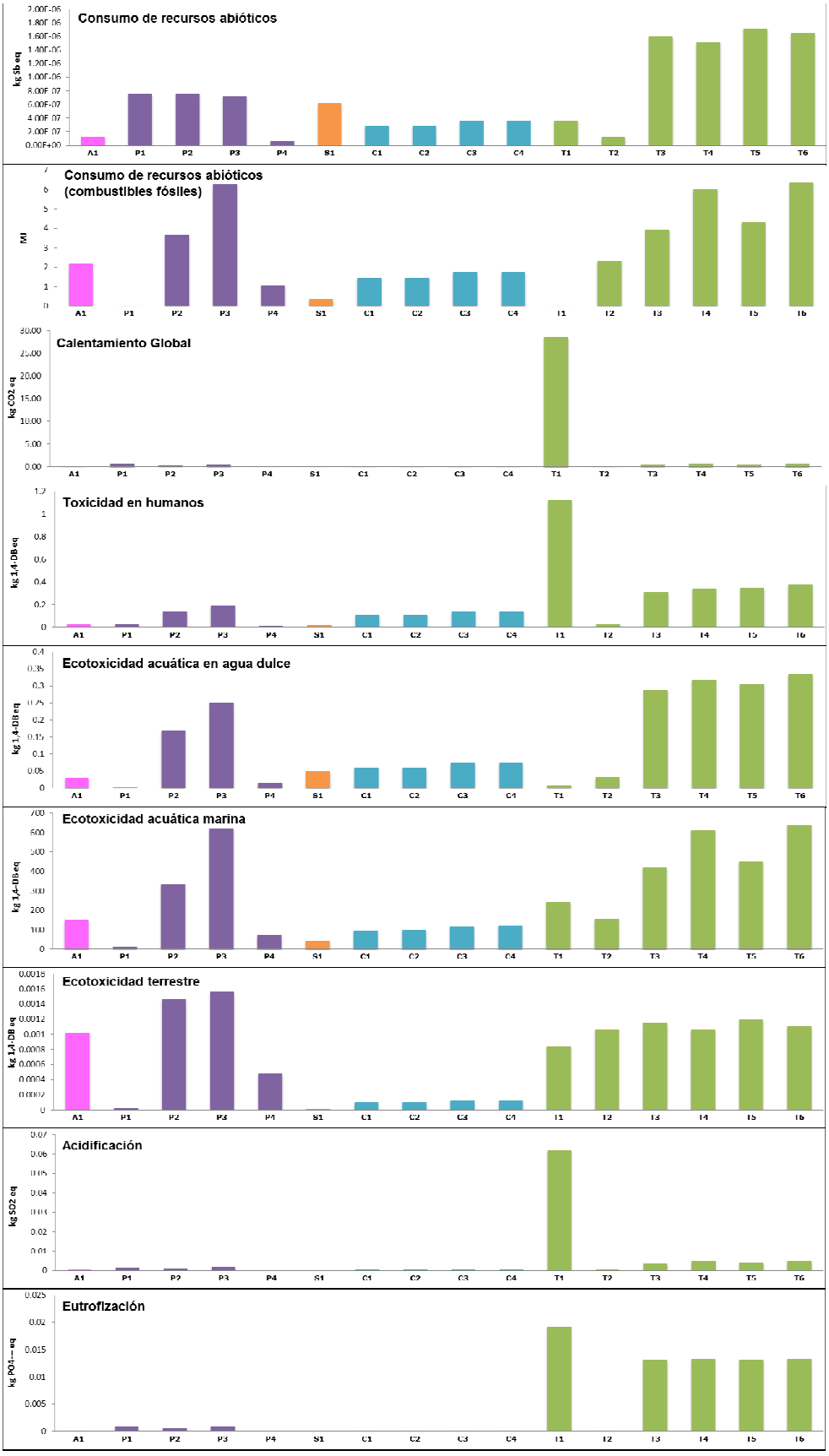
Los datos evaluados, la nomenclatura utilizada, así como la base de datos a la que pertenecen se resumen en la Tabla 3 y los resultados ambientales obtenidos se muestran en la Figura 2.

Tabla 3: Datos de inventario bajo estudio

	Nombre	Etapa	Base de datos
	A1	Obtención	LCA-Food
	P1	Potabilización	ELCD
	P2 – P3		ECOINVENT
	P4		LCA-Food
	S1	Distribución	ECOINVENT
	C1 – C4	Recogida	ECOINVENT
	T1	Tratamiento	ELCD
	T2		LCA-Food
	T3 – T6		ECOINVENT

Tal y como muestra la Figura 2, se observan diferencias entre los indicadores ambientales obtenidos para una misma categoría de impacto y para una misma etapa del ciclo del agua, tanto a partir de ICV procedentes de una como de diferentes bases de datos. Como ejemplo del primer caso, pueden destacarse las diferencias encontradas entre las alternativas P2 y P3 (ambas de ECOINVENT) para la etapa de potabilización del agua en las categorías “Consumo de recursos abióticos (combustibles fósiles)” o “Ecotoxicidad acuática marina”. Como ejemplo del segundo caso, se observan diferencias entre T1 (ELCD), T2 (LCA-Food) y T5 (ECOINVENT) para la etapa de tratamiento de aguas en la mayoría de las categorías de impacto analizadas.

Figura 2. Impactos ambientales de cada fuente de datos utilizada para cada etapa del ciclo del agua (Unidad funcional 1m^3 de agua consumida por el usuario)

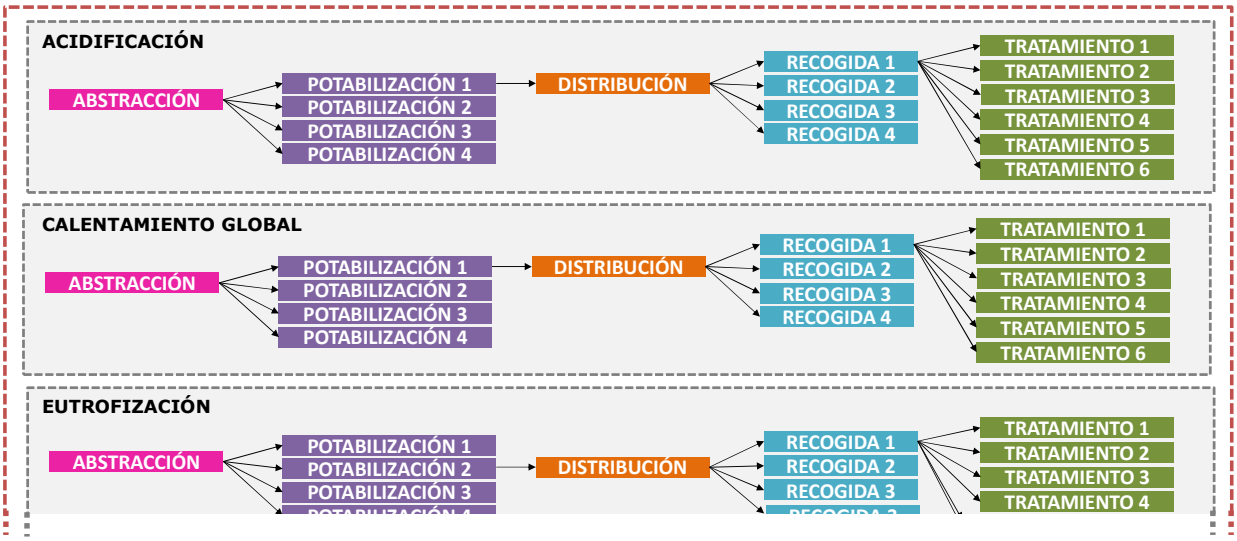


4. Discusión

Una vez conocidos los indicadores ambientales para cada etapa del ciclo del agua considerado, en función de la base de datos utilizada para su análisis, el objetivo es analizar la influencia que la utilización de dichos datos tendrá en la modelización del ciclo de vida completo del agua urbana. Es decir, se desea cuantificar cómo variaría el impacto ambiental del ciclo del agua urbana en función de la utilización de unos u otros datos secundarios, con el fin de valorar la incertidumbre que dichos datos secundarios aportan al ACV del ciclo completo.

Para ello, siguiendo la metodología presentada por Ibáñez-Forés, Bovea y Simó (2011), se han combinado los resultados obtenidos del ACV por etapas, según cada fuente de datos secundarios, para modelar el ciclo de vida completo y obtener cuál es la contribución total al impacto de dicho ciclo, tal y como muestra la Figura 3. Concretamente, se han combinado los resultados ambientales obtenidos para el proceso de obtención de agua natural subterránea, para cuatro procesos de potabilización equivalentes, para un sistema de distribución del agua, para cuatro sistemas de alcantarillado y, finalmente, para seis posibles tratamientos de agua residual.

Figura 3. Datos ambientales obtenidos mediante la combinación de los datos secundarios analizados para cada una de las nueve categorías de impacto



Los valores medios de los indicadores ambientales para el ciclo de vida del agua urbana, obtenidos tras combinar los datos de cada proceso unitario, se muestran en la Tabla 4.

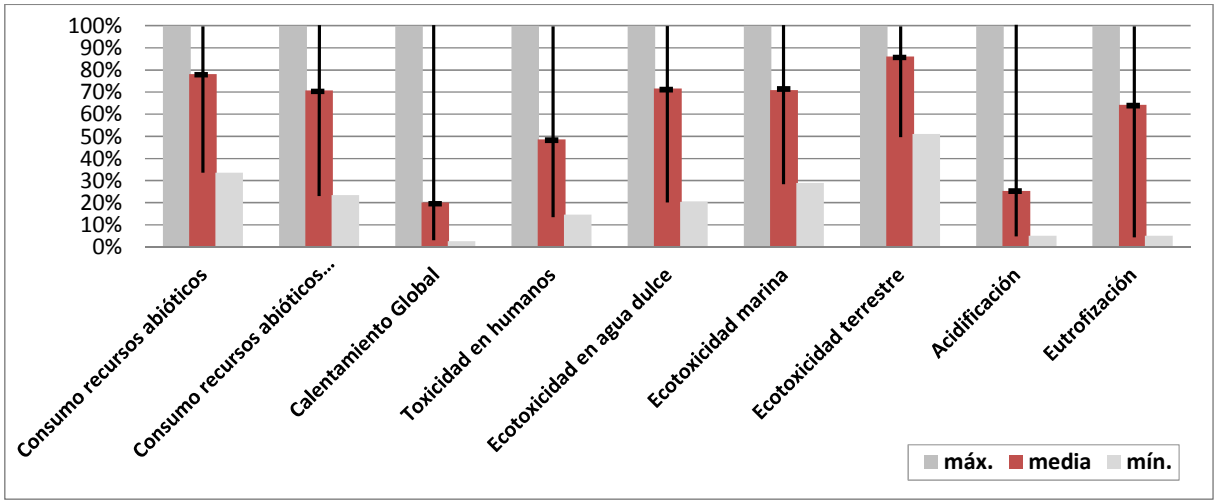
Tabla 4: Indicadores ambientales promedio para el ciclo de vida del agua urbana, por categoría de impacto

Categoría de impacto	Impacto medio	Unidad
Consumo de recursos abióticos	2.801E-06	kg Sb eq.
Consumo de recursos abióticos (combustibles fósiles)	1.202E+01	MJ
Calentamiento Global	5.938E+00	kg CO_2 eq.
Toxicidad en humanos	7.311E-01	kg 1,4-DB eq.
Ecotoxicidad acuática en agua dulce	5.292E-01	kg 1,4-DB eq.
Ecotoxicidad acuática marina	1.115E+03	kg 1,4-DB eq.
Ecotoxicidad terrestre	3.370E-03	kg 1,4-DB eq.
Acidificación	1.650E-02	kg SO_2 eq.
Eutrofización	1.324E-02	kg PO_4^{3-} eq

A partir de las combinaciones de datos formadas, que conforman el conjunto de resultados ambientales alternativos asociados al ciclo del agua urbana considerado, se calculan parámetros descriptivos como los porcentajes de variación que dicho impacto alcanza, en cada categoría, en base a las bases de datos utilizadas en su modelización. El objetivo es cuantificar porcentualmente la variación del impacto en base a la utilización de diferentes datos secundarios para modelar los mismos procesos.

Para ello, se obtienen las diferencias máximas encontradas entre todos los resultados ambientales obtenidos para el ciclo del agua completo a partir de la combinación de los resultados por etapas. Concretamente, se analiza, de manera porcentual, la contribución al impacto máxima, mínima y media obtenidas, mediante la combinación de datos, en cada categoría de impacto analizada. Los resultados obtenidos se representan en la Figura 4.

Figura 4. Variación del impacto ambiental del ciclo de vida del agua urbana



Las categorías “Calentamiento global”, “Oxidación fotoquímica” y “Acidificación” son las que mayores diferencias presentan, mostrando una diferencia del 80% entre la contribución media y máxima. Por otro lado, la “Ecotoxicidad acuática en agua dulce”, así como la “Eutrofización”, también presentan elevada divergencia, concretamente unas diferencias del 50% entre los valores medios y mínimos.

5. Conclusiones

Este estudio analiza cómo influye la selección de los datos de inventario secundarios a la hora de obtener los indicadores ambientales que cuantifican el impacto del ciclo de vida del agua urbana.

En general, puede afirmarse que en la modelización del ciclo del agua urbana la elección de la base datos, incluso los datos escogidos dentro de una misma base, van a influir en los resultados ambientales obtenidos mediante la aplicación de la metodología ACV, los cuales pueden alcanzar porcentajes de variación superiores al 80% en algunas categorías de impacto (“Calentamiento global”, “Acidificación” y “Eutrofización”). Por ello, ante la falta de datos de inventario primarios, se recomienda analizar la aplicabilidad de los datos de inventario secundarios (bases de datos comerciales/bibliografía) y adaptarlos a cada caso de estudio específico. Entre los parámetros a estudiar destacan la localización de las plantas, las tecnologías utilizadas (aunque estas aporten los mismos resultados) y las capacidades de las plantas que cada base de datos consideró en la configuración de sus datos de inventario.

Por otro lado, al modelar el ICV es necesario tener presente los problemas y dificultades identificados en la selección de los datos, como por ejemplo, la elección de la unidad funcional del estudio y la búsqueda de datos que concuerden con ella, intentando no mezclar información referida a calidad y cantidad de agua, respectivamente. Además, en la búsqueda de datos relativos a los procesos de potabilización y tratamiento hay que tener en cuenta que el cumplimiento de los estándares de calidad de un agua no implica que el agua de salida de las plantas que cumplen dicho estándar tenga la misma calidad, ni tampoco que la calidad del agua de entrada sea la misma. Por ello, es necesario examinar exhaustivamente el proceso escogido, para asegurarse de que concuerda con el proceso a modelar.

Los resultados obtenidos en este trabajo pueden servir de base en futuros estudios para el cálculo de parámetros como:

- Modelos de distribución del comportamiento ambiental del ciclo del agua para cada categoría de impacto apoyados en tests de bondad de ajuste que permitan determinar la distribución estadística que mejor se adapta a los resultados obtenidos.
- Intervalos de confianza para parámetros estadísticos como la media y la desviación estándar, de las contribuciones totales obtenidas.
- Cálculo de percentiles u otras medidas de evaluación de datos.

6. REFERENCIAS

Amores, M.J., Meneses, M., Pasqualino, J., Antón, A. & Castells, F. (2013). Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach. *Journal of Cleaner Production, 43*, 84-92.

Arroita, M., Aristi, I., Díez, J., Martinez, M, Oyarzun, G. & Elosegi, A. (2015). Impact of water abstraction on storage and breakdown of coarse organic matter in mountain streams. *Science of the Total Environment, 503-504*, 233-240.

Center of Environmental Science (2013). CML-IA LCA methodology. Leiden University, The Netherlands. Disponible en: http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html

Comisión Europea. COM 574/2013 Séptimo informe de la Comisión sobre la aplicación de la Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (91/271/CEE). Bruselas, 7.8.2013.

Corominas, L., Larsen, H.F., Flores-Alsina, X. & Vanrolleghem, P.A. (2013[a]). Including Life Cycle Assessment for decision-making in controlling wastewater nutrient removal systems. *Journal of Environmental Management, 128*, 759-767.

Corominas, L., Foley, J., Guest, J.S., Hospido, A., Larsen, H.F., Morera, S. & Shaw, A. (2013[b]). Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. *Water Research, 47* (15), 5480-5492.

Du, F., Woods, G.J., Kang, D., Lansey, K.E. & Arnold, R.G. (2013). Life cycle analysis for water and wastewater pipe materials. *Journal of Environmental Engineering (United States), 139* (5), 703-711.

Garrido-Baserba, M., Hospido, A., Reif, R., Molinos-Senante, M., Comas, J. & Poch, M. (2014). Including the environmental criteria when selecting a wastewater treatment plant. *Environmental Modelling and Software, 56*, 74-82.

Ibáñez-Forés, V., Bovea, M.D. & Simó, A. (2011). Life cycle assessment of ceramic tiles. Environmental and statistical analysis. *International Journal of Life Cycle Assessment, 16*, 916-928.

ISO 14040:2006. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. European Committee for Standardization (CEN), Geneva.

ISO 14044:2006. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. European Committee for Standardization (CEN), Geneva.

ISO/TR 14048:2002. Environmental management - Life Cycle Assessment - Data documentation format. European Committee for Standardization (CEN), Geneva.

Joint Research Centre (2014). European Reference Life Cycle Database (ELCD) Core Database (Version III). European Commission. Disponible en: http://eplca.jrc.ec.europa.eu/?page_id126

Loubet, P., Roux, P., Loiseau, E. & Bellon-Maurel, V. (2014). Life cycle assessments of urban water systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature. *Water Research, 67*, 187-202.

Nielsen P.H., Nielsen A.M., Weidema B.P., Dalgaard R. & Halberg N. (2003). LCA food data base. Disponible en: www.lcafood.dk

Niero, M., Pizzol, M., Bruun, H.G. & Thomsen, M. (2014). Comparative life cycle assessment of wastewater treatment in Denmark including sensitivity and uncertainty analysis. *Journal of Cleaner Production, 68*, 25-35.

PRé Consultants (2013). The life cycle inventory data - Ecoinvent v3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Switzerland.

Risch, E., Loubet, P., Núñez, M. & Roux, P. (2014). How environmentally significant is water consumption during wastewater treatment?: Application of recent developments in LCA to WWT technologies used at 3 contrasted geographical locations. *Water Research, 57*, 20-30.

SimaPro 8.0.4 (2014). SimaPro v8.0.4. PRé Consultants, B.V. Amersfoort, The Netherlands.

Uche, J., Martínez-Gracia, A. & Carmona, U. (2014). Life cycle assessment of the supply and use of water in the Segura Basin. *International Journal of Life Cycle Assessment, 19* (3), 688-704.

Unión Europea. Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. *Diario Oficial de la Comunidad Europea*, 5 de diciembre de 1998, núm. 330, pp. 32-54.

Unión Europea. Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 30 de mayo de 1991, núm. 135, pp. 40-52.

04-021

TREND ANALYSIS OF SEASONALITY AND RAINFALL EROSIVITY IN THE REGION OF EASTERN ANDALUSIA

Ayuso Ruiz, Patricia ; García Marín, Amanda Penélope ; Taguas Ruiz, Encarnación ; Estévez Gualda, Javier ; Ayuso Muñoz, José Luis

Universidad de Córdoba

Rainfall erosivity is the primary cause of soil erosion establishing an environmental constraint that restricts and conditions land use and soil management. Thus, in the context of the climate change, the understanding of the alteration in rainfall characteristics and their influence on soil erosion is one of the main concerns of soil conservation studies. In this work, the seasonality rainfall index (SI) of Walsh and Lawler, precipitation concentration index (PCI), and modified Fournier index (MFI) for rainfall erosivity have been estimated and analyzed for East Andalusia region. Monthly rainfall data (from 1945 to 2005) of 277 rainfall gauges distributed over the region have been used. The region is characterized by high year-to-year variability in rainfall and a marked irregular distribution of the rainfall over the year and thus monthly rainfall erosivity. The spatial variability of the analyzed indexes is shown in maps. Their temporal data series are also analyzed in order to detect tendencies by using the non-parametric test, based on the range, of Mann-Kendall.

Keywords: *Erosivity; seasonality index; precipitacion concentration index; trend analysis*

ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE LA ESTACIONALIDAD Y EROSIVIDAD DE LA LLUVIA EN LA REGIÓN DE ANDALUCÍA ORIENTAL

La erosividad de la lluvia es la causa primaria de la erosión del suelo constituyendo una limitación ambiental natural que restringe y condiciona el uso y manejo del suelo. Por consiguiente, en un contexto de cambio climático, la comprensión de la alteración de las características de la lluvia y su efecto en la erosión del suelo es uno de los principales temas en los estudios de conservación del suelo. En este estudio se han estimado y analizado el índice de estacionalidad de la lluvia de Walsh y Lawler (IE), el índice de concentración de la precipitación (ICP) y el índice modificado de Fournier (IMF) para la erosividad de la lluvia para la región de Andalucía oriental. Los datos utilizados constan de registros de lluvia mensual durante el periodo 1945 a 2005 correspondientes a 277 estaciones pluviométricas distribuidas sobre la región. La región se caracteriza por una alta variabilidad interanual de la precipitación y una marcada estacionalidad y por consiguiente de la ersovidad de la lluvia mensual. Se presentan mapas de la variabilidad espacial de estos índices y se analizan las series temporales de los mismos para detectar tendencias utilizando el test no paramétrico, basado en el rango, de Mann-Kendall.

Palabras clave: *Estacionalidad; concentración de la precipitación; erosividad; análisis de tendencias*

Correspondencia: José Luis Ayuso ir1aymuj@uco.es

Agradecimientos: Este trabajo se enmarca en el proyecto CTM2013-45666 Reformulación de los procesos de erosión y transporte de sedimentos desde una perspectiva física, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad

1. Introducción

La precipitación es el componente más importante del ciclo hidrológicoy el elemento climático más complejo y variable, tanto por su ocurrencia estacional a lo largo del año (variabilidad intra-anual) como por su variabilidad interanual. En la región de Andalucía oriental, además del fuerte carácter estacional la precipitación presenta una gran variabilidad interanual y una elevada variabilidad espacial. Aun cuando no haya tendencias de cambio en la cantidad total de lluvia su distribución a lo largo del año puede verse afectada por el cambio climático, determinando cambios en el potencial erosivo de la lluvia. La erosividad de la lluvia es la causa primaria de la erosión del suelo constituyendo una limitación ambiental natural que restringe y condiciona el uso y manejo del suelo.

Por consiguiente, en un contexto de cambio climático, la comprensión de la alteración de las características de la lluvia y su efecto en la erosión del suelo es uno de los principales temas en los estudios de conservación del suelo.

En este trabajo se estudian y analizan las tendencias que tienen lugar en los índices de estacionalidad, concentración y erosividad de la precipitación, en la región de Andalucía Oriental abarcando las provincias de Málaga, Granada, Almería y Jaén, usando registros de precipitación mensual durante seis décadas recientes (1945 – 2005).

2. Área de estudio y fuente de datos de lluvia

Se circunscribe éste trabajo a la región de Andalucía oriental constituida por las provincias de Málaga, Granada, Almería y Jaén abarcando un total de 42.196 km^2 (Figura1). A escala continental, la región de Andalucía Oriental se engloba dentro del dominio climático mediterráneo con ciertos matices diferenciadores según el ámbito espacial, caracterizado por el predominio de las altas presiones estivales responsables de las altas temperaturas y de la típica sequía estival, interrumpida ocasionalmente por precipitaciones de tipo convectivo. Los inviernos se caracterizan por la presencia de inestabilidad atmosférica con las consiguientes precipitaciones que se concentran en las estaciones de otoño, invierno y primavera. No obstante, existen diferencias climáticas entre las cuatro provincias que conforman la región oriental de Andalucía.

Figura 1. Región de Andalucía Oriental y localización de las estaciones analizadas

En conjunto y por lo que respecta a la pluviometría anual cabe decir que obedece a tres patrones diferentes (Vanderlinden, 2001, García-Marín, 2008):

1. Patrón Atlántico. Caracterizado por la situación sinóptica de una depresión situada al norte o noroeste de la península. Generalmente está asociado a vientos del oeste cargados de humedad procedente del Atlántico que ocasionan frentes de lluvia que producen importantes precipitaciones en la costa atlántica y la meseta y que llega a afectar al norte de la región occidental de Andalucía. Su influencia se deja sentir en los meses de noviembre a marzo.

2. Patrón Sur. Caracterizado por la situación sinóptica de una depresión que se sitúa en las proximidades del Cabo de San Vicente, el Golfo de Cádiz o el estrecho de Gibraltar. Y que origina un flujo de aire húmedo del Atlántico que entra por el sur de la península, tanto por la costa atlántica como por la costa mediterránea. Este patrón desaparece en los meses de julio y agosto y de él depende en gran medida la precipitación anual del sur de la península.

3. Patrón Levante. Caracterizado por la situación sinóptica de una depresión que se sitúa al sur de la península y que puede verse reforzada por un centro de alta presión al norte. Esta situación ocasiona fuertes corrientes en dirección oeste, cargadas con aire extremadamente húmedo del mediterráneo. Estas masas de aire húmedo son forzadas a ascender por la orografía. Este patrón desaparece en julio y agosto y sus consecuencias se manifiestan en la región oriental de Andalucía.

Tabla 1. Estaciones por provincias, áreas, densidad de estaciones y precipitación media

Provincia	Superficie (km^2)	Nº Estaciones	Densidad Estación/km^2	Precipitación media (mm)		
				Media	Máxima	Mínima
Málaga	7.308	65	1/112,4	663,2	1305,4 (1996)	319,7 (2005)
Granada	12.635	90	1/140,4	476,4	888,2 (1996)	239,9 (2005)
Almería	8.769	45	1/194,9	334,6	771,2 (1989)	189,4 (1981)
Jaén	13.484	86	1/156,8	608,1	1092,1 (1960)	276,7 (1953)
Región	**42.196**	**286**	**1/147,5**	**536,2**	**278,9 (2005)**	**946,4 (1996)**

Según estos patrones generales, la provincia de Jaén se ubicaría dentro del patrón Atlántico, Almería y Granada dentro del Levante y Málaga dentro del patrón Sur. La combinación de estos patrones generales junto con la orografía propia de cada provincia, además de otros factores, determinan el régimen pluviométrico en cada una de ellas.

El estudio se ha basado en las series de datos de precipitación mensual de 286 estaciones pluviométricas (Tabla 1), distribuidas por toda la región (Figura 1) con una densidad media de 1 estación por cada 147,5 km^2. El periodo investigado comprende los años de 1945 a 2005,

ambos inclusive y los registros de precipitación han sido obtenidos de la base de datos MOPREDAS (González-Hidalgo et al., 2011) construida con las series de datos originales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

3. Metodología

Se presentan en esta sección los enfoques metodológicos aplicados en este trabajo, concretamente las metodologías de cálculo del Índice de Estacionalidad de Walsh y Lawler (1981), del Índice de Concentración de la Precipitación (*ICP*) y del Índice Modificado de Fournier (*IMF*) de la erosividad de la lluvia, además del test de Mann-Kendall para el análisis de tendencias de series temporales

3.1.*Índice de Walsh y Lawler de estacionalidad de la precipitación*

Para evaluar la estacionalidad de la precipitación se ha usado el índice establecido por Walsh y Lawler (1981) que cuantifica mediante una simple cifra la variabilidad de la precipitación a lo largo del año mediante la expresión

$$SI_i = \frac{1}{R_i} \sum_{n=1}^{n=12} P_{in} - \frac{R_i}{12} \qquad (1)$$

donde R_i es la precipitación total anual para el año particular en estudio y P_{in} es la precipitación mensual del mes *n*. Este índice proporciona información sobre las variaciones interanuales de la estacionalidad, y varía desde cero (cuando todos los meses registran la misma cantidad de lluvia) hasta 1,83 (cuando toda la lluvia ocurre en un único mes). Los valores más altos del índice indican una gran desviación de una distribución equitativa de la precipitación a través del año, mientras que los valores cercanos a cero indican que hay poca o ninguna variación estacional en la precipitación. La Tabla 2, muestra los distintos regímenes de precipitación según el valor del índice.

Un SI_i medio a largo plazo para un lugar, puede calcularse de los índices individuales SI_i sobre un largo periodo, *m*, de al menos 30 años

$$SI_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{j=m} SI_j \qquad (2)$$

El índice ha sido usado por muchos investigadores (Bello, 1998; Sumner et al, 2001; Livada y Asimakopoulos, 2005; Elagib, 2011).

Tabla 2. ***Régimen de precipitación según el valor del SI***

SI	**Régimen de lluvia**
< 0,19	Precipitación distribuida a través del año
0,20 -0,39	Precipitación distribuida a través del año pero con una definida estación más húmeda
0,40 -0,59	Algo estacional con una corta estación más seca
0,60 -0,79	Estacional
0,80 -0,99	Marcadamente estacional con un largo periodo seco
1,00 -1,19	La mayor parte de la precipitación en menos de 3 meses
> 1,20	Estacionalidad extrema, con casi toda la precipitación en 1-2 meses

3.2.*Índice de Concentración de la Precipitación*

La estacionalidad del régimen de lluvia también puede evaluarse mediante el índice de concentración de la precipitación (*ICP*), sugerido por Oliver (1980)

$$PCI_i = 100 \times \frac{\sum_{n=1}^{12} P_{in}^2}{R_i^2} \quad (3)$$

con P_{in} y R_i significando lo mismo que en la ecuación (1). Valores del *ICP* por debajo de 10 implican distribución uniforme de la precipitación, valores de 11 a 20 indican estacionalidad en la distribución de la precipitación, y valores por encima de 20 corresponden a climas con significativa variabilidad mensual. El índice ha sido utilizado por diversos autores como Apaydin (2006), De Luis et al. (2011) y Elagib (2011).

3.3. *Índice Modificado de Fournier de erosividad de la lluvia*

Fournier (1960) sugirió un índice, el cual fue posteriormente modificado por Arnoldus (1980), referido como índice modificado de Fournier (*IMF*) para evaluar el potencial de erosividad del régimen de lluvia, definido, para cada año *i*, por

$$IMF_i = \sum_{n=1}^{12} \frac{P_{in}^2}{R_i} \quad (4)$$

Según el valor del índice, la erosividad de la precipitación se clasifica de la siguiente manera: valores por debajo de 60 (notablemente baja); valores entre 60 y 90 (baja); valores de 90 a 120 (moderada); valores de 120 a 160 (alta); valores superiores a 160 (muy alta) (Nunes et al., 2014).

3.4.*Test de Mann-Kendall para análisis de tendencias en series temporales*

Este test, también denominado test tau de Kendall fue propuesto por Mann (1945) y Kendall (1975). Es un test no paramétrico basado en el rango que evalúa la significancia de una tendencia, y es ampliamente usado en la detección de tendencias en las series temporales de datos hidroclimáticos (Yue et al., 2002; Kahya y Kalayci, 2004; Oguntunde et al., 2011; Jung et al., 2011; Shadmani et al.,2012; Rougé et al.,2013).
La hipótesis nula H_0 establece que una muestra de datos (x_1, x_2, … , x_n) es independiente e idénticamente distribuida, mientras que la hipótesis alternativa H_1 establece que existe una tendencia monotónica en x. El test se basa en el estadístico *S*. Cada par de valores observados x_i, x_j ($i < j$) de la variable aleatoria es inspeccionada para buscar si $x_i > x_j$ o $x_i < x_j$, definiendo entonces *S* como (Yu et al., 1993; Douglas et al., 2000; Hamed, 2008)

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1+1}^{n} sign\ x_j - x_i \quad (5)$$

donde x_i , x_j son los datos secuenciales, *n* es el número total de datos de la serie temporal, y *sign* $(x_j - x_i)$ es 1 para $(x_j - x_i) > 0$; 0 para $(x_j - x_i) = 0$, y -1 para $(x_j - x_i) < 0$. Cuando $n \geq 8$, el estadístico *S* es aproximadamente normalmente distribuido. Cuando no existen valores repetidos de los datos, la media y la varianza vienen expresadas por

$$E\ S\ = 0 \quad (6)$$

$$Var\ S\ = \frac{n\ n-1\ \ 2n+5}{18} \tag{7}$$

Cuando algunos datos de la serie se repiten, la varianza llega a ser

$$Var\ S\ = \frac{n\ n-1\ \ 2n+5\ -\ \sum_{j=1}^{m} t_j\ t_j-1\ \ 2t_j+5}{18} \tag{8}$$

donde *m* es el número de grupos de datos repetidos, cada uno con t_i observaciones repetidas. Para $n > 10$ el estadístico estandarizado del test, *Z*, es calculado por

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var\ S}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var\ S}} & S < 0 \end{cases} \tag{9}$$

Este estadístico, *Z*, sigue la distribución normal tipificada con media cero y varianza unidad, y se usa para detectar una tendencia significativa. Si $Z > 0$, indica tendencia creciente, y si $Z < 0$, indica tendencia decreciente en la serie temporal analizada. Por consiguiente, la hipótesis nula H_0 es rechazada al nivel de significancia α (la probabilidad de que el test detecte tendencia cuando no la hay) si $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$, donde $Z_{1-\alpha/2}$ es el valor crítico de *Z* según la distribución normal tipificada. Para el nivel de significancia del 5%, el valor de $Z_{1-\alpha/2}$ es 1,9604.

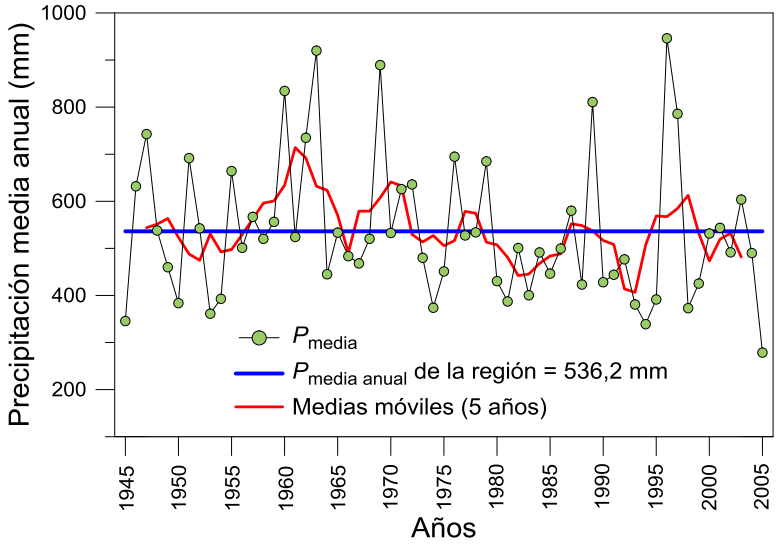
4. Resultados y discusión

De los datos originales de precipitación mensual de las 286 estaciones disponibles en la región (periodo 1945 – 2005) se obtuvieron las series temporales de la precipitación media regional, y se estimaron las series temporales de los valores de los índices de estacionalidad de Walsh-Lawler, *ICP* e *IMF* para cada estación, así como sus valores medios interanuales utilizando las expresiones descritas en la metodología. Las series temporales de la precipitación media en la región y de los tres índices anteriores se usaron para determinar tendencias mediante la aplicación del test de Mann-Kendall.

4.1. *Precipitación media anual*

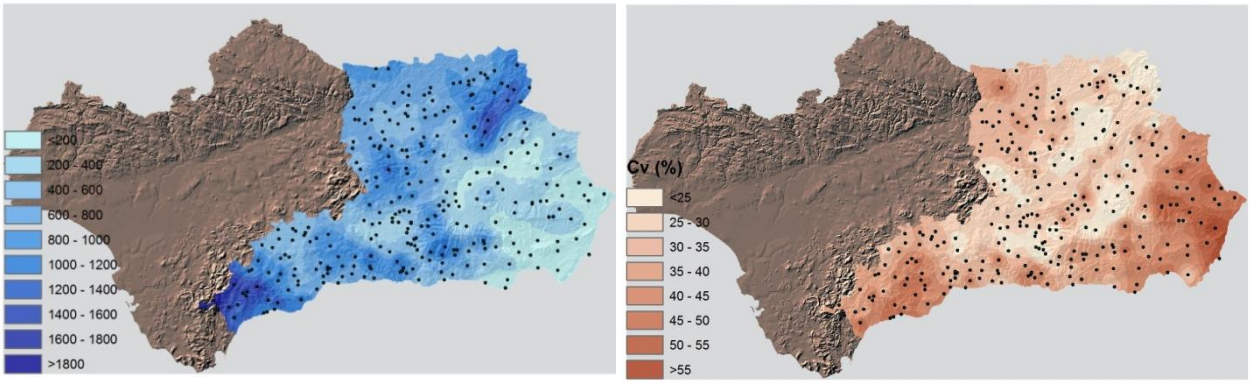
Para analizar la tendencia de la precipitación media anual en la región, se obtuvo la serie temporal de la precipitación media regional estimando cada año la media aritmética de la precipitación anual de las 286 estaciones consideradas (Figura 2). La precipitación media anual en la región varía entre 278,9 mm en el año 2005 y 946,4 mm en el año 1996, siendo la media regional para el periodo de estudio de 536,2 mm.

Figura 2.Precipitación media en la región y variabilidad interanual



La región presenta una desigual distribución espacial de la precipitación media (Figura 3a), variando entre 193,9 mm (Estación 6371Huercal-Overa) y 1858,8 mm (Estación 6039 Cortes de la Frontera), correspondiendo las zonas más áridas al sureste de la provincia de Almería y las más húmedas al oeste de la provincia de Málaga (Serranía de Ronda) y al noroeste de la provincia de Jaén (Sierra de Segura). Además de la irregular distribución espacial, la precipitación muestra una gran variabilidad interanual. La variabilidad interanual de la precipitación media en la región es alta con un coeficiente de variación del 27,8 %. La Figura 3b muestra la distribución espacial del coeficiente de variación de la precipitación anual a escala de estación individual, variando entre 25,2 % (Estación 5124 Gor, Granada) y 56,3 % (Estación 6339 Los Gallardos, Almería). Puede observarse como la mayor variabilidad interanual de la precipitación se presenta en la zona este de Almería y en la zona sur de Málaga.

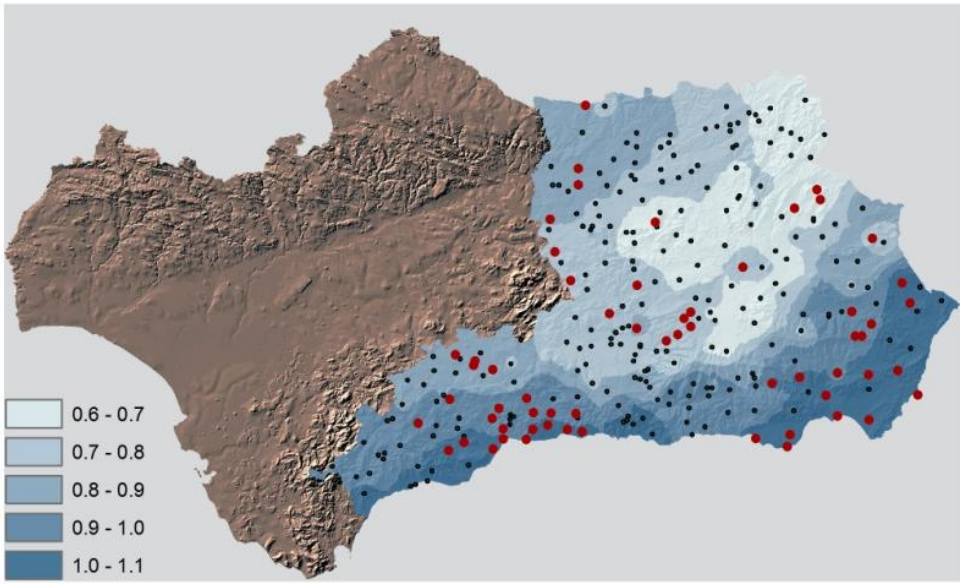
Figura 2.Variabilidad espacial de la precipitación media anual de la región



4.2. *Índice de estacionalidad según Walsh y Lawler*

Se obtuvieron las series temporales de los índices de estacionalidad anuales SI_i de cada una de las 286 estaciones de la región a partir de los valores de las precipitaciones mensuales en cada uno de los observatorios en el periodo 1945 – 2005 como se indica en la metodología. De cada una de las series temporales se estimó, en cada estación, el valor medio de este índice, SI_i, y se representó su variabilidad espacial (Figura 4), que oscila entre 0,678 (régimen de lluvia estacional) en la estación 7054 Salto de Millar (Jaén) y 1,058 (la mayor parte de la precipitación en menos de 3 meses) en la estación 6339 Los Gallardos (Almería), con valor medio en la región de 0,839 (régimen de lluvia marcadamente estacional con un largo periodo seco). Puede observarse como la mayor estacionalidad se presenta a lo largo de la costa mediterránea y la menor estacionalidad en el noroeste de la provincia de Granada y la Sierra de Segura en Jaén.

Figura 4. Variación espacial del índice SI_i de Walsh-Lawler para el periodo 1945-2005 (Los puntos rojos indican estaciones con tendencia creciente del *SI*)



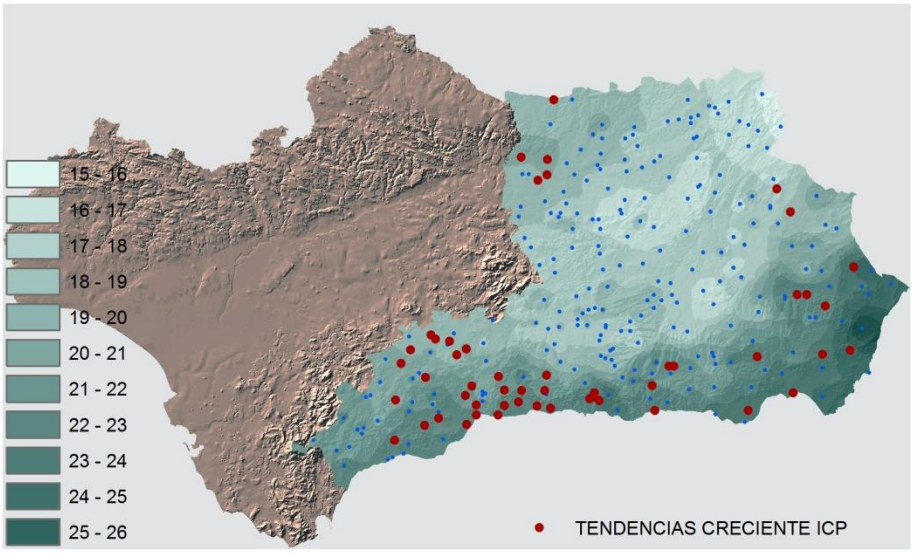
No se ha observado ninguna correlación entre los valores de la precipitación media anual de las 286 estaciones de la región y los correspondientes valores medios SI_i. Esto puede explicarse por el hecho de que los valores de los índices SI_i representan únicamente la variabilidad interanual de la lluvia.

4.3. *Índice de Concentración de la Precipitación (ICP)*

Análogamente a como se hizo con el índice de estacionalidad de Walsh-Lawler, se procedió a obtener las series temporales de los valores anuales del *ICP* en cada una de las 286 estaciones de la región y en cada uno de los años de la serie 1945 – 2005, según la expresión (3) de la metodología. De cada una de las 286 series temporales se estimaron los valores medios y se representó su variabilidad espacial (Figura 5), oscilando esta variabilidad entre 14,8 (estacionalidad en la distribución de la precipitación) en la estación 7054 Salto de Millar (Jaén) y 1,058 (significativa variabilidad mensual de la precipitación) en la estación 6339 Los Gallardos (Almería), coincidiendo ambas estaciones con las señaladas por el índice de Walsh-Lawler. El

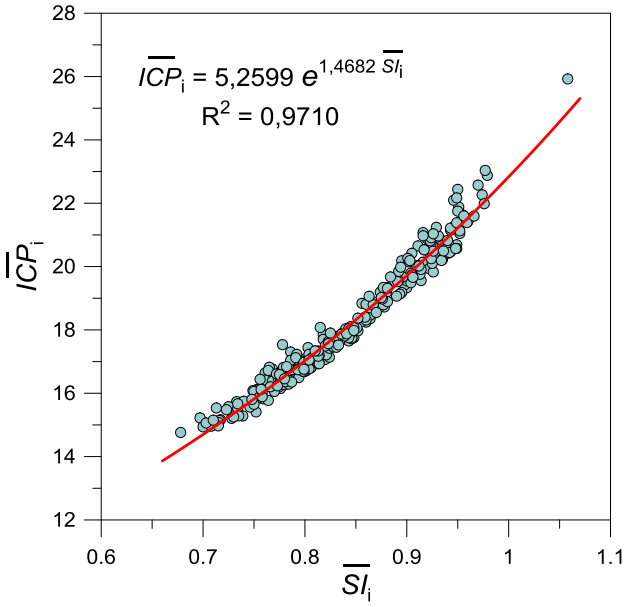
valor medio del ICP_i para la región es 18,14 (régimen de lluvia estacional). Según este índice la mayor concentración de la precipitación se presenta, también, a lo largo de la franja de la costa mediterránea, siendo más acentuada en la parte oriental, coincidiendo con los resultados obtenidos con el índice de Walsh-Lawler.

Figura 5. Variación espacial del ICP_i para el periodo 1945-2005 (los puntos rojos indican estaciones con tendencia creciente del *ICP*)



La concordancia entre estos dos índices se pone de manifiesto en la excelente correlación que existe entre ambos (Figura 6).

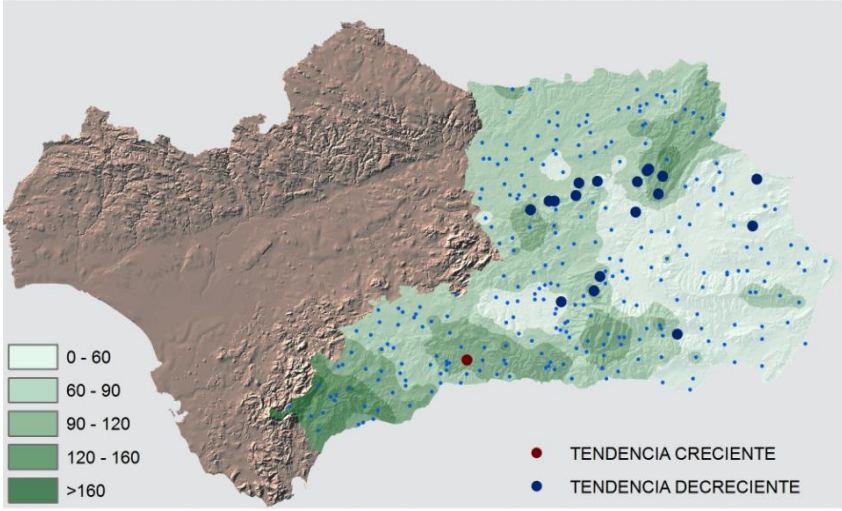
Figura 6. Relación entre los índices ICP_i y SI_i



4.4. *Índice Modificado de Fournier de erosividad de la lluvia (IMF)*

Finalmente, se obtuvieron las series temporales de los IMF_i de erosividad de la lluvia en cada una de las estaciones durante el periodo analizado

Figura 7. Variación espacial del IMF_i para el periodo 1945-2005 (los puntos rojos indican estaciones con tendencia creciente del *IMF*, y los puntos azules estaciones con tendencia decreciente del *IMF*)



La Figura 7 muestra la variabilidad espacial del valor medio del IMF_i individual a través del territorio de la región, variando entre 43,0 (erosividad de la lluvia notablemente baja) en la estación 6325OAlmería-Aeropuerto y 363,1 (erosividad muy alta) en la estación 6039 Cortes de la Frontera de la serranía de Ronda (Málaga), siendo la media de la región 94,6 (erosividad moderada). Puede observarse como las zonas de mayor riesgo de erosión por la agresividad de la lluvia se presentan en la serranía de Ronda, Montes de Málaga, Axarquía, sierra Nevada y sierra de Segura.

4.5. *Análisis de tendencias de la precipitación media anual y de los valores anuales de los índices SI_i, ICP_i e IMF_i*

Calculados los valores anuales de la precipitación media en la región, y los valores anuales de los índices de estacionalidad SI_i de Walsh-Lawler, ICP_i e IMF_i, en el periodo 1945-2005, en cada una de las estaciones, se procedió a analizar la existencia de tendencias en las series temporales correspondientes mediante el test no paramétrico de Mann-Kendall,realizando las pruebas con un nivel de significancia del 5 %, según la metodología expuesta en el apartado 3.4.

Respecto a la serie temporal de los valores anuales de la precipitación media en la región (Figura 2) no se detectó tendencia significativa al aceptarse la hipótesis nula H_0 de no existencia de tendencia monotónica. Respecto a los tres índices considerados en este estudio, se detectaron que algunas series temporales de los valores anuales de los correspondientes índices mostraban tendencias estadísticamente significativas (nivel de significancia α = 0,05).

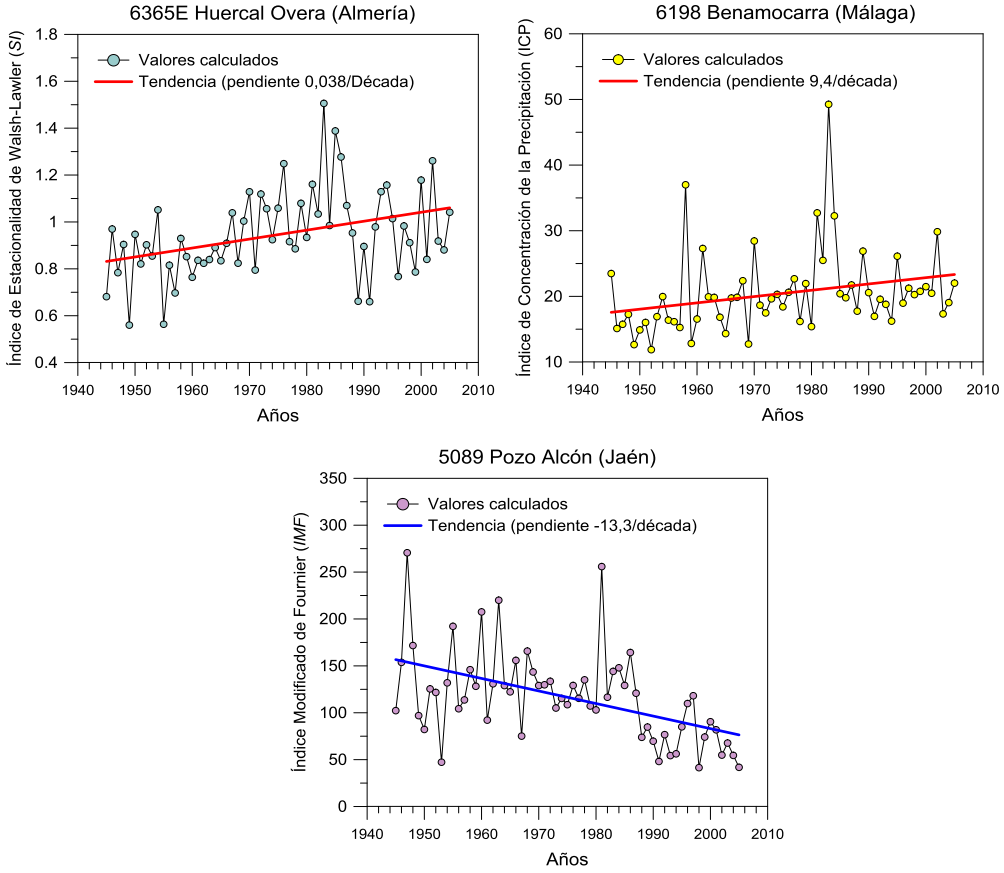
En las Figuras 4, 5 y 7 se muestran las estaciones, marcadas con puntos más gruesos, en las que se han detectado tendencias estadísticamente significativas. Referente a la estacionalidad de la precipitación determinada por el índice de Walsh-Lawler, puede observarse (Figura 4) que 64 estaciones muestran una tendencia creciente de la estacionalidad, emplazándose estas estaciones, por lo general, en las zonas que mayor estacionalidad presenta el régimen de lluvias. Corresponde a la provincia de Málaga el mayor número de estaciones donde se está produciendo este aumento de la estacionalidad de la lluvia, seguida de la provincia de Almería, provincias que presentan la mayor variabilidad interanual de la precipitación media (Figura 2b).

En la Figura 5 pueden observarse las 52 estaciones que presentan tendencia creciente, estadísticamente significativa, del índice de concentración de la precipitación *ICP.* El patrón espacial de la ubicación de estas estaciones es similar al mostrado en el índice de Walsh-Lawler, correspondiendo a Málaga la provincia con mayor número de estaciones en que el *ICP* está aumentando y consecuentemente aumentando la concentración de la precipitación.

Por último, la erosividad de la lluvia, representada por el *IMF* (Figura 7), está disminuyendo en 18 estaciones, emplazadas en las provincias de Jaén (12), Granada (3) y Almería (3), y aumentando en la estación 6194 Comares de la provincia de Málaga.

En la Figura 8 se representan tres casos de las tendencias de los tres índices estudiados.

Figura 8. Tendencias de los índices *SI*, *ICP* e *IMF* en tres estaciones de la región



5. Conclusiones

Se han analizado las características espaciales y temporales de la precipitación media anual en la región de Andalucía Oriental, además de la estacionalidad y el potencial erosivo del régimen de lluvias con los datos de precipitación mensual de 286 estaciones pluviométricas distribuidas por la región durante el periodo 1945 a 2005. La estacionalidad de la lluvia se ha caracterizado mediante dos índices: a) el índice *SI* propuesto por Walsh y Lawler (1981), y b) el índice *ICP*, de concentración de la precipitación propuesto por Oliver (1980); y la erosividad de la lluvia mediante el índice modificado de Fournier, *IMF*, propuesto por Arnoldus (1980). Los tres índices se han evaluado en cada estación individualmente año a año para estudiar su evolución temporal y existencia de tendencias.

La precipitación media anual en la región presenta una fuerte variabilidad interanual, así como una desigual distribución espacial. El punto más lluvioso presenta una precipitación media anual de 1858,8 mm (estación 6039 Cortes de la Frontera),y el más árido 193,9 mm (estación 6371 Huercal-Overa). No se ha detectado ninguna tendencia, estadísticamente significativa en la evolución temporal de la precipitación media de la región en el periodo analizado.

Se ha detectado una fuerte estacionalidad de la lluvia en la franja costera mediterránea y zona oriental de Almería, donde se incluyen las áreas más húmedas y áridas, respectivamente, de la región, confirmada por ambos índices, de Walsh-Lawler y de concentración de la precipitación.

En 64 estaciones, según el índice de estacionalidad *SI* de Walsh-Lawler, y 52 observatorios, según el *ICP*, distribuidos, principalmente, por las zonas de mayor estacionalidad, se han detectado tendencias crecientes de estos índices, lo que viene a corroborar un aumento de la estacionalidad y concentración de la precipitación en el contexto de cambio climático.

Finalmente, se ha analizado la distribución espacial de la erosividad de la lluvia mediante el *IMF*, observándose que las zonas de mayor riesgo de erosión corresponden a las zonas más húmedas (serranía de Ronda, zona de la Axarqía de Málaga, sierra Nevada y sierra de Segura) de Andalucía Oriental. En 18 estaciones de la región, principalmente emplazadas en áreas de alta erosividad, se ha detectado una tendencia decreciente del *IMF*, y solo en 1 estación, la 6194 Comares, emplazada en las estribaciones de los Montes de Málaga, se ha detectado una tendencia creciente, estadísticamente significativa, de la erosividad de la lluvia en el periodo estudiado.

6. Referencias

.Apaydin, H., Erpul, G., Bayramin, I., y Gabriels, D.: Evaluation of indices for characterizing the distribution and concentrationof precipitation: A case for the region of Southeastern Anatolia Project, Turkey, *J. Hydrol*., 328, 726–732, 2006.

Arnoldus HM. 1980. An aproximation of the rainfall factor in the universalsoil loss equation. In Assessment of Erosion, De Boodt M, Gabriels D(eds). John Wiley and Sons, Inc.: Chichester; 127–132.

Bello N.J., 1998. Evidence of climate change based on rainfall records in Nigeria. *Weather* 53: 412–418.

M. De Luis M., J. C. González-Hidalgo, M. Brunetti, y L. A. Longares, 2011. Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*., 11, 1259–1265.

Elagib N.A., 2011. Changing rainfall, seasonality and erosivity in the hyper-arid zone of Sudan.*Land Degrad. Develop*. 22: 505–512

Fournier H. 1960. Climatet erosion. PressesUniversitaires de France. Paris.

García-Marín, A.P. 2008. *Análisis multifractal de series de datos pluviométricos en Andalucía.* Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. 175 p

González-Hidalgo J.C., M. Brunetti y M. de Luis, 2011.A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945-November 2005), *Int. J.Climatol.* 31:715-731

Jung I-W, D.H.Baeand y G. Kim, 2011.Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea,*Int. J.Climatol.*31: 359–370.

Kahya E. y S.Kalayci, 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey, *J. Hydrol.*289: 128–144.

Kendall M.G., 1975.Rank Correlation Methods, Ed, Charles Griffin, London.

Livada I. y D.N. Asimakopoulos, 2005. Individual seasonality index of rainfall regimes in Greece, *Climate Research*, 28: 155–161

Mann H.B., 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrica*,13, 245-259.

Oguntunde P.G., B.J. Abiodunand y G.Lischeid, 2011. Rainfall trends in Nigeria, 1901–2000, *J.Hydrol.* 411: 207–218.

Oliver JE. 1980. Monthly precipitation distribution: A comparative index.*Professional Geographer* 32: 300–309.

Nunes A.N., L. Lourenço, A. Vieira y A. Bento-Gonçalves, 2014. Precipitation and Erosivity in Southern Portuga:l Seasonal Variability and Trends (1950-2008). Land Degrad. & *Develop.*(2014) DOI. 10.1002/ldr.2265

Rougé C, Y.Ge y X.Cai, 2013. Detecting gradual abrupt changes in hydrological records, *Adv. Water Resour*, 53: 33-44.

Shadmani M., S.Marofiand y M.Roknian, 2012.Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran, *Water Resour Manage*,26:211–224.

Sumner G, V. Homar y C. Ramis, 2001. Precipitation seasonality in eastern and southern coastal Spain. *Int. J.Climatol*. 21:219–247.

Vanderlinden K. 2001. *Análisis de procesos hidrológicos a diferentes escalas espacio-temporales.* Tesis doctoral. Universidad de Córdoba. 303 p

Walsh P.D. y D.M. Lawler, 1981**.**Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time, *Weather* 36: 201–208.

Yue S., P. Pilon, B.Phinneyand y G. Cavadias, 2002.The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series, *Hydrologycal Processes*, 16: 1807-1829.

04-022

REVIEW OF OPTIONS FOR SOLVING PROBLEMS OF FRAZIL ICE IN INDUSTRIAL WATER INTAKES

Luiña Fernández, Rocío [1]; Vigil Berrocal, Miguel Ámgel [1]; Mesa Fernández, José Manuel [2]; Fernández Iglesias, Ana [3]

[1] Universidad de Oviedo, [2] Universidad de Oviedo. Area de Proyectos de Ingeniería, [3] ArcelorMittal

Most of the major industrial processes require the use of water as well for cooling or process water. In cold regions the existence of ice is very common in rivers and lakes along large winter seasons. Even with underwater shots, their presence becomes a problem when supercooling appears. Frazil ice grows rapidly and adhere to the grids coming to clog the pipe systems that feed hydroelectric facilities such as plants, factories or even municipal supplies. This phenomenon results in severe problems including the closure of the plant affected. Over the years there have been different solutions, but there are no magic bullets to prevent these situations, just a combination of measures in every particular case that would achieve the best possible result may be adopted .In this paper we review the main aspects of the problem of the generation of ice crystals in certain industries , an analysis of causes, possible solutions and use cases.

Keywords: *Frazil Ice; water intakes; industrial processes*

REVISIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE CONGELACIÓN DE AGUA EN ACOMETIDAS INDUSTRIALES

La mayor parte de los grandes procesos industriales requieren el uso de agua bien para refrigeración o como agua de proceso. En las regiones frías la existencia de hielo es muy común en ríos y lagos a lo largo de grandes temporadas de invierno. Aún en tomas submarinas, su presencia se convierte en un problema al aparecer el superenfriamiento, cristales de hielo que se multiplican rápidamente. Éstos se adhieren a las rejillas llegando a tupir los sistemas de conducción que alimentan instalaciones como centrales hidroeléctricas, fábricas o incluso suministros municipales. Este fenómeno se traduce en graves molestias que incluyen el cierre de la planta industrial afectada. A lo largo de los años se han dado diferentes soluciones, pero no existen técnicas evidentes para prevenir estas situaciones, si no que en cada caso particular podrá adoptarse una combinación de medidas que permita alcanzar el mejor resultado posible. En este trabajo se realiza una revisión de los principales aspectos del problema que supone la generación de cristales de hielo en determinadas industrias, un análisis de causas, posibles soluciones y casos de aplicación.

Palabras clave: *supercongelación; tomas de agua; procesos industriales*

Correspondencia: José Manuel Mesa Fernández mesa@api.uniovi.es

1. Introducción

Es muy común de las regiones más frías, y que sufren duros y gélidos inviernos, que sus ríos y lagos se congelen, no sólo a nivel superficial, sino que incluso llegan a aparecer cristales de hielo (*frazil ice*) en las profundidades de los mismos. Como consecuencia de este fenómeno, la tomas de agua de diferentes instalaciones (centrales hidroeléctricas, fábricas, o incluso suministros municipales de agua) pueden verse afectadas. En algunos casos simplemente se reduce a molestias temporales, pero en otras ocasiones, la congelación de estas tomas de agua pueden resultar catastróficas, como sería el caso del cierre de una planta nuclear (Richard & Morse 2008).

Este fenómeno viene ocurriendo desde hace muchos años, de hecho, se tiene constancia de estos hechos desde el mismo momento en que se instalan las tomas de agua industriales y municipales en ríos y lagos (Kempema & Ettema 2013). Por ejemplo, en 1.914, toda la ciudad de San Petesburgo se vio afectada por un corte completo en el suministro de agua como consecuencia de la obstrucción de las conducciones por cristales de hielo. Por lo tanto, se trata de un problema muy serio que requiere de soluciones eficaces y que sin embargo, a día de hoy no existe ninguna solución definitiva, tan sólo la recomendación de que aquellas instalaciones ubicadas en regiones susceptibles de sufrir estos contratiempos deben tomar todas las medidas de prevención y control durante los meses más fríos del año.

El problema no radica tanto en que haya presencia de hielo como en la forma en la que se produce y acumula. Es decir, la obstrucción de las tomas de agua se genera cuando determinadas condiciones del entorno favorecen la formación de pequeños cristales de hielo con alta capacidad de adherencia que se pegan a las rejas o bastidores de dichas tomas de agua dando lugar a un rápido crecimiento que suele terminar, de forma irremediable, en el encapsulamiento total de la entrada de la conducción. Esto supone una barrera física a la entrada de agua, por lo tanto, si se tratara de una central nuclear, se quedaría sin agua de refrigeración y por lo tanto, no podría seguir operando.

El proceso de formación y, principalmente, de acumulación de acumulación de cristales se da cuando la temperatura del agua que entra en la toma desciende hasta alcanzar temperaturas inferiores a las de congelación, se dice entonces que el agua de entrada sufre un sobre-enfriamiento. Este fenómeno ocurre cuando la masa de agua sufre una pérdida de calor importante. Es entonces cuando aparecen pequeños cristales o láminas de hielo que se adhieren a cualquier objeto con el que entren en contacto y que se encuentra a una temperatura negativa. Otro factor que agrava el problema es el hecho de que las conducciones de agua tienen un acceso limitado y sufren cambios de presión que suponen el inicio del bloqueo (Ettema, Kirkil & Daly 2009).

2. Objeto

Este documento presenta una revisión de los principales aspectos referentes a la formación de cristales de hielo en entornos industriales, incluyendo el análisis de las causas, las posibles soluciones y casos de aplicación.

Por lo tanto, se analizarán las condiciones ambientales que deben darse para que tenga lugar la formación de estos cristales de hielo y el crecimiento de los mismos en climas fríos. También se hará un repaso por los diferentes instrumentos de detección disponibles para tener la posibilidad de atajar el problema antes de que sea demasiado tarde.

El objetivo, por tanto, es ofrecer una recopilación de las distintas soluciones disponibles en el mercado con el fin de ser utilizada como información de base para el estudio de casos

específicos, permitiendo así el diseño de una solución eficaz para una instalación específica de la que se conocen todos los detalles y condiciones de operación.

3. Descripción del problema

Los sistemas de transporte en las latitudes norte sufren el bloqueo del hielo como consecuencia de pequeños cristales activos que se adhieren es las estructuras sumergidas y entran en un proceso de crecimiento que llega a encapsular completamente la toma de agua. El proceso se podría ver acelerado, ya que cuando se inicia el bloqueo, la pérdida de calor aumenta. Una vez encapsulada la estructura es muy difícil liberarla, ya que el hielo no se romperá a pesar de que el agua circundante no esté sobre-enfriada. Se hace necesario, entonces, romper mecánicamente el hielo o bien derretirlo.

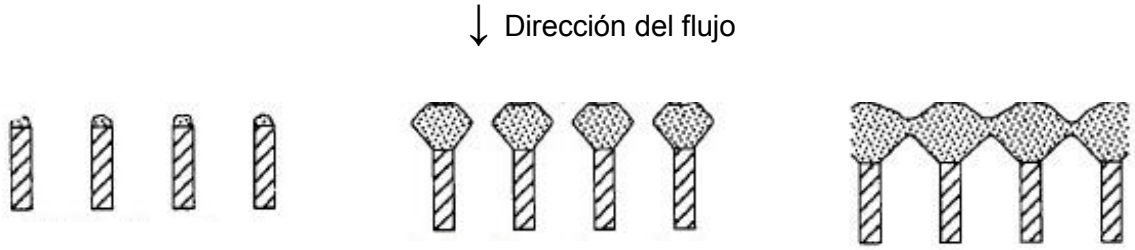
3.1. Formación de los cristales de hielo

La aparición de cristales de hielo ocurre en aquellos tramos turbulentos de lagos y ríos que sufren temperaturas negativas y donde no se da la formación de una capa de hielo que sirva de aislante térmico. Esto hace que exista una pérdida de calor desde la masa de agua hacia la atmósfera y que comience la formación de los cristales de hielo (Kempema, Stiver & Ettema 2011). Una vez formados, éstos cristales tendrán una fuerte tendencia tanto a la cohesión entre sí, como a los materiales del fondo, provocada por un agua circundante sobre-enfriada

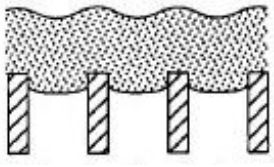
No existe una definición clara sobre el tamaño de los cristales de hielo que se forman en el agua generando el problema del taponamiento de las tomas de agua, pero la mayoría de los informes y artículos publicados en los últimos años concluyen que son cristales de entre 0,1 y 1 mm de diámetro, y que pueden alcanzar hasta 1 cm de diámetro (Richard & Morse 2008). Una vez formadas estas partículas en un agua sobre-enfriada, se adhieren entre si formando flóculos que suben a la superficie, o bien se acumulan en objetos sumergidos (Beltaos et al. 2011).

Uno de los problemas asociados con los sistemas de transporte y los cristales de hielo en las tomas de agua tiene que ver con la acumulación de partículas en las rejas de éstas. Las tomas cuentan con rejas que funcionen a modo de filtro evitando que entre basura o escombros en la conducción. Las partículas activas de hielo se adhieren a estas estructuras formando rápidamente puentes que favorecen un crecimiento exponencial del encapsulado de hielo. Esto hace que cada vez sea necesario bombear con más fuerza, hasta que finalmente ya no es posible suministrar agua porque la entrada está completamente tupida. (Ashton) (Kempema & Ettema 2013) (Daly & Rand 1991).

Figura 1. Patrón de acumulación de cristales de hielo en las rejas de las tomas de agua (Daly & Rand 1991).

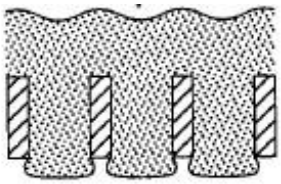


a. Comienzo de la formación



b. Deposición de cristales de hielo en el borde frontal

c. Crecimiento de los puentes de hielo



d. Extrusión del hielo entre barras debido a la diferencia de presión

e. Extrusión masiva a través de las barras y continua deposición de hielo

3.2. Factores de influencia

La formación de estos cristales requiere de una serie de condiciones, como es el hecho de que no exista radiación solar que pueda aportar calor a la masa de agua, pérdida de calor por radiaciones de onda larga, evaporación y la falta de una capa de hielo en la parte superficial (Daly 1994). Además, su aparición suele estar relacionado con masas de agua abiertas y noches claras. (Ettema, Kirkil & Daly 2009). La cantidad de cristales de hielo será proporcional a la tasa y duración de las pérdidas de calor hacia la atmósfera a las que se ve expuesta el agua (Ashton).

Una vez formados los cristales, si las condiciones son favorables, van creciendo en tamaño al ir adhiriéndose unas a otras. Sin embargo, si la turbulencia aumentara, comenzarían a romperse volviendo al estado de suspensión.

La velocidad se presenta entonces como un factor determinante, de tal modo que un aumento de la misma, y como consecuencia de la turbulencia, disminuiría la presencia de hielo. Sin embargo, en aquellas zonas de canales o conducciones que suponen una constricción, la velocidad disminuiría a valores inferiores a 0.6 m/s, lo mismo que la turbulencia. Esto supondría la acumulación de los flóculos de hielo que podrían llegar a formar una capa de hielo continua. Una vez superado el codo, le velocidad volvería a aumentar y las partículas de hielo serían transportadas aguas abajo bajo la cubierta a la cual se puede ir adhiriendo para llegar a formar como una presa que suponga el bloqueo total del cauce y por lo tanto exista un riesgo de inundación (Beltaos, S. et al., 2011).

No obstante, el principal factor a considerar, es la disminución del punto de congelación con un incremento de la presión. Variación de la presión puede retrasar o acelerar la congelación, y puede reconstituir trozos de hielo que pasan a través de los conductos con agua a presión. En (Ettema, Kirkil & Daly 2009) se concluye que un incremento de presión de aproximadamente 1 MPa disminuye la temperatura de congelación del agua en 0.074ºC. En conducciones cerradas., asociadas a compuertas hidráulicas, bombas, sifones y túneles, es común que aparezcan cambios de presión de entre 0 y 2 MPa. Además, hay que tener en cuenta que una diferencia de elevación en la conducción de 100 m produce una diferencia de presión de aproximadamente 1 Mpa.

Otro punto importante es el hecho de saber si los cristales de hielo presentes en el agua están en estado activo o pasivo. Se sabe que los cristales de hielo están activos en presencia de una gran pérdida de calor desde el agua hacia el aire frío y cuando no existe una capa de hielo suficientemente gruesa que frene esta pérdida de calor. Durante las noches frías de invierno con temperaturas inferiores a 6ºC, con poca humedad en el ambiente y con viento, el agua de las capas más superficiales se sobre-enfría generando una cierta turbulencia en la masa de agua que enfría la columna de agua por debajo del punto de congelación favoreciendo la aparición de los cristales de hielo. Las partículas de hielo que se encuentran en suspensión comienzan a multiplicarse y se van adhiriendo a

cualquier objeto que encuentren en su camino y que se encuentre a una temperatura inferior. Se habla entonces de partículas de hielo en estado activo (Kempema, Stiver & Ettema 2011).

Por otro lado, hay otros cristales de hielo suspendidos que se consideran en estado pasivo. Esto se debe a que las altas concentraciones de hielo en la superficie favorece la formación de esa capa aislante que modifica las condiciones térmicas del agua y de los intercambios de temperatura con la atmósfera generando la inactivación de las partículas de hielo. Es decir, estos cristales pierden su capacidad de adherencia entre sí y a los objetos (Ashton). Por lo tanto, cuando se encuentran en estado pasivo no producen tanto daño como si estuvieran en estado activo, ya que pueden ser arrastrados por el agua sin adherirse a ninguna estructura. Sin embargo, no deja de ser objeto de preocupación, ya que en aquellos puntos del flujo de agua en los cuales la presión disminuye, puede activarse nuevamente, siempre y cuando el agua se encuentra sobre-enfriada, pudiendo adherirse a la propia estructura (Ettema, Kirkil & Daly 2009).

4. Efecto de cristales de hielo en sistemas de transporte de agua

Los sistemas de transporte de agua se refieren a canalizaciones abiertas de agua unidos a conductos presurizados como pueden ser líneas de bombeo, compuertas, sifones y túneles que conducen agua a través del terreno. Son sistemas en los cuales es muy común que existan variaciones de presión y por lo tanto, se altere el punto de congelación del agua.

4.1. Turbinas hidroeléctricas y tubos de aspiración

Al paso del agua a través de la turbina, la presión decrece drásticamente incrementado la temperatura de congelación del flujo que sale de la turbina. La combinación del agua sobre-enfriada y las partículas de hielo suspendidas es inestable, ya que ocasionalmente el agua absorbe el calor latente de fusión del hielo y aumenta el nuevo punto de congelación. Los nuevos cristales de hielo suspendidos en el agua sobre-enfriada pueden adherirse entre sí y a los componentes de la turbina o bien ser arrastrados aguas abajo. Si la concentración de los mismos es alta y a su vez, el flujo de agua es pequeño, el hielo congestionará la masa de agua acumulándose temporalmente en la turbina e incluso llegando a bloquear el paso del agua a través de la turbina.

La longitud e inclinación de una tubería de carga desempeña un papel importante con respecto al enfriamiento. Para una caída determinada, la inclinación determinará una mayor o menor longitud, influyendo en el tiempo de transporte del agua durante el cual puede ser sobre-enfriada. Por lo tanto, para unas mismas condiciones, una mayor longitud del canal produce más cristales de hielo.

4.2. Líneas de bombeo

Cuando el agua pasa a través de una bomba, la presión aumenta rápidamente en la cabeza pero se reduce a lo largo del flujo de agua. La temperatura de congelación cae a medida de la pendiente hidráulica aumenta en la tubería pudiendo llegar a derretir el hielo existente. El sobre-enfriamiento de la masa de agua depende de que haya suficiente tiempo para enfriar dicho agua. A medida que la pendiente hidráulica disminuye, las posibilidades de que aparezcan cristales de hielo aumentan si el agua está sobre-enfriada. El volumen de cristales formados será el mismo que el de hielo derretido y dependiente de las pérdidas de calor a través de las paredes de la conducción. Cuando el agua se sobre enfría, los cristales se activan pudiendo aglomerarse en trozos, fóculos o en aguanieve que puedan adherirse a las tuberías. Esto generaría un aumento de la resistencia ejercida por la bomba, sin embargo, el calor emitido por la bomba sería capaz de reducir la concentración de hielo.

4.3. Sifones

Los sifones invertidos son comunes en terrenos montañosos. Tienen forma de U. Los cambios de presión derivados de esta forma es lo que genera diferentes temperaturas de congelación en pequeñas líneas de descarga. Al paso del agua a través del sifón, parte de los cristales que pudieran existir se van depositando tras superar el primer codo, momento en el cual la tanto la velocidad como la presión disminuyen haciendo más probable la formación y por tanto la deposición de cristales. Por lo tanto, a mayor longitud de la sección inferior, mayor probabilidad de taponamiento por cristales de hielo que aumenta la resistencia al paso del flujo de agua

La circunstancia más probable en la cual aparece el bloqueo por cristales de hielo se da cuando existe una concentración de hielo justo por debajo de la necesaria de forma que el agua se enfría hasta el punto de congelación pero sin llegar a congelar. Es justo en ese momento cuando el hielo empieza a derretirse como consecuencia de las condiciones de presión y el agua sigue enfriando hasta alcanzar el grado de sobre-enfriada. Entonces, aparecen nuevamente los núcleos formadores de cristales de hielo que pueden llegar a adherirse a toda la estructura bloqueándola completamente.

4.4. Túneles de desvío

En los túneles no se experimentan los mismos aumentos de presión que tienen lugar en otras conducciones tipo tuberías o sifones. La mayoría de los túneles tienen una caída relativamente modesta, a menos que se trate de túneles que incluyan caídas completamente verticales. Además, la temperatura de las paredes de la conducción, si está al máximo de capacidad, llega a superar temperaturas de congelación y calienta los flujos de agua. Sin embargo, en los túneles también pueden ocurrir problemas importantes como el bloqueo de las rejas, acumulación de trozos de hielo a la deriva y acumulación de cristales formados por la turbulencia del flujo en la entrada.

5. Instrumentos para su detección

El problema del bloqueo por hielo comienza a una temperatura de -2ºC, si las condiciones atmosféricas son adecuadas, es decir, noches claras con gélidas temperaturas y marea menguante. De no ser éstas las condiciones, sería necesario que el agua estuviera a temperaturas mucho más frías, del entorno de los -14ºC. Sin embargo, una vez formados los cristales de hielo estos pueden permanecer activos por más o menos tiempo Todo dependerá de las condiciones de entorno. Por ejemplo, cuando la marea sube trae consigo corrientes de agua “templada” (0ºC o superior), lo cual permite que las partículas de hielo se inactiven o incluso se derritan (Richard & Morse 2008). No obstante, en (Richard et al. 2009) se concluye que el factor determinante es la concentración de cristales suspendidos en el agua, mientras que la temperatura y otras condiciones de entorno son menos trascendentes.

Por lo tanto, una detección eficaz, así como las características de los cristales de hielo, permitirán tomar las decisiones más adecuadas en cuanto a procedimientos. Según (Marko & Jasek 2008), tanto la temperatura del aire como la velocidad del flujo son los factores más importantes que afectan a la formación de hielo durante los periodos de congelación. El intercambio de calor entre la lámina de agua abierta y la atmósfera es la primera causa que genera un descenso de la temperatura del agua y es dependiente de la radiación de onda corta, de la radiación de onda larga, de la evaporación o condensación, de la convección y de la precipitación. Por lo tanto, la tasa de transferencia de calor por área se puede calcular según los principios meteorológicos e hidrotérmicos. De esta forma se puede concluir que conociendo la tasa de pérdida de calor y las corrientes hidráulicas, es posible predecir la temperatura del agua y, por lo tanto, cuando la formación de hielo será más inminente (temperaturas del entorno de 0).

Por ejemplo, en (Giffen 1973), una instalación eléctrica controla la temperatura del agua mediante un sensor. Una vez que detecta que las condiciones del agua son las requeridas para la formación de cristales de hielo le indica al operador que ha de activar las el sistema de calefactado de la reja de la toma de agua.

5.1. Sonar

Está demostrado que es posible detectar y cuantificar por señales acústicas la presencia de cristales de hielo, así como sus sensibilidad a los factores ambientales. El origen de esta técnica se encuentra en la detección de trozos de hielo marinos. Existen diferentes opciones. SWIPS (Shallow Water Ice Profiler Sonar) es un programa de monitorización de hielo en aguas poco profundas. Los cambios de frecuencia acústica permiten distinguir los cristales activos y los inactivos, pero además, la gran ventaja de de este aparato es que permite mantener los componentes completamente aislados y resguardados en un lugar cercano a la costa, donde todos los datos que recoja quedarán almacenados y a salvo. (Marko & Jasek 2008). Otra versión de esta forma de detección es el Upward-looking Ice Profiling Sonar (IPS4) que tiene la característica especial de poder grabar perfiles verticales de eco acústico. Una tercera opción sería, Broadband Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) que mide perfiles actuales. Para obtener imágenes acústicas y ópticas en tiempo real es necesario utilizar Remote Operate Vehicle equipado con potentes focos, cámara y un sonar de imagen de alta definición (Richard et al. 2009). Otro prototipo es Swallow Water Ice Profiling Sonar (SWIPS), desarrollado por ASL Environmental Sciences para medir las propiedades del hielo en ríos. Se implementa en el lecho del río, desde donde transmite señales acústicas en la columna de agua. La intensidad de la señal reflejada está relacionada con el tamaño y el número de los objetos presentes (Riad et al. 2010).

5.2. Laser Doppler Velocimeter (LDV)

Utiliza un sistema óptico que trabaja junto con circuitos electrónicos especialmente diseñados. Se contabilizan de forma continua el número de pulsos que se producen por la presencia de partículas de cristales de hielo que se encuentran en el área de sensibilidad por unidad de tiempo y el circuito de detección de velocidad determina la velocidad del flujo. Estas dos mediciones permiten una calibración constante para conocer la concentración de hielo cristalizado.

5.3. Detección remota de movimiento de hielo.

Los tramos de movimiento más lento de los ríos están controlados por procesos térmicos donde el agua sufre una trasferencia de calor hacia la atmósfera que puede generar cristales de hielo en aquellas aguas sobre-enfriadas y abiertas. Por lo tanto, se hace muy importante conocer cuándo se produce la rotura de la capa de hielo. El sistema proporciona una vigilancia continua de esta capa de hielo y del movimiento del hielo en el río. (US Army Corps of Engineers 2000) consiste en un par de sensores anclados a la cubierta de hielo y conectados a una fuente de tensión capaz de leer la tensión de retorno. Éste sistema se conecta a una plataforma de recolección de datos por satélite situada en un medidor USGS que retransmite datos cada 4 horas.

5.4. Otros

En la observación de las condiciones de formación del hielo se utilizan también grupos de instrumentos instalados en plataformas de acero que permiten una recopilación más exhaustiva de datos. Junto con los sonar descritos y el LDV, existen sensores como el Optical Backscatter Sensor (OBS-3) que mide los sólidos suspendidos y la turbidez de la columna de agua mediante métodos de retrodispersión óptica. También cuentan con

termopares, de los cuales THX- 400-NPT es el más preciso, estaciones meteorológicas y cámaras. (Richard & Morse 2008)

Por otra parte, existen varios instrumentos de detección desarrollados en los 90 que son, en general, bastante sencillos y baratos. Por ejemplo un detector de cristales de hielo subacuático, que se sitúa en el canal y simula ser una reja de la toma de agua. Cuando aparece el hielo, la presión de la tasa de flujo cambia y tras la detección de este cambio se activa el sistema de alarma. (Daly & Rand 1991). Muy similar es el método que detecta el crecimiento de hielo mediante la colocación de dos placas separadas de un condensador que se sumergen cerca de la toma de agua para que el agua que entre a la toma sea el mismo que está en contacto con las placas. Si existieran cristales en el agua, éstos se pegarían a las placas, acumulándose y generando cambios en la capacitancia. La diferencia entre la constante dieléctrica de hielo y agua con el cambio de la capacitancia eléctrica entre placas significaría, por tanto, la presencia de cristales de hielo. Tras la detección de hielo en tiempo real, saltarían los sistemas de alarma (Yankielun 1999a). Existe otro método de detección de cristales adheridos a la reja sumergida. Se trata de una carcasa situada por debajo de una superficie de agua y próxima a la reja de una toma de agua. Consta de un par de barras conductoras paralelas situadas cerca de la carcasa. Estas barras están en comunicación con un generador de onda electromagnético dentro de la carcasa. Se conecta una línea de transmisión coaxial desde la carcasa hasta las barras. Además, se cuenta con una estación de monitoreo que recibe señales desde las barras. El generador de ondas propaga ondas electromagnéticas a las barras para continuar el viaje de ida y vuelta, mediante el cálculo de la duración de los viajes de ida y vuelta se puede determinar la cantidad de hielo depositada en las barras. (Yankielun 1999b)

6. Alternativas para eliminación de cristales de hielo

Las diferentes alternativas disponibles para el control de los cristales de hielo se dividen en dos grandes grupos, proactivas y reactivas.

6.1. Medidas proactivas

Las medias de control proactivas se refiere a aquellas que previenen la formación de cristales de hielo en las tomas de agua. Por ejemplo, como ya se ha explicado, el hecho de que se forme una capa gruesa de hielo en la superficie de la masa de agua ejercerá la función de aislante térmico manteniendo una temperatura adecuada del agua que no permita la formación de cristales. Por lo tanto, una medida proactiva podría ser el favorecer la formación de esta capa de hielo. El control mecánico se centra entonces en la retención de hielo creando una cubierta de hielo permanente o en la retención de hielo en movimiento en una ubicación determinada.

Este tipo de medidas incluyen la estabilización helada pero sin restringir el flujo de agua. Son por ejemplo la instalación de presas, islas artificiales, cunas, muelles, delfines (estructuras rígidas o semi-rígidos) y “ice booms” (estructuras flexibles); la instalación de chorros de agua para disolver cualquier acumulación que pueda ocurrir, y el uso de un rastrillo manual para eliminar la acumulación de hielo.

De entre todas estas medidas destacan los “ice booms” por ser las de más bajo coste a la vez que razonablemente eficaces. Son barreras ancladas por una cadena y un cable flotante. Se utilizan para iniciar la formación de una cubierta de hielo cerca de la superficie de las tomas de agua, pero además sirve como protección de la propias tomas de agua frente a basura y escombros a la deriva. Pueden estar hecho de diferentes materiales como madera, plástico o acero.

Las burbujas de aire se utilizan para calentar el agua a una cierta profundidad y así derretir el hielo o al menos retardar su formación. Consiste en un sistema de aire que libera grandes cantidades de aire comprimido a una profundidad determinada para inducir o provocar velocidades divergentes hacia la superficie. Estas corrientes de burbujas que se forman evitan o al menos desvían el hielo y los escombros lejos de las zonas críticas. Pueden ser instalados de forma puntual, para una localización determinada o de forma lineal con el fin de crear una barrera.

Además, se puede prevenir o al menos reducir la adhesión de hielo mediante equipos especialmente diseñados para ello como son, por ejemplo, las rejas de las tomas de agua compuestas por barras que favorezcan un flujo laminar y que disminuyan la posibilidad de obstrucción para no contribuir al crecimiento de hielo en la parte frontal de las barras. Además, estas rejas pueden estar fabricadas en materiales como composite o PVC de baja conductividad térmica, junto con ciertas características de rugosidad superficial

Finalmente están los recubrimientos anti-hielo que han sido formulados para reducir la adherencia del hielo a la superficie tratadas. Investigaciones realizadas por U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory muestran como algunos de esos recubrimientos logran hasta dos tercios menos de adherencia (US Army Corps of Engineers 2002). Además, algunos de los recubrimientos como poliurea y poliurea de silicona se recomiendan también para prevenir la adherencia de mejillones cebra. Por lo tanto, estos recubrimientos serán una ayuda para ralentizar el bloqueo por cristales de hielo, pero en sí mismos no lo evitan.

6.2. Medidas reactivas

Son aquellas acciones que se llevan a cabo una vez que el hielo ya se ha establecido a la superficie de la instalación para frenar su desarrollo antes de que éste sea crítico.

Los rastrillos mecánicos son muy utilizados para eliminar los cristales de hielo adheridos a las barras de las rejillas ubicadas a la entrada de las tomas de agua.

El hielo también puede ser controlado mediante medidas de control térmico que utiliza el calor para mantener la formación de hielo por debajo de unos espesores determinados. Por otra parte, la recirculación de agua es unos de los sistemas más utilizados en la industria, consiste en recircular agua calentada durante las operaciones de refrigeración. Ésta es descargada a través del emisario.

Otra opción es calentar las barras de la rejilla de entrada para prevenir que los cristales de hielo se adhieran. Como mínimo, las barras deberían mantenerse a 0.1ºC, pero con la previsión adecuada durante la etapa de diseño podría mantenerse una temperatura de entre 1.0-1.5 ºC en aquellos periodos de alta concentración de cristales de hielo. Para proporcionar este calor se han de diseñar barras huecas que permitan el paso de agua caliente en su interior. (US Army Corps of engineers 2002).

Otras instalaciones incorporan sistemas Back flusing o de retrolavado a presión. Se trata de lanzar agua a presión desde la parte posterior de rejilla de entrada con el fin de eliminar las partículas de hielo adheridas a la cara externa. De hecho, estos sistemas para la limpieza de hielo pueden formar parte de la propia estructura de la rejilla de entrada. Johnson Screens ha desarrollado sistemas de limpieza de las tomas de agua para eliminar escombros estancados en la reja de entrada gracias al bombeo de líquido en el interior de la reja mediante boquillas. Este sistema también incorpora el calentamiento del líquido para eliminar o prevenir la formación de hielo en la reja (Ekholm & Dilipkumar 2013).

La aplicación de un tratamiento electrolítico es otra opción. Consiste en la aplicación de bajas corrientes continuas para deshacer mediante descomposición electrolítica el hielo. También se puede aplicar tratamiento electro expulsivos mediante corrientes opuestas a

través de los conductores adyacentes (US Army Corps of Engineers 2000). Esta última tecnología ha sido desarrollada para sistemas aviónica, pero para temas de cristales de hielo aún está en investigación.

Tabla 1. Resumen de las diferentes medidas

Tipo	Tecnología	Ventajas	Inconvenientes
Proactiva	Ice booms	Bajo coste. Ayuda a controlar la cubierta de hielo. Utilizado generalmente en los Grandes Lagos. No hay pérdida de carga. Probados a escala real.	No garantiza la ausencia de cristales de hielo. Insuficiente como única medida.
Proactiva	Burbujeo de aire	Permite diferentes configuraciones y combinaciones de burbujas. No causan pérdida de carga. Pueden utilizar agua caliente para aumentar la eficiencia. Probados a escala real.	Poco eficaz en aguas turbulentas. Los orificios de salida pueden congelarse por cortos periodos de tiempo durante los fríos inviernos.
Proactiva	Rejillas especialmente diseñadas	Menor coste que el de la construcción de una nueva toma de agua. Reduce el mantenimiento en comparación con las tradicionales.	Insuficiente como única medida
Ambas	Compuerta de retrolavado	Combina el diseño especial de las rejas con un sistema anti-hielo. Sinergia para la eliminación active de residuos.	Tecnología nueva, se desconoce su eficiencia.
Proactiva	Barras de material con baja adhesión	Reduce la probabilidad y la severidad de los problemas originados por los cristales de hielo	Insuficiente como única medida Probablemente tenga mayores costes de mantenimiento que el acero inoxidable.
Proactiva	Coberturas o pinturas antihielo	Reduce la probabilidad y la severidad de los problemas originados por los cristales de hielo	Insuficiente como única medida. Requiere de aplicaciones frecuentes
Reactiva	Rastrillos mecánicos	Eficientes. También se utilizan para solucionar problemas de escombros. Probado a escala real.	Requiere inversión. No es viable en lugares de difícil acceso. Aumenta el coste de mantenimiento debido a la fricción.
Reactiva	Recirculación de agua	Operación de bajo coste. Reduce los costes debidos a la descarga de calor. Probados a escala real.	Alta inversión inicial para implantar reequipamiento. Necesita recircular grandes volúmenes de agua para ser eficiente.
Proactiva	Rejillas de	Efectiva. Probada a	Altos consumos energéticos.

	barras calefactadas	escala real.	Aumentan los riesgos de seguridad y salud.
Reactiva	Retrolavado	Efectiva. Probada a escala real.	Altos consumos energéticos.
Reactiva	Desprendimiento electrolítico	Efectiva.	Altos consumos energéticos. Tecnología aún en desarrollo para las tomas de agua.
Reactiva	Desprendimiento electro expulsivo	Efectiva	Altos consumos energéticos. Tecnología aún en desarrollo para las tomas de agua.

7. Conclusiones

A pesar de que el problema de los cristales de hielo existe desde hacen más de 100 años, aún no existe una solución general y efectiva para todas las instalaciones. Esto se debe a que el diseño de cada instalación, de sus tomas de agua y sistemas de conducción es único y el proceso criológico, hidrológico e hidráulico para cada lago y río también es diferente. Además, los cristales de hielo pueden aparecer de diferentes formas, siendo muy dependiente de las condiciones del flujo y del tiempo atmosférico. Además, incluso aquellas opciones que pudieran ser efectivas en ciertos casos y solucionar los daños ocasionados por el taponamiento, suelen ser muy caras debido a los costes de operación. Un ejemplo sería el caso del calefactado de las tomas que requiere un alto consumo de energía.

Sin embargo, se sabe que si es posible conocer ciertos factores como las condiciones ambientales y de diseño que pueden favorecer la aparición y crecimiento de cristales de hielo. Por lo tanto, es muy importante conocer y entender estos factores y sus consecuencias durante etapas de diseño, así como la instalación de una combinación de medidas preventivas y correctivas que sean adecuadas y efectivas según la configuración de cada toma de agua.

Dado que la situación ideal sería que no existieran cristales de hielo para evitar problemas, la infraestructura debería estar diseñada para permitir la existencia de altas presiones y turbulencias en un rango definido. También sería interesante favorecer la formación y estabilización de una cobertura de hielo mediante ice booms y otras estructuras que prevengan de la pérdida de calor.

En caso de que ya se hayan formado los cristales de hielo, es fundamental evitar que éstas se adhieran a la infraestructura y prevenir su crecimiento así como un bloqueo temporal. Para ello es recomendable contar con una separación de barras adecuada en las rejas de las tomas, contar con soldaduras vee-wire y aplicar ciertos recubrimientos especiales que repelan al cristal.

Además, se recomienda la instalación de instrumentos de detección de hielo para poner en marcha los mecanismos reactivos como el burbujeo de aire, descargas de agua y sistemas de control térmico junto con cepillos mecánicos que eliminen el hielo una vez que ya está adherido.

8. Referencias

Ashton, G.D. (2006). Snow and ice control around structures. *Cold Regions Science and marine Technology*.

Beltaos, S., Burrell, B.C., Davar, K.S., Dublin, J., Lane, R.J., & Prowse, T .D. (2011). *New brunswick river ice manual. Inland waters directorate*, Department of Environment Canada. Communication New-Brunswick

Daly, S, F. (1994). *Report on frazil ice, international association for hydraulic research working group on thermal regimes*, US Army Corps of Engineers.

Daly, S., & Rand, J. (1991). Patent US 5.062.120. Underwater frazil detection. Date of filling: 29.10.1991. United State Patent Office

Ekholm, M., & Dilipkumar, P. (2013). Patent EP 2623176 A2. Screen intake cleaning system using variable flow of incompressible liquid. Date of filling: 01.02.2013. European Patent Office

Ettema, R., Kirkil, G., & Daly, S. (2009). Frazil ice concerns for channels, pump-lines, penstocks, siphons, and tunnels in mountainous regions. *Cold Regions Science and Technology*, 55(2), pp.202-211.

Giffen, A.V. (1973). *The occurrence and prevention of frazil ice blockage at water supply intakes.* Ministry of the Environment, Toronto, Ontario.

Kempema, E. & Ettema, R. (2013). Anchor ice and wedge-wire screens. *17th Workshop on River Ice, CRIPE*, (pp. 284-298). Edmonton, Alberta.

Kempema, E., Stiver, J., & Ettema, R. (2011). *Effects of CBM water discharge on winter fluvial and ice processes in the powder river basin, Final report*. The Wuoming water Research Program, Department of Civil and Enviromental Engineering, University of Wyoming.

Marko, J.R., & Jasek, M. (2008). *Acoustic detection and study of frazil ice in a freezing river during the 2004-2005 and 2005-2006 winters.* 19th IAHR international Symposium on Ice. Vancouver, British Columbia, Canada

Riad, T., Loewen, M., Hicks, F., & Maxwell, J. (2010). *Monitoring frazil ice evolution during freeze-up using the shallow water ice profiling sonar*. 20st IAHR international Symposium on Ice. Lahti, Finland.

Richard, M., & Morse, B. (2008). Multiple frazil ice blockages at a water intake in the St. Lawrence River. *Cold Regions Science and Technology* 53 pp 131-149.

Richard, M., Morse, B., Emond, J., & Daly, S.F. (2009). *Suspended frazil ice detection using multi-frequency underwater acoustic devices*. 15th Workshop on River Ice. St. John's, Newfoundland and Labrador

US Army Corps of Engineers (2000). *Remote ice motion detection*. U.S Army Cold Regions Research and Engeneering Laboratory , Hanover, New Hampshire.

US Army Corps of Engineers (2002). *Advances in icing control at corps hydraulic structures*. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire.

Yankielun, N.E., 1999a. Patent US 5.861.756. Method of detecting accretion of frazil ice. Date of filling: 19.01.1999. United State Patent Office

Yankielun, N.E., 1999b. Patent US 5.900.820. System and method for detection of frazil ice on underwater grating. Date of filling: 05.05.1999. United State Patent Office

04-024

METHODOLOGY TO ESTIMATE THE LEACHATE FLOW IN CONTROLLED SANITARY LANDFILL

Esteban Altabella, Joan; Colomer Mendoza, Francisco J.; Gallardo Izquierdo, Antonio; Carlos Alberola, Mar

Universitat Jaume I

The leachate quantity generated in a landfill can be managed by an adequate design of the leachate drainage and storage systems. For this reason, in the first place, the factors that determine the leachate generation should be identified, and in the second place, the maximum amount of leachate to be evacuated should be estimated using empirical formulas These forecasts, usually calculated using the Water Balance Method -WBM, require simulation tools developed by complex mathematical formulas that provide measurable results about the generation (HSSWDS, CREAMS, WGEN, SWRRB, HELP, SOILINER, FULLFILL, FILL, BASE). However, these tools do not consider the influence of the time factor on the parameters variation. Therefore, the aim of the present paper is to show a new calculation model to estimate the leachate generation depending on the time factor. This model can be applied in the different stages of the landfill life-cycle (operation and closure) and it is validated using the data of a real landfill with a 52.000 tons of Municipal Solid Waste - MSW input.

Keywords: *sanitary landfill; generation leachate; water balance method*

METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL FLUJO DE LIXIVIADOS EN DEPÓSITOS CONTROLADOS

El lixiviado generado en un depósito controlado puede ser gestionado mediante el diseño adecuado de los sistemas de evacuación y almacenamiento de lixiviados. Para ello, en primer lugar, se deben identificar los factores que determinan la generación y a continuación, mediante fórmulas empíricas, estimar la cantidad máxima de lixiviado a evacuar. Estas estimaciones, calculadas generalmente mediante la aplicación del Water Balance Method -WBM, requieren de herramientas de simulación desarrolladas mediante fórmulas matemáticas complejas que aportan resultados cuantificables sobre las producciones (HSSWDS, CREAMS, WGEN, SWRRB, HELP, SOILINER, FULLFILL, FILL, BASE). Sin embargo, estas herramientas no consideran la influencia del factor tiempo en la variación de todos sus parámetros. Así pues, el objetivo del trabajo presentado es mostrar el desarrollo de un nuevo modelo de cálculo para la estimación de la generación de lixiviados en función del tiempo. Este modelo es aplicable en las distintas fases del depósito controlado (explotación y clausura) y se valida mediante los datos obtenidos de un vertedero con una entrada de residuos anual de 52.000 toneladas.

Palabras clave: *Depósito controlado; vertedero; generación; lixiviado; balance hídrico*

Correspondencia: Antonio Gallardo Izquierdo gallardo@uji.es

Agradecimientos: Proyecto BIONORD, Zona I de gestión de residuos de la C.V.

1. Introducción

Uno de los principales problemas ambientales relacionados con los vertederos es el riesgo de contaminación de aguas subterráneas y la consecuente influencia en la calidad de las aguas superficiales. El impacto ambiental depende de la cantidad y calidad del agua que percola a través de los residuos depositados y alcanza las capas freáticas y/o acuíferos más superficiales. A este líquido resultante se le denomina lixiviado, el cual debe ser gestionado y evacuado correctamente para prevenir sus efectos negativos. De hecho, existen registros de incidentes de contaminación de aguas subterráneas por lixiviados de vertederos. Esto crea la necesidad de comprender los mecanismos que controlan la formación de lixiviados (Bou-Zeid y El-Fadel, 2004). En todo caso, para que pueda gestionarse adecuadamente es necesario que en el proyecto de explotación se estimen los volúmenes y caudales que se van a generar y a partir de esos datos, se puedan dimensionar los sistemas de evacuación (Bengtsson et al., 1994)

Actualmente existen numerosos modelos desarrollados para simular los procesos que gobiernan la generación y el comportamiento de los lixiviados en un vertedero. Estos modelos enfatizan la estimación de la cantidad y calidad del lixiviado para prever el impacto ambiental que pueden generar, principalmente en las aguas superficiales y subterráneas, además de contribuir a mejorar la metanogénesis y la estabilización del residuo. Por otro lado, los modelos proporcionan datos que sirven de guía a la hora de diseñar el sistema de evacuación, recirculación y control del lixiviado (El Fadel et al. 2010).

Los modelos tradicionales para calcular la generación de lixiviados están basados en la aplicación del Water Balance Method (WBM) desarrollado por la U.S. EPA (Fenn et al. 1975). Otras herramientas existentes como Hydrology Evaluation of Landfill Performance (HELP), SOILINER and FULLFILL también están basadas en este sistema. Sin embargo, hay métodos como el Serial Water Balance (SWB) (Orta et al. 2003) que consiguen estimaciones más precisas considerando factores adicionales, tales como el tiempo de construcción de cada celda, el tiempo de exposición del residuo al aire, valores de compresión y densidad, cantidades de residuos depositadas y capacidad de campo de los residuos. No obstante, a la hora de estudiar el movimiento de lixiviado dentro de la masa de residuos hay que considerar diferencias entre las vías preferentes con alta conductividad hidráulica (300 m/d) y la matriz de residuos con baja permeabilidad (0,1 m/d) (Fellner y Brunner, 2010). Otros autores proporcionan conductividades entre 0,0047 y 0,052 m/día decreciendo progresivamente con la profundidad (Jain et al., 2006), ya que a medida que se profundiza aumenta la densidad y por tanto, la impermeabilidad (Al-Thani et al. 2004). Además, influyen factores como el estado de biodegradación de los residuos, la humedad y la edad del residuos (Cossu and Raga, 2008; Agostini et al., 2012)

Por otro lado, a medida que aumenta la profundidad del vertedero se van modificando las propiedades y por tanto, puede variar el movimiento de lixiviados a través de la masa de residuos (Al-Thani et al. 2004) ya que se modifica la densidad y la porosidad (Rowe y Nadarajah, 1996), por lo que el movimiento del agua y por consiguiente, el cálculo del lixiviado generado se hace más complicado y difícil de estimar.

2. Objetivos

El objetivo de este estudio es desarrollar una metodología de cálculo que permita reproducir la vida útil de un depósito controlado, y posteriormente calcular el flujo mensual de lixiviado durante ese tiempo. Para ello, en primer lugar se deben identificar los factores influyentes en la generación del lixiviado, en segundo lugar, como interactúan estos factores, y en tercer lugar, el volumen de lixiviado que finalmente se genera.

Para alcanzar este objetivo, la metodología debe considerar las variaciones de todos los factores en función del tiempo. Entre los factores destacan la climatología de la zona, la capacidad y la estructura del depósito controlado, el ritmo de vertido, las características de los residuos, y como aspecto más crítico; las posibles variaciones de todos estos valores a lo largo de la vida útil del depósito controlado.

Se espera que la estructura del estudio presentado sea incorporada en la herramienta para el diseño de vertederos de residuos sólidos urbanos (LABWASTE) y permita determinar el flujo mensual de lixiviado durante las fases de explotación y clausura a nivel de anteproyecto. Así pues, este estudio muestra la estructura de la metodología que se está desarrollando y realiza una primera simulación con un depósito controlado de la Comunidad Valenciana. Tras la validación se plantearán las mejoras a incorporar para incrementar la precisión de la metodología.

3. Metodología

El desarrollo de este estudio ha sido realizado con el programa informático Excel®, y está estructurado en tres capítulos. Estos, a su vez, se subdividen en grupos que permiten definir las expresiones matemáticas de las distintas variables contempladas, unificando así la información por temáticas. De este modo se desarrolla una metodología aplicable a cualquier depósito controlado, ya que, todas las variables pueden ser modificadas automáticamente en función del tipo de depósito sobre el que se desea realizar la simulación. Este sistema determina automáticamente el flujo mensual de lixiviado generado, así como su volumen en función del tiempo. A continuación se muestra detalladamente la estructura de todos los capítulos, así como de los grupos y variables consideradas:

3.1 Datos generales del depósito controlado

El primer paso consiste en crear una base de datos que considere la siguiente información:

- Datos generales de la instalación: Los factores a considerar son: población equivalente, tasa de generación, tratamiento de los residuos, tasa de vertido y densidad alcanzada.

Tabla 1: Datos generales de la instalación

Variable considerada	Opciones	Simulación
Identificación de la Comunidad Autónoma:	Seleccionar	C. Valenciana
Identificación del Consorcio:	Indicar	Consorcio Provincial
Municipios que lo constituyen:	Indicar	49 Municipios
Año y cifra de población equivalente:	Indicar	2003 / 159.117[*1] hab
Clasificación en función del tipo de residuo:	Seleccionar	Urbanos

Variable considerada	Opciones	Simulación
Año y producción de residuos:	Indicar	2003 / 81.308 t/año
Cantidad de residuos eliminados el depósito controlado		
Residuos sometidos a tratamiento previo:	Seleccionar	Sí
Tasa de generación:	Dato automático[*2]	1,40 kg/día
Tipo de instalación de tratamiento:	Seleccionar	Triaje y compostaje
Porcentaje de rechazos:	Seleccionar	73 %
Tasa de vertido:	Dato automático[*3]	1,02 kg/hab·día
Ubicación de la zona de vertido:	Seleccionar	Interior
Clase de depósito controlado según topografía:	Seleccionar	Área
Clase de depósito controlado según residuo:	Dato automático	Rechazos (RZ)
Densidad media de los residuos depositados:	Seleccionar	1.000 kg/m^3

[*1] Población equivalente. Plan Integral de Residuos de la Zona I de la Comunidad Valenciana.

[*2] La cantidad de residuos y la población equivalente indicada permiten obtener la tasa de generación.

[*3] La tasa de generación y el tratamiento aplicado en los residuos permite calcular la tasa de vertido.

- Datos generales de los residuos depositados: La caracterización de los residuos permite identificar las fracciones predominantes, y a partir de ello, definir las propiedades físicas y químicas asignables por contribuir activamente en la producción del lixiviado y en su composición. Para este estudio se introducen por defecto los resultados obtenidos por Gallardo et al. (2010) y Gallardo et al. (2012).

Tabla 2: Datos generales de los residuos eliminados en el depósito

Variable considerada				Opciones	Simulación	
Promedio composición (C) y humedad residuos (H):				Seleccionar	Rechazos	
	Orgánica	Papel/cartón	Plástico	Vidrio	Metales	Resto
C	20,67%	30,53%	20,45%	0,87%	3,90%	23,60%
H	55,71%	42,90%	20,37%	1,32%	16,44%	33,67%
Humedad promedio de los residuos				Seleccionar	37,37%	
Capacidad de campo de los residuos				Seleccionar	94,00% (López et. al 2008)	

[*1] Esta información permite asignar los valores correspondientes al porcentaje promedio de humedad y capacidad de campo. Es utilizada en los siguientes epígrafes para determinar la capacidad de retención de humedad, aspecto a considerar para determinar la cantidad de agua que puede ser retenida por la masa de residuos antes de generar lixiviado.

- Datos climáticos de la zona: Las condiciones climatológicas de la zona influyen activamente en la generación del lixiviado. Los valores ofrecidos por una estación meteorológica de referencia, generalmente ubicada en la zona de explotación o cercana a esta, permiten definir estas condiciones.

En primer lugar, para calcular la evaporación del agua disponible en la zona de explotación se requiere la siguiente información (Tabla 3).

Tabla 3: Datos estación meteorológica[*1]

Variable considerada			Opciones	Simulación
Localización de la estación meteorológica:			Indicar	Municipio
Ubicación de la estación meteorológica				
Latitud en grados SEXAGESIMALES			Altitud	Periodo recogida de datos
Grados	Minutos	Segundos	(m)	Desde / Hasta
40º	27’	43’’	316	2004 / 2014
Grados decimales:	40	Hemisferio:	Norte	10 Años

[*1] Esta información es utilizada en la ecuación FAO Penman-Monteith para la determinación de datos climáticos faltantes de radiación solar desde una estación meteorológica cercana.

En segundo lugar, se consideran los siguientes parámetros climáticos: pluviometría, temperatura, insolación, humedad relativa y velocidad del viento (Tabla 4).

Tabla 4: Datos climáticos[*1]

Variables consideradas[*2]

	Precipitación			Temperatura			Insolación	H.R	Viento
	PM_{MED}	PM_{MAX}	PM_{MIN}	TM_{MED}	TM_{MAX}	TM_{MIN}	IM_{MED}	HM_{MED}	VM_{MED}
Mes	(l/m^2)	(l/m^2)	(nº)	(ºC)	(ºC)	(ºC)	(horas/mes)	(%)	(m/s)
Ene.	36,00	126,30	4,20	10,60	15,30	5,80	180	67	2
Feb.	31,00	92,40	3,50	11,30	16,20	6,40	179	66	2
Mar.	31,00	115,20	3,30	13,40	18,50	8,30	209	64	2
Abr.	42,00	146,80	4,60	15,40	20,50	10,30	235	63	2
May.	44,00	151,90	4,70	18,50	23,40	13,60	272	63	2
Jun.	19,00	77,50	2,80	22,50	27,30	17,60	296	63	2
Jul.	9,00	61,80	1,40	25,30	30,00	20,60	329	64	2
Ago.	24,00	191,80	2,40	25,60	30,30	20,90	290	66	2
Sep.	71,00	329,80	5,00	22,90	27,60	18,10	229	68	2
Oct.	70,00	297,60	5,00	19,00	23,50	14,40	203	69	2
Nov.	49,00	248,70	4,20	14,30	18,80	9,80	173	68	2
Dic.	42,00	210,70	4,40	11,40	15.80	7,00	164	68	2

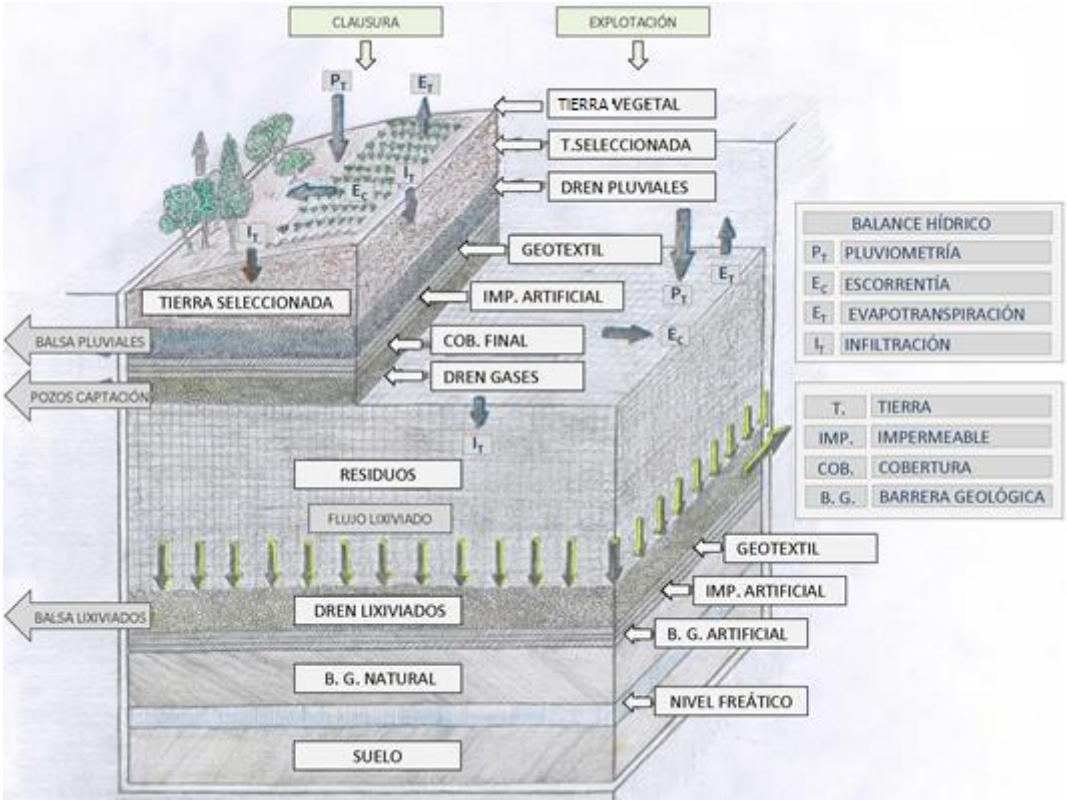
[*1] Estos parámetros permiten determinar la energía potencial de evaporación mediante la aplicación de la ecuación de FAO Penman-Monteith.

[*2] Precipitación media mensual (PM_{MED}), precipitación media mensual máxima (PM_{MAX}), precipitación media mensual mínima (PM_{MIN}), temperatura media mensual (TM_{MED}), temperatura media mensual máxima (TM_{MAX}), temperatura media mensual mínima (TM_{MIN}), insolación media mensual (IM_{MED}), humedad relativa media mensual (HM_{MED}), velocidad del viento media mensual (VM_{MED}).

3.2 Datos estructura del depósito controlado

La configuración geométrica del depósito controlado se estructura mediante un perfil de capas (figura 1). Los espesores, las superficies disponibles y la textura de los materiales seleccionados en las capas determinan la velocidad de infiltración del agua, su retención y finalmente el flujo de lixiviado generado por percolación.

Figura 1: Estructura por capas del depósito controlado.



- Datos de la estructura: La tasa de generación, la población equivalente y la eficacia del tratamiento aplicado sobre los residuos permite estimar la tasa de vertido, y en base a ello, determinar el ritmo de vertido. Conocido este valor, es necesario definir la estructura del depósito controlado por capas para estimar posteriormente la vida útil (Tabla 4).

Tabla 4: Datos generales de las capas del depósito controlado[*1]

Variables consideradas	Opciones	Simulación
FASE III: Clausura		
13. Cobertura vegetal	Indicar si incorpora	Incorpora
12. Tierra vegetal	Indicar si incorpora	Incorpora
11. Tierra seleccionada	Obligatoria	Incorpora
10. Drenaje de pluviales	Indicar si incorpora	Incorpora
9. Impermeabilización	Indicar si incorpora	Incorpora

Variables consideradas	Opciones	Simulación
FASE II: Explotación		
8. Cobertura final	Obligatoria	Incorpora
7. Drenaje de gases	Indicar si incorpora	Incorpora
6. Cobertura diaria	Indicar si incorpora	Incorpora
5. Residuos	Obligatoria	Incorpora
FASE I: Construcción[*2]		
4. Drenaje de lixiviados	Obligatoria	Incorpora
3. Impermeabilización	Obligatoria	Incorpora
2. Barrera geológica artificial	Obligatoria[*3]	Incorpora
1. Barrera geológica natural	Obligatoria	Incorpora

[*1] Se debe indicar el espesor y el tipo de textura del material utilizado. Este último parámetro permite determinar la capacidad de campo, humedad inicial, velocidad de infiltración y en base a ello el flujo del lixiviado percolado.
[*2] Se puede seleccionar la incorporación de un sistema de control de fugas. La configuración de este sistema se define mediante la incorporación de dos capas adicionales (capas de drenaje e impermeabilización de seguridad).
[*3] Si la barrera geológica natural no cumple con las condiciones geológicas mínimas indicadas en el tercer apartado del Anexo I del RD 1481/2001, se establece como obligatoria la incorporación de una barrera geológica artificial.

- Datos de programación de vertido: La información introducida en los epígrafes anteriores permite estimar automáticamente la superficie y el volumen de residuos depositados (estimación diaria, semanal, mensual y anual). Esta Información es utilizada en el próximo epígrafe para determinar el ritmo de llenado y la vida útil del depósito controlado. Se considera la siguiente información (Tabla 5).

Tabla 5: Datos generales de las celdas unitarias

Variables consideradas				Opciones	Simulación
Espesor de la capa de cobertura:				Dato automático*	0,30 m
Espesor de la capa de residuos:				Dato automático*	3,00 m
Superficie y volumen necesario para el vertido de residuos					
Residuos depositados	Diario	Semanal	Mensual	Anual	
Superficie ocupada	49 m^2	345 m^2	1.478 m^2	17.986 m^2	
Volumen ocupado	163 m^3	1.138 m^3	4.879 m^3	59.355 m^3	

[*1] La tasa de vertido, la población equivalente, la densidad de los residuos depositados y los espesores de las celdas unitarias (capa de residuos y cobertura diaria) determinan la superficie y el volumen necesario para la eliminación de los residuos. La vida útil del depósito controlado depende activamente de estos factores.

Para determinar el ritmo de llenado se debe contemplar en la fase de diseño de un depósito controlado la posibilidad de establecer divisiones estructurales por etapas y fases de llenado. La metodología planteada considera como etapas la posibilidad de dividir la base del depósito mediante la construcción de diques de drenaje (Rain-flap), y como fases, la división vertical que define el orden de llenado (Tabla 6).

Tabla 6: División del depósito controlado por etapas y fases[*1]

Variables consideradas				Opciones	Simulación
Número de etapas superficie del vaso:				Indicar si incorpora	1 Ud
Número de fases de vertido:				Indicar si incorpora	2 Ud
Definición de las fases de vertido					
Fases	Etapa I	Capas RSU	Fases	Etapa II	Capas RSU
1	$Fase_{1.1}$	4	-	$Fase_{2.1}$	-
2	$Fase_{1.2}$	6	-	$Fase_{2.2}$	-
-	$Fase_{1.3}$	-	-	$Fase_{2.3}$	-
-	$Fase_{1.4}$	-	-	$Fase_{2.4}$	-
-	$Fase_{1.5}$	-	-	$Fase_{2.5}$	-

[*1] Esta metodología de cálculo permite considerar depósitos con configuraciones de hasta cuatro etapas y un total de veinte fases (a razón de cinco fases por etapa). La división de cada etapa se establece mediante la ejecución de un Rain-Flap. Este sistema permite reducir la generación de lixiviado hasta un 75% en depósitos con 4 etapas.

- Datos del perfil del depósito controlado: Definida la estructura del depósito controlado mediante un perfil de capas, y asignados para cada caso los espesores y las texturas de los materiales empleados, debe indicarse la superficie de cada capa. Esta información determina la geometría del depósito y en base a ello se estima la capacidad y la vida útil de cada etapa (Tabla 7), así como el material necesario (cobertura, tierra, grava, etc.).

Tabla 7: Perfil del depósito controlado

Variables consideradas		Opciones	Simulación
Cota mínima del depósito controlado		Indicar	281 m
Cota de rasante del depósito controlado		Indicar	316 m
Fecha de inicio vertido de residuos[*1]		Indicar	01/01/2013
ETAPA I			
Capa (C) / Barrera (B) Clausura	Textura (Nº)	Superficie (m^2)	Volumen (m^3)	Tiempo (meses)	Cota[*3] (m)
C. Tierra vegetal	1	19.900	5.970	-	318
C. Tierra seleccionada	2	19.700	13.790	-	317
C. Drenaje de pluviales	3	19.500	5.850	-	317
C. Impermeable artificial	4	18.000	-	-	316
C. Cobertura final	5	18.000	9.000	-	316
C. Drenaje de gases	3	17.900	8.950	-	316

Explotación[*3]					
C. Residuos y cobertura	11	17.800	58.740	12	315
C. Residuos y cobertura	11	16.900	55.770	11	312
C. Residuos y cobertura	11	15.400	50.820	10	309
C. Residuos y cobertura	11	14.900	49.170	10	305
C. Residuos y cobertura	11	8.900	29.370	6	302
C. Residuos y cobertura	11	8.500	28.050	6	298
C. Residuos y cobertura	11	7.600	25.080	5	295
C. Residuos y cobertura	11	7.200	23.760	5	292
C. Residuos y cobertura	11	7.000	23.100	5	288
C. Residuos y cobertura	11	6.800	22.440	5	285
Construcción					
C. Drenaje Lixiviados	3	6.800	3.400	-	282
C. Impermeable artificial	4	7.000	-	-	281
B. Geológica artificial	12	6.700	3.350	-	281

[*1] La fecha de inicio del vertido permite estimar el flujo de lixiviado generado, todo ello en función de las condiciones climatológicas, de la geometría del depósito y del ritmo de llenado establecido durante la vida útil estimada.

[*2] Las cotas de referencia permiten determinar la capa de residuos que alcanzará el nivel de rasante. Esta información es utilizada para considerar la evacuación de pluviales por escorrentía.

[*3] Estas capas consideran toda la información introducida de las características de las celdas unitarias (EPA, 1993). Una celda incluye los propios residuos sólidos depositados y el material de cobertura (con 15 – 30 cm de espesor). Los valores de los espesores y de las superficies de cada capa permiten estimar la capacidad total y por etapas del depósito controlado.

- Datos de estimaciones por etapas: La información introducida en los epígrafes anteriores permite determinar el valor de la cota de fondo, cota máxima y capacidad total del depósito controlado por fases (construcción, explotación y clausura). Además de ello, se determina el año límite para finalizar la construcción del depósito controlado, y en base a ello, se determina el tiempo de explotación y el año previsto para iniciar la fase de clausura. (Tabla 7).

Tabla 7: Estimaciones por etapas

Etapa I[*1]						
Fase	Cota		Capacidad	Vida útil del depósito controlado		
	C_{MIN}	C_{MAX}		6 años		
Clausura	315m	317m	39.980m^3	-	-	2018
Explotación	282m	315m	366.300m^3	-	2012-2018	-
Construcción	281m	282m	93.500m^3	2012	-	-

[*1] La cota de fondo y cota máxima permite considerar escorrentía conectada al sistema de evacuación de pluviales cuando las celdas unitarias superan la cota de rasante. Este sistema permite reducir la cantidad de lixiviado generado si se ejecutan coberturas de arcilla provisionales que eviten que el agua de lluvia contacte con la masa de residuos.

3.3 Datos predicción de lixiviados

Las variables consideradas en los epígrafes anteriores permiten predecir el flujo de lixiviado generado durante la vida útil del depósito. El modelo de balance hídrico utilizado considera las variables definidas en las tablas anteriores, y en gran medida las contempladas en los modelos WBM y SWB.

Generalmente, en los modelos existentes la predicción del lixiviado se establece por simulación de su estructura en un momento determinado, sin considerar las modificaciones de sus variables por la continuidad del vertido de nuevos residuos. Así pues, este hecho requiere realizar simulaciones constantemente, principalmente por los cambios que experimenta la estructura del depósito durante la fase de explotación. La metodología propuesta en este trabajo ofrece una predicción del flujo de lixiviados realizando una única simulación. Las propiedades físicas de los residuos eliminados en el depósito, la población equivalente, la tasa de vertido estimada en función del tratamiento previo aplicado, las dimensiones de las celdas unitarias y del depósito diseñado determinan el lixiviado mensual generado por percolación a través de las celdas de residuos (Ecuación 1).

$$V_{LM1} = \left(\frac{T_{VR1} * P_{AB1} * D_{MS1}}{D_{VR1} * H_{VR1}}\right) * \left(P_{MM1} - E_{TM1} - E_{SC1} - \left(C_{CM1} - \frac{H_{IR1}}{100 - H_{IR1}}\right) * \left(D_{VR1} * H_{VR1} * (1 - 0{,}01 * H_{IR1})\right)\right) \quad (1)$$

De donde[*1]		Unidades
V_{LM1}	Volumen de lixiviado mensual[*1]	L/mes
T_{VR1}	Tasa promedio de vertido diario	1,02 kg/hab·día
P_{AB1}	Población equivalente	159.117 hab
D_{MS1}	Número de días del mes[*2]	días
D_{VR1}	Densidad promedio de los residuos	1.000 kg/m^3
H_{VR1}	Altura de la celda unitaria	3,30 m
P_{MM1}	Precipitación media mensual[*2]	L/m^2
E_{TM1}	Evapotranspiración media mensual[*2]	L/m^2
E_{SC1}	Escorrentía promedio[*3]	L/m^2
H_{IR1}	Humedad inicial promedio de residuos[*4]	20 %
C_{CM1}	Capacidad de campo estimada residuos[*4]	0,96 kg_{H2O}/kg_{sec}

[*1] Se estima el ritmo de llenado del depósito controlado y se calcula el flujo de lixiviado mensual considerando los factores indicados. La estructura del depósito controlado simulado presenta un sistema de evacuación del lixiviado a distintos niveles. Estos sistemas de evacuación secundaria enlazan aguas abajo con el colector principal.

[*2] En función del mes se aplican los días correspondientes, así como los valores de pluviometría y evapotranspiración.

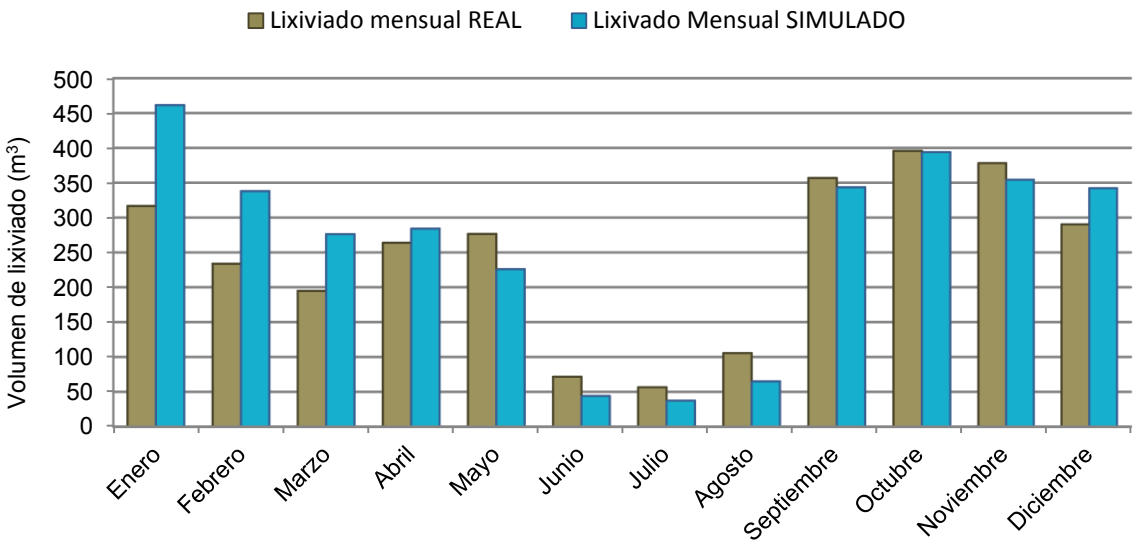
[*3] La escorrentía generada se considera conectada por situarse la cota de explotación inferior a la cota de rasante. Así pues, la escorrentía generada sobre el frente de vertido se evacúa por el sistema de drenaje de lixiviados formando así parte del volumen total simulado.

[*4] La humedad asignada a los rechazos y la capacidad de campo son valores representativos de las muestras analizadas en el laboratorio del grupo de investigación INGRES. La capacidad de retención de agua de los residuos caracterizados es del 85%. Este parámetro indica que el 15% del agua procedente de la lluvia, así como parte de la humedad del residuos acaba transformándose en lixiviado.

4. Resultados

La metodología de cálculo propuesta para este estudio ha sido validada con la información disponible del flujo de lixiviado mensual a lo largo del año 2013 de un depósito controlado de la Comunidad Valenciana. Para ello se han considerado las variables descritas en este trabajo y mediante la aplicación de la ecuación (Ecuación 1) se han obtenido los siguientes resultados (Figura 2):

Figura 2: Flujo de lixiviado mensual. Año 2013



Los resultados obtenidos tras la simulación estiman para el año 2013 una producción de 3.165,56 m^3 de lixiviado frente a los 2.939,98 m^3 obtenidos en la realidad. Esta simulación ofrece un incremento anual del 7,12% con respecto a los datos obtenidos. Las cifras de producción mensual real y las obtenidas son las siguientes:

Tabla 8: Flujo de lixiviado mensual. Año 2013

Flujo de lixiviado obtenido (m^3)

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
316,61	233,69	194.4	263,84	276,41	71,61	56,54	105,54	356,84	395,77	378,18	290,23

Flujo de lixiviado simulado (m^3)

Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
461,39	337,96	276,23	284,07	225,86	43,94	37,35	64,94	343,47	393,93	354,27	342,14

La mayor aproximación obtenida tras la simulación se produce en septiembre (-3,74%), octubre (-0,46%) y noviembre (-6,32%). Por otra parte, la mayor variación se ha registrado en los meses de enero (45,73%), febrero (44,62%) y marzo (41,85%). La variación de los resultados obtenidos en la simulación y las cifras obtenidas en la realidad se deben asociar a la fluctuación de factores climáticos. La simulación considera datos promedio y los datos obtenidos del depósito atienden variaciones reales.

Estos aspectos deben ser considerados para conseguir desarrollar metodologías de cálculo más precisas, idóneas para continuar con el desarrollo de nuevas herramientas de cálculo destinadas a la optimización de la gestión de depósitos controlados.

5. Conclusiones

Este estudio permite determinar el flujo de lixiviado mensual de un depósito controlado. Esta metodología ha sido validada con la información facilitada por un depósito controlado de la Comunidad Valenciana. Para ello, se han considerado las modificaciones de los parámetros que influyen en la variación del flujo de lixiviado en función del tiempo (tasa de vertido, datos climáticos, estructura del depósito, etc.). En lo que refiere al diseño de la estructura del depósito controlado cabe indicar que la metodología planteada y diseñada en Excel® contempla:

- La simulación de depósitos controlados con hasta 4 etapas de división horizontal.
- La simulación de depósitos controlados con hasta 5 fases de división vertical por etapa.
- La simulación de depósitos controlados con de hasta 33 niveles de residuos por etapa.
- La simulación de depósitos controlados con una vida útil de hasta 99 años por etapa.
- La simulación del ritmo de llenado de depósitos controlados durante la vida útil estimada.
- Indicación de capacidad ocupada por residuos y capacidad disponible.

De este modo, se ha obtenido una metodología base que ofrece resultados alentadores para continuar con el desarrollo de metodologías más complejas, las cuales podrían incorporar nuevos fenómenos que se calibrarán con futuras simulaciones, entre ellos:

- Existencia de zonas no saturadas y de vías preferenciales.
- Variación demográfica de los municipios atendidos durante la vida útil del depósito.
- Variación de la tasa de generación durante la vida útil del depósito.
- Influencia del turismo durante determinados meses del año.
- Incorporación de Mejores Técnicas Disponibles para mejorar la gestión de la escorrentía superficial y minimizar la cantidad de lixiviados generados.

Las herramientas de cálculo actuales realizan esta predicción para un momento determinado del depósito sin considerar la modificación de la estructura del depósito por la eliminación de nuevos residuos. Así pues, la metodología que se ha descrito puede constituir una base adecuada para la simulación del flujo de lixiviados a nivel de anteproyecto, considerando todas las modificaciones estructurales y sin necesidad de recurrir a múltiples simulaciones.

6. Referencias bibliográficas

Agostini, F., Sundberg, C. & Navia, R. (2012). *Is biodegradable waste a porous environment?.* A review. Waste Management & Research, 30(10) 1001–1015

Al-Thani, A.A., Beaven, R.P. & White, J.K. (2004). *Modelling flow to leachate wells in landfills*. Waste Management, 24(3), pp. 271-276

Bengtsson, L., Bendz, D., Hogland, W., Rosqvist, H. & Akesson, M. (1994). *Water balance for landfills of different age*. Journal of Hydrology 158, pp. 203-217

Bou-Zeid, E. & El-Fadel, M. (2004). *Parametric sensitivity analysis of leachate transport simulations at landfills*. Waste Management 24(7), pp. 681-689

Cossu R & Raga R (2008). *Test methods for assessing the biological stability of biodegradable waste*. Waste Management 28, pp. 381–388.

El Fadel, M., Findikakis, A.N. & Leckie, O. (2010). *Modeling leachate generation and transport in solid waste landfills*. Environmental Technology, 18. pp. 669-686

Fellner, J & Brunner P.H. (2010). *Modeling of leachate generation from MSW landfills by a 2-dimensional 2-domain approach*. Waste Management 30(11) pp. 2084–2095

Fenn D. G., Hanley K. J. & Degeare. U.S Environmental Protection Agency, (1975). "*Use of the water balance method for predicting leachate T. V. generation from solid waste disposal sites*". p. 3-35.

Gallardo, A., Bovea, MD., Prades, M., Colomer, FJ, & Carlos M. (2010) *Comparison of different collection systems for sorted household waste in Spain*. Waste Management, 30 pp. 2430-2439.

Gallardo, A., Bovea, MD., Prades, M. & Colomer, FJ (2012) *Analysis of collection systems for sorted household waste in Spain*. Waste Management, 32 pp. 2383-2395.

Jain, P., Powell, J., Townsend, T., & Reinhart, D. (2006). *Estimating the Hydraulic Conductivity of Landfilled Municipal Solid Waste Using the Borehole Permeameter Test*. J. Environ. Eng., 132(6), 645–652.

Lopez, A., Cobo, N., Tejero, I., & Lobo, A. (2008). *Simulación de un vertedero dentro de la evaluación de las alternativas de gestión de RSU*. Proceedings I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Castellón.

Orta M. T., Cruz R., Rojas N., Monje I., Sanchez J. (2003). *Serial wáter balance method for predicting leachate generation in landfills.* Waste Management & Research, p. 127-136.

Rowe, K., Nadarajah, P. (1996). *Estimating leachate drawdown due to pumping wells in landfills.* Journal of Canadian Geotechnical, 33, pp. 1–10.

04-025

HOLONIC MODEL FOR SUSTAINABLE PROJECTS IN BUILT INDUSTRY ENVIRONMENTS

Avila Gutiérrez, María Jesús [1]; Marcos Bárcena, Mariano [2]; Aguayo González, Francisco [1]; García de Vinuesa, Ana de Las Heras [1]; Lama Ruiz, Juan Ramón [1]

[1] Universidad de Sevilla, [2] Universidad de Cádiz

The current trend of projects of built environments in industrial areas (industrial plants, industrial estates and parks) is towards the integration of sustainability in three areas: social, economic and environmental under a concept from cradle to cradle (C2C). So far, it does not have a model to develop the sustainable engineering life cycle and it integrated assessment. In this paper is proposed a protomodel of holonic inspiration from the point of view of the levels macro, meso and micro and based on sustainability under the 3E and C2C symbiosis, to support engineering lifecycle of the built industry environment so that are integrated into natural ecosystems. Subsequently the most efficient tools to ensure sustainability in these environments are discussed.

Keywords: *Holonic Built Environment; Sustainable Cycle life Assessment; Cradle to Cradle (C2C); Analysis and Assessment Socio-economic-Environmental Built Industrial Environment.*

MODELO HOLÓNICO PARA PROYECTOS SOSTENIBLES EN ENTORNOS INDUSTRIALES CONSTRUIDOS

La tendencia actual de los proyectos sobre entornos construidos en espacios industriales (plantas industriales, polígonos y parques industriales) es hacia la integración de la sostenibilidad en sus tres vertientes: social, económica y ambiental bajo una concepción desde la cuna a la cuna (C2C). Hasta el momento, no se dispone de un modelo para desarrollar la sostenibilidad de la Ingeniería del ciclo de vida y su evaluación integrada. En el presente trabajo se propone un protomodelo de inspiración holónica desde el punto de vista de los niveles macro, meso y micro y basado en la sostenibilidad bajo la 3E y la simbiosis C2C, para dar soporte en la ingeniería del ciclo de vida de los entornos construidos industriales de manera que estén integrados en los ecosistemas naturales. Posteriormente se analizarán las herramientas más eficientes que garantizan la sostenibilidad en dichos entornos.

Palabras clave: *Entorno construido holónico; Análisis de Ciclo de Vida Sostenible; Cradle to Cradle (C2C); Análisis y evaluación económico-Socio-Ambiental del Entorno Industrial Construido.*

Correspondencia: María Jesús Ávila Gutiérrez mavila@us.es

1. Introducción

En la industria de la construcción se necesita algo más que reducir el gasto energético y el consumo de materiales para generar más beneficios y rentabilidad económica. Se necesita, en primer lugar, pensar en la vida de un producto desde la extracción de materiales, la energía empleada para su extracción y elaboración, y, una vez acabada su vida útil, pensar dónde terminarán los restos o residuos del mismo, analizando un producto desde su comienzo hasta su final, desde su nacimiento hasta su muerte útil, es decir, lo que se denomina un análisis desde la cuna hasta la tumba (from cradle to grave). Este enfoque de innovación corrige los problemas no detectados por la ecoeficiencia y minimiza los riesgos, pero todavía no contempla una solución satisfactoria porque sigue pensando que al final debe quedar un residuo, una tumba del producto: vertederos, basura, residuos y vertidos no retornables. Está claro que estos planteamientos no garantizan la sostenibilidad de las futuras generaciones del planeta, sólo reducen el ritmo de contaminación. Se necesita impulsar un paradigma donde el límite no sea el vertido o los residuos, sino la sostenibilidad de vida sobre el planeta, pasando de la estrategia reactiva “from cradle to grave” a la estrategia proactiva “from cradle to cradle”, de la cuna a la cuna de McDonough y Braungart (2005) donde el final de un producto sirva de nutriente biológico al ecosistema, cuna de otros seres y organismos.

La tendencia actual de los proyectos sobre entornos construidos en espacios industriales (plantas industriales, polígonos y parques industriales) es hacia la integración de la sostenibilidad en sus tres vertientes: social, económica y ambiental bajo una concepción desde la cuna a la cuna (C2C).

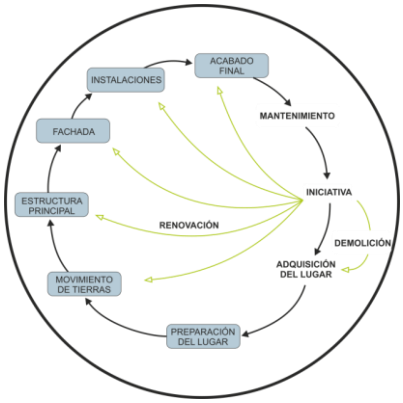
Normalmente, la sostenibilidad se entiende como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Sin embargo, pocas veces se analiza que este desarrollo sostenible requiere la conjunción de tres vértices: Economía, Ecología y Equidad. Los tres vértices deben coincidir para que se dé una solución de sostenibilidad: debe ser ecológicamente prudente, económicamente viable y socialmente deseable. Sólo así se consigue una triple cuenta de resultados o una triple sostenibilidad (sostenibilidad 3E).

Hasta el momento, no se dispone de un modelo para desarrollar la sostenibilidad de la Ingeniería del ciclo de vida y su evaluación integrada. En el presente trabajo se propone un protomodelo de inspiración holónica desde el punto de vista de los niveles macro, meso y micro y basado en la sostenibilidad bajo la 3E y la simbiosis C2C, para dar soporte en la ingeniería del ciclo de vida de los entornos construidos industriales de manera que estén integrados en los ecosistemas naturales.

2. El proyecto de Construcción.

Un proyecto de construcción pasa a través de varias fases a lo largo de su ciclo de vida. Hay varias investigaciones sobre las distintas fases del proceso de desarrollo de los productos y la sostenibilidad en estas diferentes fases (Lameris,2007) (Dansen,2009). Entre las distintas fases podemos encontrar las mostradas en la figura 1 y que a continuación se detallan.

Figura 1: Fases del proyecto de construcción



2.1. Iniciación

La primera fase de un proyecto es la fase de iniciación. Es durante esta fase, el proyecto establece el objetivo y se plantea el inicio para desarrollar un producto. En esta fase, se asigna un gerente al proyecto, y este trabaja con los principales actores del proyecto (estos son las personas con un interés personal en el proyecto), para determinar plenamente lo que es demandado y medir el éxito del proyecto una vez que se haya completado todo el trabajo. El alcance del proyecto incluirá las metas del proyecto, el presupuesto, los plazos y otras variables que pueden ser utilizadas para la medición de éxito una vez que llegan a la fase final (Ausgabe, 2004). Una formulación clara es la base hacia un proyecto sostenible (Manfron y Mallgrave, 2009).

2.2. Definición

En esta fase se deben abordar todos los aspectos a considerar en el proyecto así como el aspecto de sostenibilidad ya que debe ser uno de los elementos presentes en la formulación del problema.

2.3. Diseño

El proceso de diseño es la búsqueda por la solución de diseño óptimo con una fase de seguimiento iterativa. Un primer problema que se presenta, reside en el hecho de que la información disponible suele ser inversamente proporcional a la información durante el proceso de diseño. La fase de diseño en sí se puede dividir en tantas fases como sean necesarias con el fin de resolver todos los problemas de diseño y de integrar los conceptos en un plan funcional. Generalmente se recomienda que se utilicen al menos dos etapas tales como el diseño preliminar y diseño final.
Los resultados finales de la etapa de diseño son documentos, planos, costos de construcción, costos operativos proyectados, y cronogramas de la construcción. Desde el principio del proyecto, el diseño se considera como un proceso sencillo con un seguimiento de fases secuencial (Mehta, Scarborough, y Diane, 2009).

Redclift y Voodgate (2010) describe que es importante incorporar a los agentes adecuados y que tengan experiencia en el ámbito de la sostenibilidad. La fase de diseño está estrechamente interconectada con la fase de construcción de un proyecto (Wamelink, 2009).

El diseño proporciona la forma en que se ensamblarán los materiales en cada fase de construcción. Por lo tanto, la sostenibilidad, con respecto a la fase de construcción, está influenciada por la fase de diseño (Winch, 2010).

2.4. Preparación

Esta fase incluye las especificaciones y estimaciones de costos realizados tales como: la firma del presupuesto, el presupuesto de compra y la preparación para el trabajo, la

preparación del lugar, la ingeniería y los documentos de diseño necesarios que el contratista necesita para empezar a construir (Wamelink, 2009).

2.5. Construcción

Higgin y Jessop (1965) hablan de que existe una conexión entre el proceso y el producto fruto de la construcción y edificación. "Mirando el proceso de construcción, podemos distinguir tres funciones principales. Dos son obvias: diseño y construcción; la tercera es la coordinación" (Carpenter, 2001). Aunque la fase anterior se haya seguido con éxito, esto no garantiza el éxito en la fase de construcción. Las premisas asociadas a la sostenibilidad pueden desaparecer durante la fase de construcción, debido a una aplicación incorrecta por parte del contratista (Dansen, 2009).

2.6. Demolición

La demolición es de importancia creciente debido al aumento de reconstrucciones de áreas a diferencia del desarrollo tradicional. Los procesos de demolición son vistos como procesos inversos a los de construcción. La industria de la demolición está motivada por un presupuesto para las actividades y no a la reutilización a menos que el presupuesto del que se disponga vaya destinado a ello. (Winkler, 2010).

3. Modelo de construcción actual

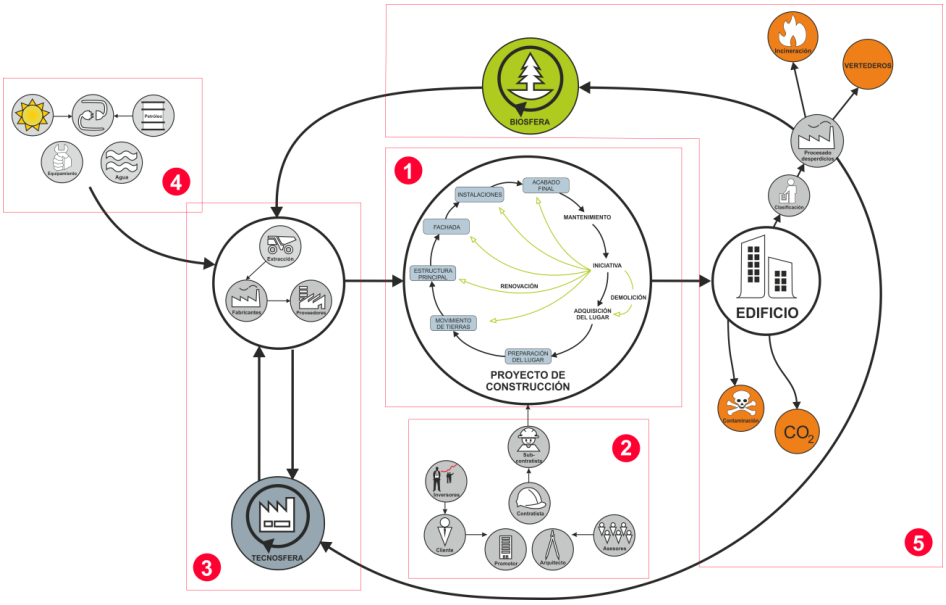
El modelo de construcción actual mostrado en la figura 2 cuenta con las siguientes zonas:

1. La primera parte del modelo es la zona central. Esta representa las principales actividades del proceso de construcción con las diferentes fases del mismo.
2. El segundo aspecto son los agentes intervinientes en el proyecto. Estos a menudo están relacionados entre sí y la relación está condicionada por el tipo de contratación.
3. El tercer aspecto son los recursos que se necesitan para llevar a cabo el proyecto. Durante la construcción la mano de obra se encarga de contar con los recursos necesarios para materializar el diseño. Los materiales provienen de la extracción de la materia prima que es transformada a materia en uso según diferentes fases de fabricación y procesamiento.
4. La cuarta sección es la entrada del proceso que ayuda al trabajo de montaje y también implica el aspecto de transporte. El uso de energía y agua durante los procesos asociados a los materiales y la construcción también se incluye para todo el proceso, incluyendo la cadena de suministro.
5. El último aspecto es el producto resultante que en este caso es la construcción (edificio) y todos los desperdicios generados como consecuencia de materiales, energía, emisiones y CO_2, que se resumen como salida del proceso.

El modelo de construcción actual, como puede verse en la figura 2, consiste en la extracción de recursos del suelo para elaborar productos que luego se desechan, por lo que dicho modelo no es sostenible. No se puede aplicar indefinidamente un sistema lineal en un planeta con recursos limitados y cerrado en materia.

Necesitamos por tanto estudiar modelos que conlleven hacia el requerimiento de sostenibilidad para conseguir realizar proyectos de entornos construidos sostenibles.

Figura 2: Modelo de construcción actual



4. Sostenibilidad en entornos construidos

La sostenibilidad ha alcanzado un alto grado de relevancia en la industria actual, llegando a situarse como el enfoque prioritario de innovación bajo el que se despliega la actividad empresarial, gubernamental o social. Ampliamente conocida, abarca tres grandes estadios que definen la estrategia 3E: economía, ecología y equidad, desplegadas en un principio linealmente en la pirámide empresarial donde la prioridad recae en la economía y una vez garantizada, se acude al diseño de productos y procesos con criterios sociales y ambientales.

Uno de los modelos existentes es el modelo de la economía "circular" o "cradle to cradle" (Koster, 2010). Es una alternativa que propone una perspectiva bajo la que no se generan residuos, en la que todo se reutiliza, se digiere y se convierte en alimento del nuevo proceso. De la misma manera, los productos manufacturados se deben diseñar y elaborar con la menor cantidad de energía posible, y los residuos se tienen que reincorporar al proceso de producción.

El uso eficaz y eficiente de los recursos y el reciclaje y reutilización de los residuos propuesto por la economía circular, conlleva una mejora sustancial de la productividad de los recursos y reciben el nombre de ecoefectividad. Estas son las ideas que respaldan las actividades económicas, a fin de lograr una producción óptima en consumo de recursos, un consumo sostenible y una mínima producción de residuos.

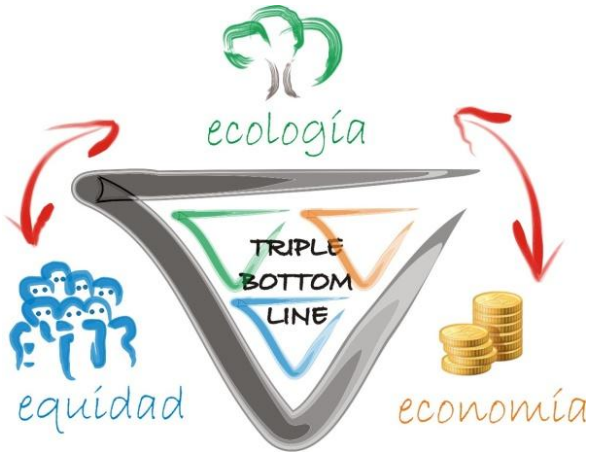
En esencia, la economía circular persigue un máximo desarrollo con un menor consumo de recursos y generando, a su vez, los mínimos costes externos. Ello determinara que la nueva economía será circular con ciclos de materia y energía autoregenerables, como los que podemos encontrar en la naturaleza.

4.1. Innovación sostenible bajo la triple bottom line

Los tres pilares fundamentales en los que se pueden basar la innovación sostenible de los proyectos industriales están caracterizados por la perspectiva económica del negocio asociado a la rentabilidad (sostenibilidad económica), la visión de la equidad, con atención a los segmentos de mercado de grupos desfavorecidos y creación de riqueza social (sostenibilidad social) y la vertiente ecológica de compatibilización con el

medioambiente (sostenibilidad ambiental). Si los tres conceptos se articulan simultáneamente agrupados en un triángulo fractal como aparecen en la figura 3, interactuarán dinámicamente en el proceso de búsqueda de soluciones, obteniendo para ellas una triple cuenta de resultados ecoinnovadores. Juntos, definen la estrategia 3E (economía, ecología y equidad) convirtiéndose en las tres dimensiones fundamentales de la sostenibilidad.

Figura 3: Estructura fractal de la Sostenibilidad en C2C

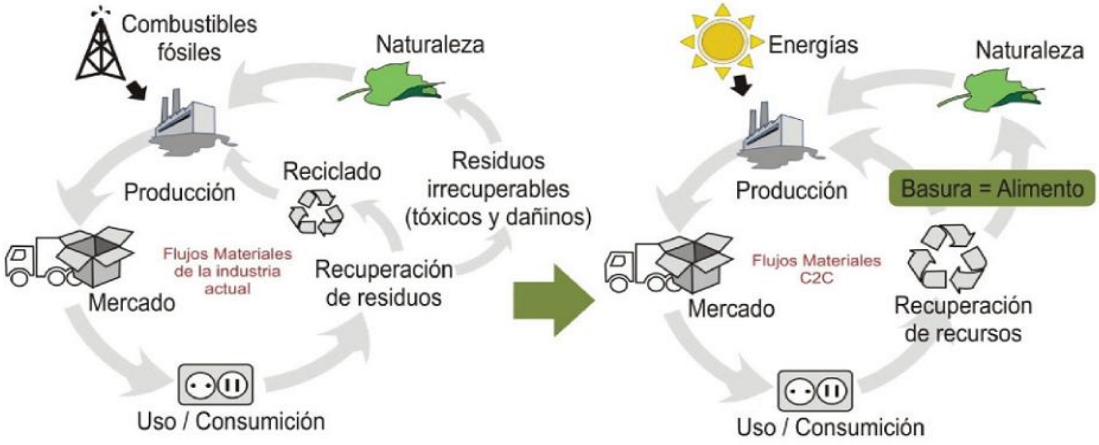


4.2. Sostenibilidad bajo C2C

El paradigma C2C de la cuna a la cuna, empieza a configurarse como la plataforma para concebir, organizar y desarrollar la plataforma para la nueva revolución industrial bajo criterios de sostenibilidad, en la que la naturaleza es considerada maestra, modelo y mentora.

"Cradle to Cradle (C2C)" o "de la cuna a la cuna" se presenta como un enfoque de ingeniería sostenible que pretende concebir productos que determinen un impacto positivo sobre la naturaleza. El objetivo es mantener nuestro ritmo de consumo derrochador sin perjudicar el medio ambiente, creando técnicas de producción más eficaces y, lo que es más importante, sin producir residuos. Ello determina el desacoplar el crecimiento económico y nivel de vida del impacto ambiental, teniendo como objetivos crear valor ambiental.

Figura 4: Procesos cíclicos de la industria actual y su evolución a C2C



La concepción sistémica de C2C, busca el cierre de los flujos de materiales, (desde la cuna a la cuna), eliminando el concepto de residuo y tomando como energía, para las reacciones metabólicas (procesos industriales) en las cadenas tróficas de los procesos industriales, la procedente prioritariamente de los recursos renovables (véase figura 4).

4.3. Holónica como marco paradigmático

La sostenibilidad de proyectos en entornos construidos integran diversos aspectos de la complejidad como son: complejidad tecnológica, incorporación de TIC y tecnologías inteligentes, adopción de nuevas tecnologías -de borde- en la escala macro, meso y micro y los requerimientos de sostenibilidad.

Para permitir la gestión de la complejidad derivada de la incorporación de los requerimientos de sostenibilidad a los proyectos (procesos y productos) de entornos construidos, así como el estudio de las vistas de la complejidad, dualidad como todo y parte, carácter fractal y ubicuo, requerimientos de colaboración y cooperación entre agentes, requerimientos de ecocompatibilidad y metabolización en base a la ciclicidad, eficiencia, toxicidad y autorregulación entre otros, necesitamos un paradigma que posea las características adecuadas a los requerimientos que hemos expuesto anteriormente.

Este paradigma es el paradigma holónico (Koestler, 1976) (Koestler, 1981a) (Koestler, 1981b) ya que este permite concebir entidades interrelacionadas entre sí que manejen la complejidad de los proyectos, trabajen de manera colaborativa, cooperativa y se regulen.

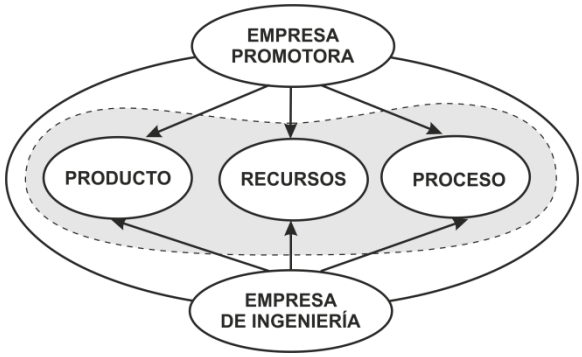
Las propiedades más significativas de los holones (entidades que interrelacionan entre sí formando holarquías) son las siguientes (Aguayo, 2003) (Mella, 2009):

1. ***Un holón es TODO/PARTE***: Un holón puede ser parte de otro holón o integrar distintos holones u holarquía en interacción armónica, constituyendo dominios de colaboración.
2. ***Un holón es una entidad AUTONOMA:*** Posee capacidad de crear y controlar la ejecución de sus propios planes o estrategias de forma autorregulada.
3. ***Un holón es una entidad COLABORATIVA:*** Se integra en una o más holarquía de nivel superior denominadas dominios de colaboración, formando las holarquía de nivel n+1, es una propiedad del holón en cuanto a su expresión como parte.
4. ***Un holón es una entidad COOPERATIVA:*** Integra otros holones y procesos en el que un conjunto de entidades que realizan conjuntamente planes aceptables para desarrollar una función. De la cooperación se derivan propiedades emergentes. Es una propiedad del holón en cuanto a todo.
5. ***Un holón es AUTOASERTIVO****:* Está dotado de capacidad de imponer ante otros holones formas de interacción, ideas, criterios o pensamientos para desarrollar unos planes.
6. ***El holón se AUTOREGULA:*** Está dotado de capacidad de cambiar su modo de cooperar para desarrollar una función confiriéndole resiliencia. Puede ser interna o externa del holón.
7. ***El ciclo de vida del holón.*** El holón contempla las etapas del ciclo de vida, las vistas de la complejidad (estructura y flujos) y los grados de especificidad del mismo como entidad particular, parcial o general según el grado de concreción o especialización del mismo.

5. Modelo holónico para la caracterización de proyectos de entornos construidos

Una organización holónica empresarial es un conjunto de empresas que actúan de forma integrada para acometer una oportunidad de negocio que solicita un cliente. Cada empresa participante, denominada holón, es responsable de la ejecución de uno o más procesos de la cadena de valor requerida por la organización.

Figura 5: Holarquía de entidades para proyectos de entornos construidos



La complejidad empresarial radica tanto en la diversidad de proyectos, como en la realización de actividades que pueden ser paralelas a los proyectos sin olvidar la propia complejidad del proyecto en sí. Para establecer una holarquía tenemos que tener en cuenta los agentes intervinientes y las relaciones existentes entre ellos. Si planteamos el objetivo de la realización de un proyecto para entornos industriales construidos, podemos distinguir entre otras, dos tipos de empresas: la empresa ingeniería y la empresa promotora. Para ello necesitamos conocer la relación entre el proyecto y la organización en la que se va a desarrollar el mismo teniendo en cuenta factores como: el tamaño del proyecto, el impacto del proyecto en el medio ambiente, el tipo de cliente, los recursos disponibles, las circunstancias y otros factores relevantes como puede verse en la figura 5.

El modelo propuesto está compuesto de distintas vistas holárquicas que a su vez están formadas por holones u otras organizaciones holónicas de menor tamaño. Cada holón es una unidad organizacional autónoma que ejecuta aquellos procesos para los cuales es más competente.

Los holones cooperan entre sí a fin de que se ejecuten todos los procesos que son necesarios para producir los productos y/o prestar los servicios que le han sido encomendados.

A efectos de modelado, tenemos los siguientes niveles (véase Figura 6):

i. **Holarquía de nivel n+1**: define el DOMINIO COLABORATIVO y los requerimientos holónicos. Este nivel se corresponde con el holón empresarial en sentido amplio integrado por las holarquías de las distintas empresas que soportan cada uno de los proyectos. Estas holarquías determinan el comportamiento sostenible de nivel N de acuerdo con su capacidad de acogida.

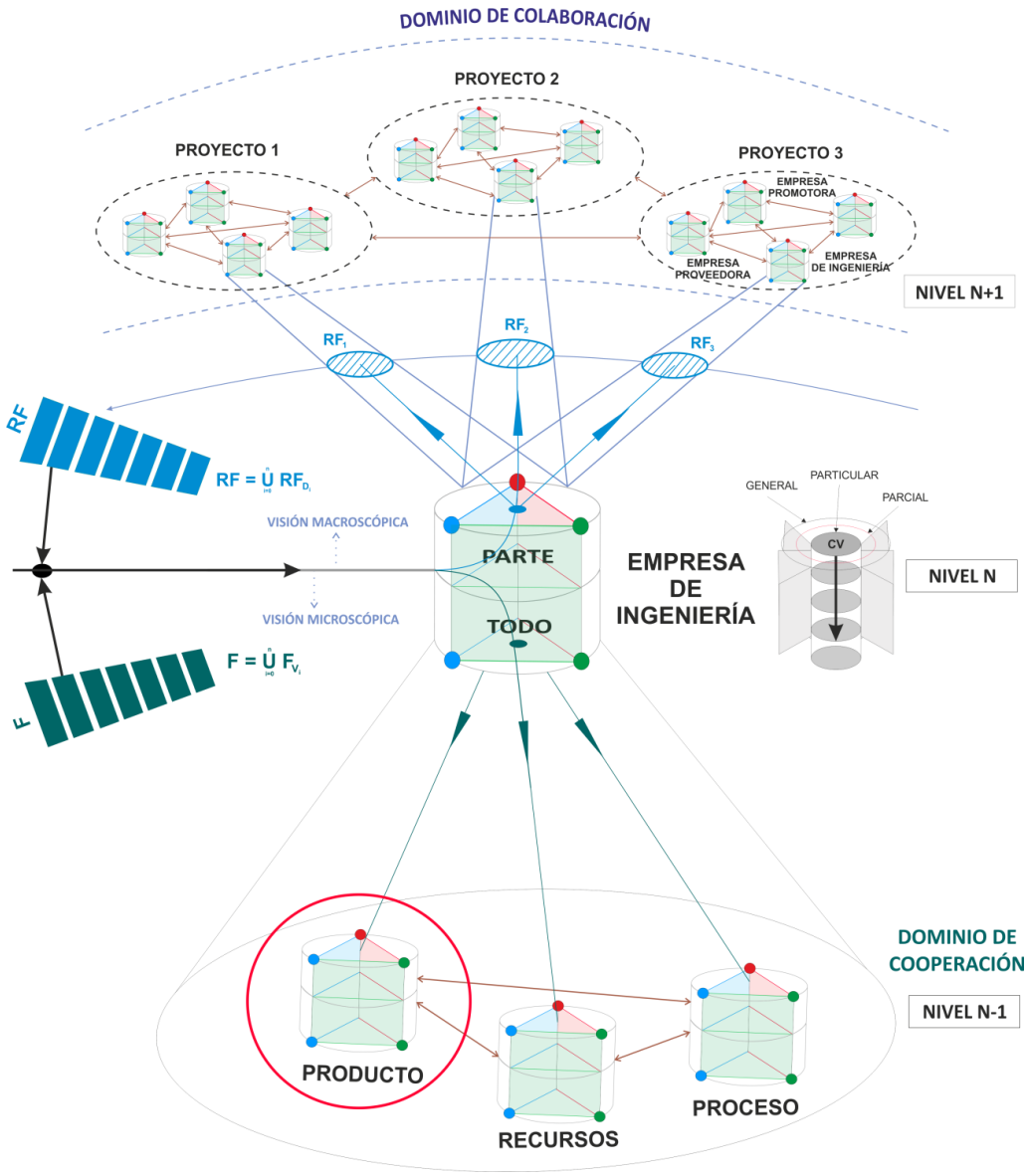
ii. **Holarquía de nivel n-1**: define el DOMINIO COOPERATIVO y la competencia o capacidades holónicas.

   De la interacción de distintas empresas: empresa promotora y empresa de ingeniería cuyo objetivo es acometer un proyecto de construcción obtenemos holones emergentes en el dominio de cooperación y constituido por los holones

procesos y recursos que son necesarios para llevar a cabo dicho proyecto y el holón producto (edificación sostenible) como resultado de dicho proyecto.

iii. **Holón de nivel n**: actúa como interfaz de adaptación de la variedad holónica entre los niveles n-1 y n+1. Se define el ciclo de vida (vistas, fases, generalidad) y los mecanismos de autorregulación. En este nivel el holón se dota de mecanismos de AUTORREGULACION validación, verificación y estrategias de control hacia arriba y hacia abajo (funciones-F- y requerimientos funcionales – RF-). En este nivel se establece la consigna de indicadores de sostenibilidad bajo la 3E. Se corresponde con la empresa de ingeniería que interactúa con el resto de empresas dentro de un proyecto en concreto. Dicho holón tiene como holarquía de control y regulación, como todo y como parte, procedimientos derivados de la triple E. A su vez dicho holón se integra bajo estos mecanismos de control en la holarquía de proyectos, proyecto 1, proyecto 2 o proyecto 3, e integra las holarquías de nivel N-1 bajo los procedimientos de sostenibilidad derivados de la triple E específicos del holón como todo y delegados en un holón de coordinación de la sostenibilidad.

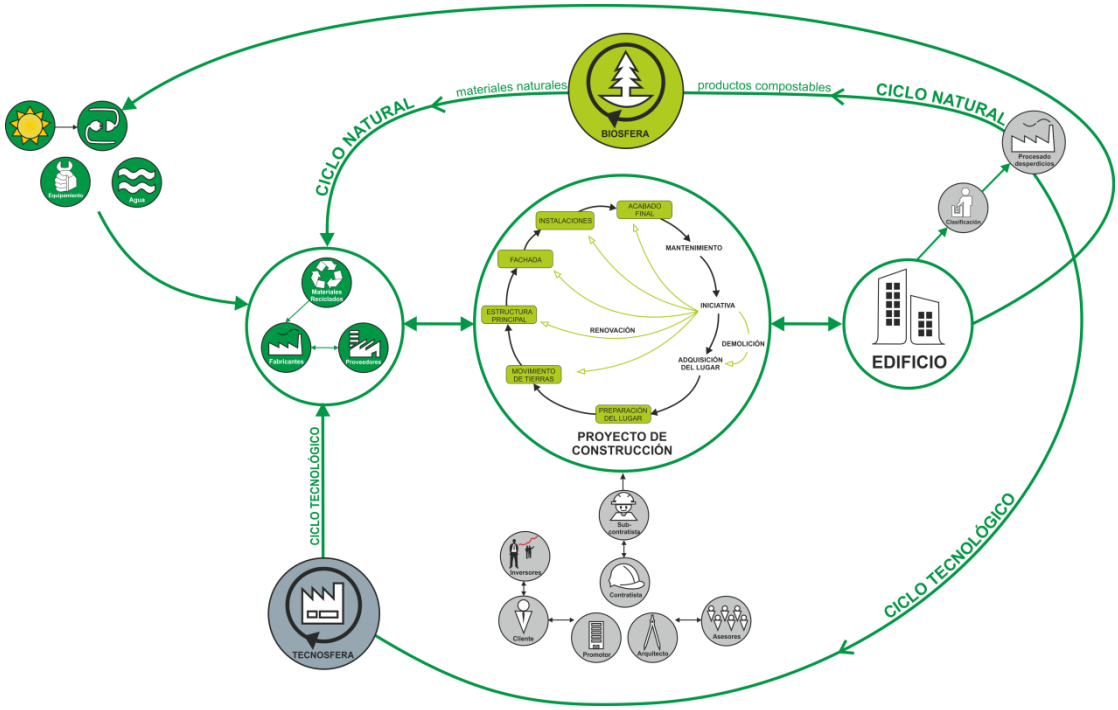
Figura 6: Modelo holónico para abordar proyectos sostenibles de entornos construidos



Si desarrollamos el holón PRODUCTO *(*desde el punto de vista del aspecto ambiental) en nuestro caso el edificio industrial, el modelo propuesto está constituido por una holarquía descrita en la figura 5, que es el resultado de la holonización de dicho producto contemplando los procesos necesarios para el entorno construido, los recursos tanto técnicos como humanos y el producto final resultado de la realización del proyecto, la construcción del edificio.

Este modelo parte del modelo de construcción actual representado en la figura 2, junto con la filosofía C2C de cierre de ciclos materiales como puede verse en la figura 7.

Figura 7: Despliegue del holón producto (construcción sostenible) bajo la filosofía C2C



El cierre de ciclos se realiza desde la salida hacia la biosfera a través de ciclos naturales enviando materiales compostables y de la biosfera de nuevo a la entrada como alimento al nuevo proceso. Los materiales que no puedan ser enviados a la biosfera serán tratados siguiendo el ciclo tecnológico para que de igual manera sirvan de alimento a la entrada. Tenemos por tanto un ciclo cerrado en materia y abierto en energía en este caso la energía solar (energía renovable).

6. Consecuencias del modelo propuesto.

Derivado de este estudio podemos decir que el modelo presentado respondería a las necesidades de integrar las construcciones actuales en los ciclos naturales.

Llegados a este punto, la pregunta que nos podemos hacer es: ¿Cómo es posible que un proceso de construcción sostenible se defina y se consiga?

Actualmente, los procesos de construcción presentan una serie de obstáculos como pueden ser: la actual forma de pensar lineal que se opone a la cíclica (deseable); la falta de compromiso necesaria durante el proceso;

el uso de etiquetas como injustificable definición para la construcción sostenible y la rentabilidad de iniciativas sostenibles.

Para conseguir solventar los obstáculos que se presentan, necesitamos un modelo de construcción sostenible, como el propuesto en apartados anteriores, que entre sus logros se encuentren: los análisis sobre el impacto en el planeta y beneficios; solución de diseño basada en modelos definidos; la factibilidad técnica y financiera; integración de la cadena de suministro y manera cíclica de pensamiento.

7. Conclusiones

La responsabilidad ambiental recae sobre todos los actores que constituyen la sociedad: los sectores productivos, las instituciones estatales y gubernamentales, las empresas de servicios, entre otros. Dadas las circunstancias del deterioro ambiental del planeta es prioritario que todos los actores involucrados tomen medidas para la protección del medio ambiente y su recuperación.
A pesar de que las organizaciones empresariales se esfuerzan por hacer las cosas correctas y por aplicar las más modernas herramientas de gestión y control en los proyectos que realizan, la realidad sigue superando al diseño y a la planificación, y los resultados no son satisfactorios.

Alrededor de los proyectos llevados a cabo por las empresas, existe una problemática derivada de la complejidad; el manejo de esa complejidad con la variedad requerida y la sostenibilidad empresarial para la supervivencia ante entornos cambiantes.

Actualmente no existe un modelo que ayude a manejar la complejidad proyectual en los entornos construidos y que además contemple un aspecto que cobra gran relevancia en los proyectos como es la sostenibilidad.

Por ello se ha estudiado el paradigma holónico como modelo de representación de la complejidad empresarial en la concepción de proyectos sostenibles para entornos construidos, que permita caracterizar las distintas entidades holónicas a efectos de modelado.

8. Bibliografía

Aguayo, F. (2003). *Diseño y Fabricación de Productos en Sistemas Holónicos: Aplicación al Desarrollo de un Módulo Holónico de Diseño*. Tesis Doctoral. Universidad de Cádiz.

Ausgabe, D. (2004). *A guide to the project management body of knowledge*: Global Standard.

Carpenter, T. G. (2001). *Construction in a fragile world* (Vol. 1). West Sussex, england:Wiley & Sons, Ltd.

Higgin, G., & Jessop, N. (1965). *Communications in the Building Industry*. London: Tavistock Publications.

Koestler, A. (1976). *The act of creation*. The Danube Edition, London.

Koestler, A. (1981a). *The ghost in the machine*. The Danube Edition, London.

Koestler, A. (1981b). *Jano*. Ed. Debate, Madrid.

Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. Finland: VTT publications.

Koster, G. (2010). Cradle to Cradle; een winst voor bouwbedrijven. Breukelen: University of Nijenrode.

Kristinsson, J. (2012). *Integrated Sustainable Design*. Delft: Delft digital press

Manfron, V., & Mallgrave, H. (2009). *Buildings that are sustainable.* Paper presented at the SASBE, Delft.

McDonough, W. y Braungart, M. (2005). *Cradle to Cradle (de la cuna a la cuna): rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Pérez Van Kappel G(traductor). 1ª edición. Madrid: McGraw-Hill/ Interamericana de España S.A.U. 186p. ISBN: 84-481- 4295-0.

Mehta, M., Scarborough, W., & Diane, A. (2009). *Buidling construction: principles, materials and systems*. Boston: Pearson.

Mella, P. (2009). *The holonic revolution: holons, holarchies and holonic networks: the ghost in the production machine.* Pavia University Press.

Redclift, M. R., & Voodgate, G. (2010). *International Handbook of envirnmental sociology*: Edward Elgar Pub.

Wamelink, J. W. F. (2009). *Inleiding bouwmanagement*: VSSD.

Winch, G. M. (2010). *Managing Contruction Projects* (Second edition ed.). Manchester: Wiley-Blackwell.

Winkler, G. (2010). *Recycling Construction & Demolition Waste*: McGraw-Hill.

04-026

MODELING LIGHT POLLUTION IN URBAN ENVIRONMENTS

Meléndez, Liliana; Sierra Garriga, Carlos; García Gil, Manuel
UPC

This paper aims to describe a methodology of calculation based on a vector analysis to characterize and simulate light pollution emitted by outdoor lighting installation in a particular case. The initial approach was performed, identifying pollution sources in a city, and classifying the case studies in terms of geometric place analyzed characteristics, the photometric characteristics of luminaires, Reflections flow pavement reflections side walls and the presence of street trees. Then the collected data were treated by computer, and simulations of case studies with the help of a lighting software calculation is performed. The values extracted in the previous step is processed considering the vector methodology proposed, and were plotted in a polar curve or resulting global photometry. The results obtained in developing this methodology allowed quantify, model and analyze the spatial distribution of the light intensity emitted in no useful addresses, caused by different types of artificial lighting facilities in terms of urban structure analyzed.

Keywords: *Light Polution; photometr; urban enviroments*

MODELIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA EN ENTORNOS URBANOS

La presente ponencia tiene como objetivo describir una metodología de cálculo basada en un análisis vectorial, que permite caracterizar y simular la Contaminación Lumínica emitida por una instalación de alumbrado exterior en un caso determinado. Para ello se realizó un planteamiento inicial, identificando los focos contaminantes en una población, y clasificando los casos de estudio teniendo en cuenta: las características geométricas del lugar analizado, las características fotométricas de las luminarias, las reflexiones del flujo en pavimentos, las reflexiones en paredes laterales y la presencia de arbolado viario. Posteriormente los datos recogidos se trataron informáticamente, y se realizaron simulaciones de los casos de estudio con la ayuda de un programa de cálculo lumínico. Los valores extraídos en el paso anterior se procesaron teniendo en cuenta la metodología vectorial propuesta, y se graficaron en una curva polar o fotometría global resultante. Los resultados obtenidos al desarrollar esta metodología permitieron cuantificar, modelizar y analizar la distribución espacial de la intensidad luminosa emitida en direcciones no útiles, causado por los diferentes tipos de instalaciones de alumbrado artificial en función de la estructura urbana analizada.

Palabras clave: *Contaminación Lumínica; fotometría; entornos urbanos*

Correspondencia: Carlos Sierra carlos.sierra@upc.edu

1. Introducción

“Los cielos, que han sido y son una inspiración para toda la Humanidad, están empezando a desaparecer e, incluso, a resultar desconocidos para las generaciones más jóvenes. Se está perdiendo rápidamente un elemento esencial de nuestra civilización y cultura y esta pérdida afectará a todos los países de la Tierra”. Así se expresaban en una solemne declaración conjunta la UNESCO, la Unión Astronómica Internacional y el Consejo Mundial de la Ciencia (1992).

Aunque ha transcurrido veintidós años desde aquella declaración, hoy en día este recurso natural está más amenazado que nunca por el uso excesivo e irresponsable del alumbrado de exteriores. En la actualidad el deterioro en la observación del paisaje celeste se ha hecho aun más evidente, y para observar el firmamento debemos alejarnos de los núcleos urbanos, y aún así, los efectos de la “civilización iluminada” se extienden hacia las zonas deshabitadas de forma imparable (Rosales 2002).

Además de afectar las observaciones astronómicas, la contaminación lumínica se ha convertido ya en un problema ambiental y social de primer orden, con diversas consecuencias ecológicas, económicas, sobre la seguridad y la salud. Las últimas investigaciones indican que gran cantidad de ecosistemas, y seres vivos, pueden ver afectados su actividad debido a la pérdida de la oscuridad. (Froy, O., et al. 2003; Longcore, T., & Rich 2004; Montevecchi 2006; San Martín, P. R., et al. 2009).

En el aspecto ecológico la introducción de luz deteriora el paisaje nocturno, modificando los hábitats y alterando los ritmos biológicos a los seres vivos. Incluso a niveles lumínicos muy reducidos (inferiores al nivel lumínico correspondiente a la luz de la luna, se produce una repercusión importante a los comportamientos nocturnos (Gaston, K., et al. 2013). Estas repercusiones pueden aumentarse por los cielos nublados, más de 6 veces, debido al aumento de reflectancia de las partículas de agua en la atmósfera, y a su mayor tamaño (Kocifaj, M. & Solano 2014; Kyba, C. C., et al. 2011). Asimismo los alumbrados consumen ingentes cantidades de energía, lo que contribuye a la generación de residuos de larga duración radiactivos o de gases de efecto invernadero que tienen sus propios problemas ecológicos asociados, como lo es una importante contribución al cambio climático de origen antropogénico, y ocasionando un importante coste y derroche energético (Sánchez, A., et al. 2010). En este ámbito económico, se derrocha si se ilumina en exceso o hacia el cielo o cuando nadie lo necesita. En algunos casos el mal uso de la iluminación puede originar paralelamente problemas de seguridad vial y ciudadana que se pretende prevenir, pues aunque proporciona sensación de seguridad también produce con frecuencia fatiga visual, deslumbramientos, transiciones repentinas entre zonas en sombra y otras sobre iluminadas y una relajación de la alerta en la conducción contribuyendo a situaciones de riesgo (Dorremochea 2013).

Lo expuesto anteriormente hace evidente la preocupación sobre esta problemática, llevando a algunos grupos de personas a profundizar sobre este tema, y al mismo tiempo a exigir leyes, ordenanzas y normativas para proteger el cielo nocturno, ejemplo de esto es el reglamento aprobado por la Generalidad de Cataluña que aplica la ley 6/2001, de 31 de Mayo, de ordenación ambiental y de iluminación para la protección del medio nocturno. La cual tiene como uno de sus puntos principales mantener en lo posible las condiciones naturales de las horas nocturnas, en beneficio de la fauna, la flora y los ecosistemas en general, de promover la eficiencia energética de los alumbrados exteriores; evitar la intrusión lumínica en el entorno doméstico y de prevenir y corregir los efectos de la contaminación lumínica en la visión del cielo (Parlament de Catalunya 2001).

Por otra parte, aunque el fenómeno de la contaminación lumínica es conocido desde los años 70, se ha visto muy incrementado debido al comportamiento social en el que se relaciona mayor cantidad e intensidad del alumbrado público con un mayor grado de desarrollo económico y tecnológico. Para cuantificar este fenómeno existen modelos matemáticos desarrollados desde los años 70 como los de Walker (1977) y Treanor (1973) que permiten calcular el grado de resplandor nocturno en función de una serie de constantes, la distancia a la fuente de emisión y el número de habitantes de la población, pero no tienen en cuenta el flujo instalado real, la tipología de las lámparas, ni los factores de reflexión característicos.

En los 90 se desarrollaron modelos más fiables, planteados por Cinzano y Diaz (2000) y por Garstang (1986), ya que tuvieron en cuenta más variables que los modelos anteriores. Estos últimos estudios incluían el flujo instalado en el alumbrado público, la cantidad de partículas en suspensión, la humedad relativa, entre otras variables, etc., determinando así de forma matemática el resplandor sobre la ciudad considerando su orografía local. (Aube, M., Franchomme, L., Robert, P., & Houle 2005; Kocifaj 2007; Garcia, M., & Lamphar 2010)

La Universidad Politécnica de Cataluña (Garcia, M., & Lamphar 2009; Garcia, M., & Lamphar 2010; San Martín, R., et al. 2012) desarrollo un modelo, en el que se calculaba de forma más detallada la cantidad de flujo lumínico contaminante (cantidad en lúmenes). Valorando parámetros como: Emisión de Flujo Superior (EFS) y Grado Relativo de Emisión (GRE), representando estos valores por zonas, calles, etc. Para el cálculo de estos parámetros se utilizó un programa de cálculo en el que realizaban simulaciones informáticas de casos tipos, teniendo en cuenta los datos reales de todas las situaciones (tipología de calles) y fuentes de contaminación (características específicas del alumbrado utilizado).

Aunque las metodologías planteadas en la actualidad ayudan a calcular la contaminación lumínica, y han sido de gran utilidad para comprender este fenómeno, después de analizarlas se hizo evidente la necesidad de plantear un nuevo modelo que ampliara el alcance de los ya existentes, y que no solo tuviera en cuenta como parámetro de evaluación, la magnitud del flujo contaminante emitido al medio, sino que además, aportara información suficiente para caracterizar la distribución espacial de la intensidad luminosa, información importante según demuestran los estudios realizados por Cinzano y Díaz(2000).

Por lo tanto la necesidad de emprender actuaciones para reducir la contaminación lumínica implica la conveniencia de desarrollar nuevos procesos luminotécnicos que ayuden a conocer, cuantificar, evitar y reducir de forma más precisa la incidencia de esta contaminación al momento de iluminar. Procesos útiles para conocer la magnitud de la incidencia y su prioridad de solución. Actualmente el enlace entre sistemas de alumbrado y contaminación lumínica se hacen mediante enlaces muy débiles: Como el “número de Garstang”, por ejemplo, que asigna un valor medio de 1000 lúmenes/habitante a una determinada ciudad. Este método es claramente inexacto y no sirve de herramienta para evaluar diferentes proyectos de ingeniería (Narisada, K., & Schreuder 2004). Algunos avances se han producido con la cuantificación del flujo lumínico (Estrada, R., et al. 2015), pero todavía no se conoce la forma de la salida del flujo lumínico de las ciudades; flujo lumínico que es la fuente de la contaminación lumínica.

El objetivo de la investigación es conocer mejor la salida lumínica de las calles de las ciudades. Salida lumínica que se comporta como una fotometría de una luminaria al igual que un sólido fotométrico. La visión suficientemente alejada de la ciudad, ocasiona que la suma de las fotometrías de los diferentes casos analizados se sumen en una sola fotometría de la ciudad: objetivo final de la investigación.

Para ello se va a realizar una muestra de la metodología mediante la realización de una serie de cálculos luminotécnicos de alumbrado público exterior en un municipio, y la consideración luminotecnia y extracción de resultados para conseguir este fin.

2. Metodología

La metodología propuesta en este artículo está basada en un análisis vectorial, que cuantifica, modeliza y analiza la distribución espacial de la intensidad luminosa emitida en direcciones no útiles, causado por los diferentes tipos de instalaciones de alumbrado artificial. Esta metodología, evolución de otras existentes, ha sido desarrollada por el departamento de proyectos de ingeniería de la Universidad Politécnica De Cataluña, y plantea una serie de directrices que sirven para analizar los posibles casos de estudio que pueden presentarse en un núcleo urbano, pautas que pueden ayudar a determinar la incidencia que las diferentes variables presentes en cada uno de ellos, ejerce sobre la caracterización de la intensidad luminosa contaminante. Variables como las características geométricas y reflexivas del lugar analizado, características fotométricas de las luminarias y disposición de estas en el espacio, la presencia de arbolado viario, la regulación de los niveles de iluminación y por último el azimut de cada uno de los casos de estudio respecto al norte geográfico.

En el análisis se utiliza un software de cálculo lumínico, en el que se representa la ciudad analizada, a partir de la consideración de sus tipos de espacios urbanos, sistemas de alumbrado público y su posible afectación medio ambiental. Para realizar estas simulaciones se utiliza en concreto el apartado de interiores de dicho programa de cálculo, ya que este módulo permite tener en cuenta la incidencia que tiene la reflexión en las diferentes superficies (suelo y fachada de los edificios). Por otra parte para representar el alumbrado privado como los anuncios, los carteles publicitarios, y los aparadores…, se propone la utilización de fluorescentes de cierre opal, que proporcionan una distribución Lambertiana (San Martín, Gil & Lamphar. 2009).

Los resultados obtenidos en el paso anterior se correlacionaron con las variaciones aplicadas a las diferentes variables presentes en cada caso de estudio, determinando así la incidencia que estas tienen sobre la distribución espacial de intensidad luminosa contaminante.

A continuación se exponen brevemente las directrices propuestas por esta metodología, pautas que ayudan a caracterizar y simular la intensidad luminosa, emitido por una instalación de alumbrado exterior en un caso determinado.

2.1 Estudio del Caso de Análisis

Para realizar un planteamiento inicial e identificar los focos contaminantes en una población es necesario contemplar una serie de parámetros que proporcionen una visión global del escenario lumínico. Por ello se propone clasificarlos teniendo en cuenta las características urbanísticas y del alumbrado.

Los parámetros utilizados para realizar la clasificación de los casos de estudio son los siguientes:

Tabla 1: Parámetros utilizados para realizar la clasificación de los casos de estudio

Características urbanísticas del caso de estudio	Características del alumbrado del caso de estudio
Nombre del caso a estudiar	Numero de farolas
Tipo de calle	Disposición del alumbrado
Longitud de la vía publica	Separación de los puntos de luz
Amplitud de la vía publica	Altura de los puntos de luz

Altura de los edificios	Tipos de luminaria
Separación de los edificios con vía publica	Tipos de lámpara
Tipos de fachada (Izquierda)	Potencia de la lámpara
Tipos de fachada (Derecha)	Flujo lumínico de la lámpara
Porcentaje de ocupación	Nivel de alumbrado privado
Arbolado Viario	Iluminación media actual
	Tipos de alumbrado
	Regulación del nivel luminoso

Por otra parte para realizar la clasificación de los focos contaminantes en una población, no solo se tuvo en cuenta su estructura morfológica, sino que además se clasificaron considerando también el azimut de cada uno de los casos, ósea la orientación de cada caso de estudio respecto al norte geográfico. Y para determinar la magnitud del azimut de cada caso aplicamos la fórmula inversa propuesta por Thaddeus Vincenty (1975), quien propone un algoritmo muy eficiente, para el cálculo de la distancia entre dos puntos de la superficie de un elipsoide de revolución.

3. Simulación Informática de los Casos Tipo

Esta fase consiste en la informatización de los casos tipo, es decir realizar simulaciones informáticas teniendo en cuenta: las características geométricas de las calles, la distribución fotométrica de las luminarias, el tipo de lámparas y la zona de implantación, la regulación en los niveles de iluminación, las reflexiones del flujo en pavimentos y las reflexiones en paredes laterales, y por último el arbolado viario presente en cada caso.

Para la informatización de los casos fue preciso utilizar un software de planificación de alumbrado (Dialux 2014) , como hemos mencionado empleamos el apartado de interiores, ya que este permite tener en cuenta, la incidencia que tiene la reflexión en las diferentes superficies sobre el flujo lumínico que se escapa al cielo. Además gracias a la aplicación vectorial que posee el programa de cálculo, se determinó; la distribución fotométrica de las intensidades emitidas en direcciones no útiles.

3.1 Delimitación de la Zona de Análisis en los Casos Tipo

Para poder simplificar el análisis de cada uno de los casos se plantea dividirlos en tramos, ya que los resultados obtenidos en esta porción del estudio pueden extrapolarse al resto de la calle teniendo en cuenta sus características simétricas. Cada tramo estará representado generalmente por una o dos luminarias de la vía pública.

La zona de estudio o de análisis está conformada por:

- Rejillas de cálculo: las cuales proporcionan información sobre los niveles de iluminación que llega a cada uno de los elementos físicos (Suelo, Fachada, Cielo…).
- Y por una superficie mallificada, la cual proporciona información sobre la distribución de la intensidad luminosa contaminante en el espacio, la zona que abarca esta superficie se posiciona teniendo en cuenta el porcentaje de ocupación de cada caso.

Figura 1: Esquema de la situación del espacio simulado en una situación real de análisis

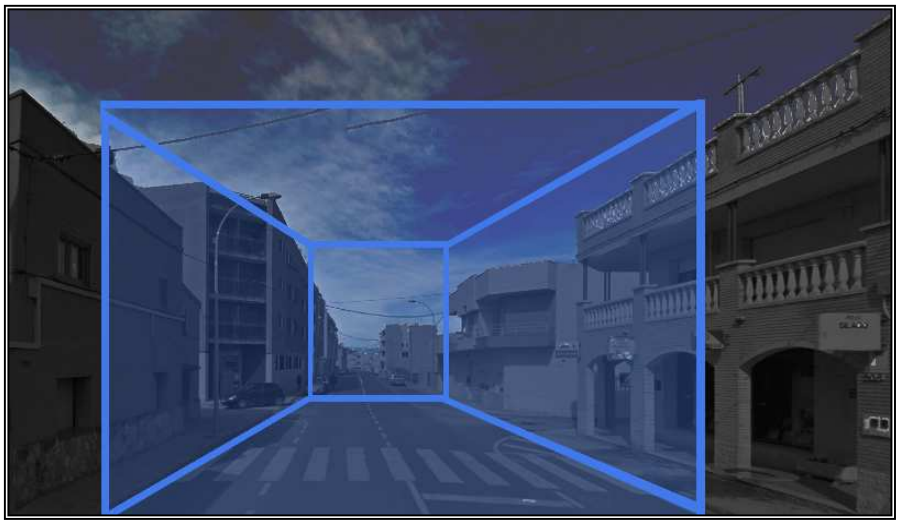


Figura 2: Vista en planta y en perspectiva de un caso tipo con un porcentaje de ocupación del 0%.

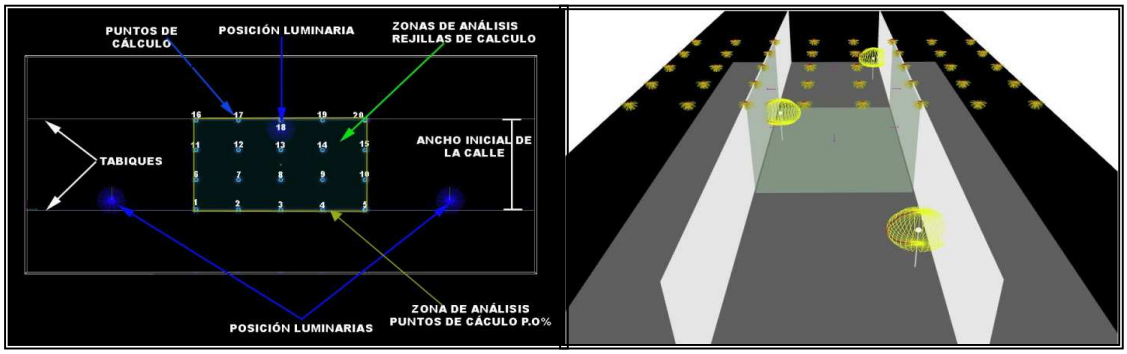
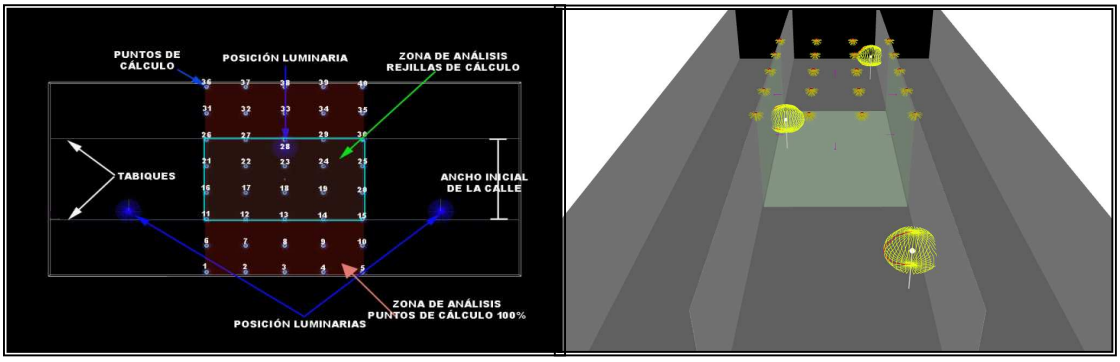
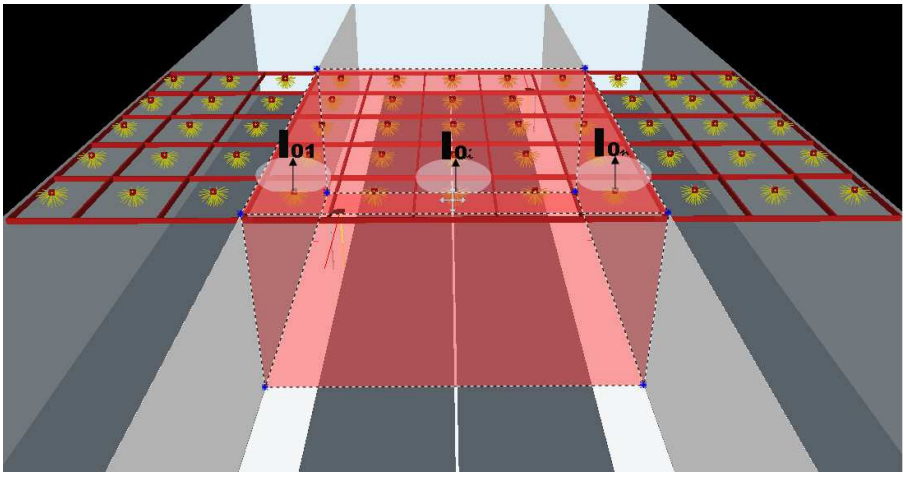


Figura 3: Vista en planta y en perspectiva de un caso tipo con un porcentaje de ocupación del 100%.



Como hemos mencionado con anterioridad, para determinar la distribución de la intensidad luminosa en un caso de estudio, es necesario emplear una superficie mallificada, donde cada una de las mallas es lo suficientemente pequeña para considerarse un emisor con una distribución parecida a la distribución de Lambert. Y para determinar dicha distribución es necesario posicionar vectores de cálculo en el centro geométrico de cada uno de las mallas.

Figura 4: Representación de la superficie mallificada en un caso tipo con porcentaje de ocupación del 0%



La orientación de los vectores de cálculo se determina tomando como referencia el sistema de representación C-γ, pero variando algunos conceptos, este sistema de coordenadas establece que el eje polar es vertical (IDAE; CEI 2001), y como la superficie que representa el cielo se considera horizontal, el ángulo de incidencia de un rayo luminoso en cualquier punto de esta superficie será ⟨⟨γ⟩⟩, es decir, los ángulos de elevación de los planos verticales se representan por ⟨⟨γ⟩⟩ y se miden tomando como vértice el centro fotométrico; para adaptar este concepto a nuestra investigación consideramos que γ=0º representa eje vertical hacia arriba. Y por ende γ=180° representa el eje vertical hacia abajo. Por otra parte los planos verticales ⟨⟨ C ⟩⟩ giran alrededor del eje de rotación o eje polar, y el otro concepto que modificamos es el de rotación de estos planos respecto a un punto de referencia y que explicamos a continuación: Los planos verticales ⟨⟨C⟩⟩ giran en torno al centro geométrico que se estableció al idealizar a la ciudad como un área circular contaminante, y la apertura de el ángulo se mide en el sentido de las agujas del reloj, desde el norte. Por ende de cara a la simulación informática la orientación de los planos ⟨⟨C⟩⟩ estará determinada por el azimut del caso tipo respecto al norte geográfico.

4. Extracción de los Resultados

Teniendo en cuenta el enfoque que se aplica en el apartado anterior es necesario dividir el tratamiento de los resultados en dos fases:

4.1 Rejillas de cálculo:

Basándose en los datos obtenidos en las rejillas de cálculo se propone extraer los siguientes parámetros:

- Rejillas de Cálculo: las cuales proporcionan información sobre los niveles de iluminación que llega a cada uno de los elementos físicos (Suelo, Fachada, Cielo…).
- Emisión de Flujo Superior (EFS): Es la totalidad de flujo lumínico emitido hacia la bóveda celeste, es decir el flujo que se escapa de las características urbanísticas de una calle o zona y que llega a la parte superior del habitáculo, ósea la superficie que representa el cielo.

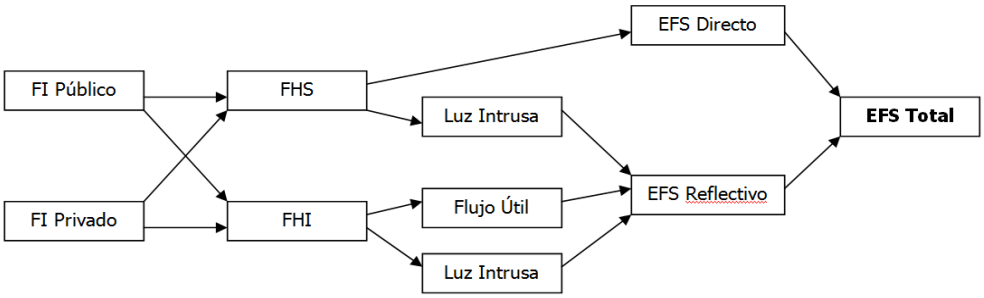
  Su unidad es el lúmen, y tiene en cuenta:

  - Luz emitida directamente por las luminarias hacia el cielo (porción del FHS)

- Flujo reflejado por el suelo u otros elementos donde incida la luz artificial.
- Disposición y geometría de la zona iluminada, que puede condicionar la cantidad real de flujo que escapa hacia el cielo

- Luz en la Vía Pública: Es el flujo lumínico considerado como útil, ya que es aprovechado para su uso ideal, el de iluminar la vía.
- Luz Intrusa: Flujo lumínico que incide en las paredes o fachadas de los edificios y que provoca intrusión luminosa a través de las ventanas.

Figura 5. Esquema que representa como se divide el flujo emitido en el análisis (San Martín, García & Solano, 2009).



4.2 Vectores de Cálculo

Basándose en los datos obtenidos en los vectores de cálculo se propone extraer los siguientes parámetros:

- Cálculo de las Intensidades:

Para definir la intensidad luminosa se parte del supuesto que; el caso de estudio es una fuente puntual teniendo en cuenta una distancia determinada. Y por lo tanto la distribución luminosa de esta magnitud se considera esférica en dirección radial.

$$I_0 = \Phi/4\pi \quad (1)$$

$$\Phi_{0i} = E_{0i} \times S \quad (2)$$

$$I_{0i} = (E_{0i} \times S) / 4\pi \quad (3)$$

I_0: Intensidad media esférica
Φ: Flujo
E: Iluminancia
S: Superficie de cálculo

Reemplazando la formula inicial (1) podemos determinar la densidad del flujo emitido por la fuente puntual en una dirección determinada, teniendo en cuenta la iluminancia obtenida en cada una de las direcciones del espacio, es decir los valores obtenidos (Lux) considerando los planos verticales $\langle\langle C\rangle\rangle$ y el ángulo de incidencia $\langle\langle\gamma\rangle\rangle$.

Por otra parte se contempla como superficie de cálculo las dimensiones que corresponden a la zona de análisis o de estudio donde se posicionan los puntos de cálculo. Es importante mencionar que esta zona de estudio varía en función del porcentaje de ocupación, es decir cuando el porcentaje de ocupación es del 0% la zona de estudio para los puntos de cálculo comprende todo el ancho del espacio simulado, en cambio cuando el porcentaje es del 100% la zona de estudio está delimitada por la rejilla de cálculo que representa el cielo.

- Representación de los Resultados Obtenidos al Agrupar los Vectores de Cálculo en una Curva Polar

Finalmente los resultados que se obtienen al agrupar y procesar los vectores de cálculo nos ayudan a obtener los valores para graficar una curva polar, dicha curva proporciona información sobre, la distribución fotométrica del flujo lumínico contaminante emitido a la bóveda celeste.

Para graficar estos valores se aplica el criterio que se utiliza al graficar la curva polar pero matizando el concepto:

- El ángulo C indica el plano vertical y $\langle\langle\gamma\rangle\rangle$ mide la inclinación respecto al eje vertical de la luminaria. Y como mencionamos anteriormente γ=0º representa eje vertical hacia arriba

- Los radios representan el ángulo $\langle\langle\gamma\rangle\rangle$ y las circunferencias concéntricas el valor de la intensidad en candelas.

- Y por último el otro concepto que matizamos es la orientación de los planos $\langle\langle C\rangle\rangle$, como hemos comentado anteriormente los orientamos respecto al norte geográfico, donde se definen los ángulos C=0º y C=180º con un azimut de 0º respecto al norte geográfico.

Para representar los resultados es necesario utilizar un software de diseño asistido por ordenador que permite realizar dibujos en dos y tres dimensiones (AutoCAD 2009). Se dibuja en un plano la Intensidad luminosa en forma de radios vectores en una dirección determinada y uniendo los extremos de estos radios vectores se tiene la curva de distribución polar de un caso tipo, cuyos valores parten de un punto único considerado el centro geométrico (Espín Estrella et al. 2009).

En la siguiente tabla se expone un ejemplo comparativo de un caso de estudio donde solo varía la tipología de luminaria y se puede apreciar las diferencias entre las intensidades.

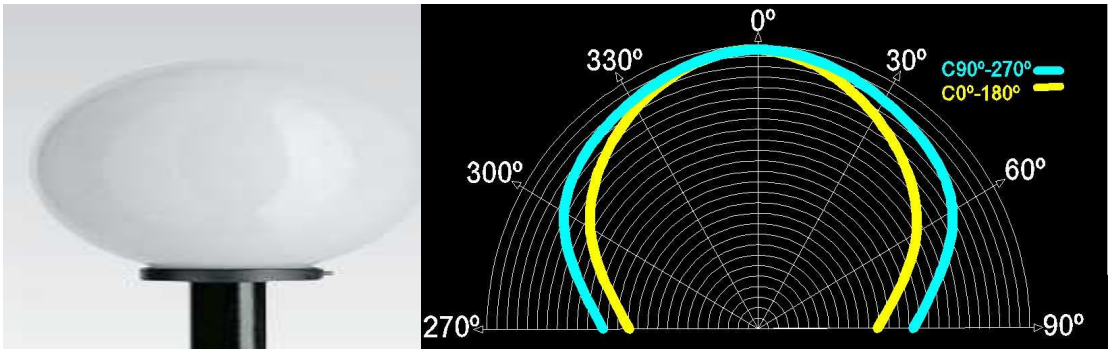
Tabla 2: Ejemplo comparativo de un caso de estudio

	Tipología de luminaria A	Tipología de luminaria F	
Planos C – ángulo ɣ	Intensidad (cd) ct1 p.o 0%	Intensidad (cd) ct4 p.o 0%	Valores relativos respecto a La luminaria A
C(90º-270º)- ɣ 90º	2318	913	39%
C(90º-270º)- ɣ120º	3347	1593	48%
C(90º-270º)- ɣ150º	3763	2197	58%
C(90º-270º)- ɣ180º	3991	2498	63%
C(90º-270º)- ɣ210º	3763	2197	58%
C(90º-270º)- ɣ240º	3347	1593	48%

C(90º-270º)- ɣ270º	2318	913	39%
C(0º-180º)- ɣ 90º	1784	724	41%
C(0º-180º)- ɣ 120º	2728	1451	53%
C(0º-180º)- ɣ 150º	3501	2162	62%
C(0º-180º)- ɣ 180º	3991	2498	63%
C(0º-180º)- ɣ 210º	3642	2194	60%
C(0º-180º)- ɣ 240º	2898	1494	52%
C(0º-180º)- ɣ 270º	1927	759	39%

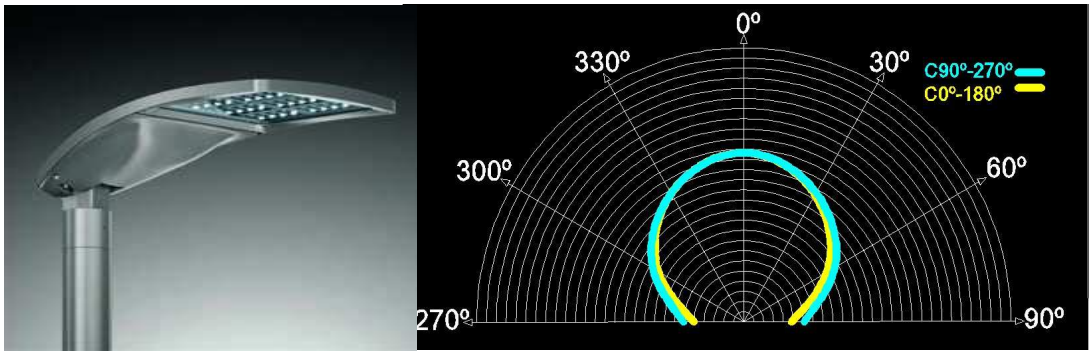
Nota: Ejemplo comparativo de un caso de estudio donde solo varía la tipología de luminaria y se aprecia las diferencias entre en las intensidades.

Figura 6: Diferente intensidad lumínica en fusión del ángulo



Nota: Tipología de luminaria A

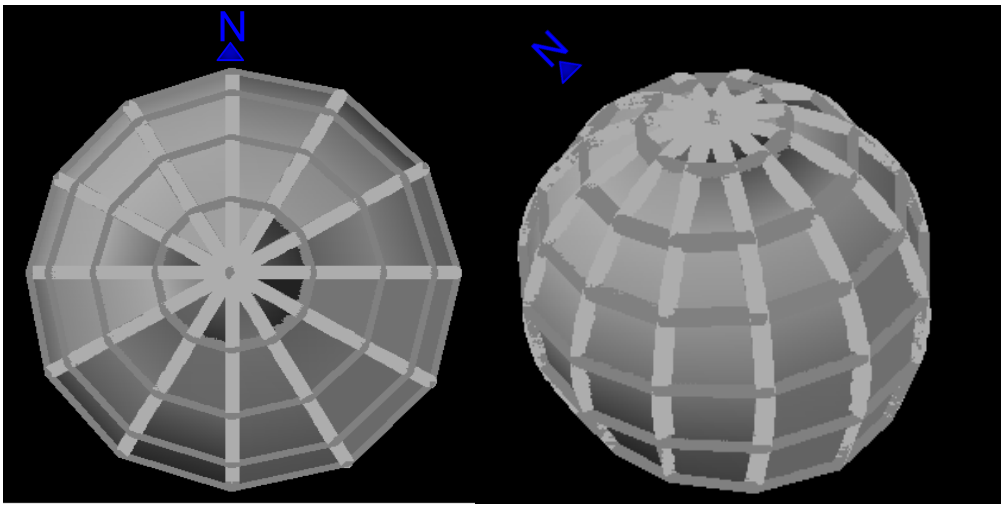
Figura 7: Diferente intensidad lumínica en fusión del ángulo



Nota: Tipología de luminaria F

Y por ultimo para graficar el sólido fotométrico en 3D se representa las intensidades en el espacio y se unen los extremos de los radios vectores. Para hacer una representación de los planos en tres dimensiones utilizando el AutoCAD se simula la posición de los planos ⟨⟨C⟩⟩ colocándolos en vertical y rotándolos en torno al centro geométrico según su ángulo.

Figura 8: Vista 3D en planta y en perspectiva de los planos verticales ⟨⟨C⟩⟩.



5. Conclusiones

Este modelo representa una aportación importante en el análisis y comprensión de la contaminación lumínica, ya propone una aplicación metodológica de fácil utilización, y en la que se valoran parámetros que inciden en este fenómeno.

Asimismo podemos destacar que una de las aportaciones más relevantes es la caracterización de la distribución fotométrica de la luz al determinar las intensidades en cada una de las direcciones del espacio, a través de simulaciones y análisis informáticos del caso de estudio, y utilizando una metodología vectorial que tiene en cuenta la forma elipsoidal de la tierra.

Además el desarrollo metodológico de este modelo, constata la incidencia que los diferentes parámetros presentes en un caso de estudio, tienen sobre la caracterización del flujo lumínico contaminante, es decir que la distribución espacial de dicho flujo se determina no solo por la magnitud de las instalaciones sino también, por las características fotométricas, factores de forma y reflexión de los espacios iluminados presentes en un caso. Parámetros reales que se ajustan a la realidad de los casos estudiados.

6. Referencias Bibliográficas

Aube, M., Franchomme, L., Robert, P., & Houle, V. (2005). Light pollution modelling and detection in a heterogeneous environment: toward a night-time aerosol optical depth retreival method. In Optics & Photonics, pp.589012–589012.

AutoCAD Autodesk. (2009). AutoCAD.

Cinzano, P. & Diaz Castro, F.J. (2000). The artificial sky luminance and the emission angles of the upward light flux. Memorie della Societa Astronomica Italiana, 71, p.251. Available at: http://adsabs.harvard.edu/full/2000MmSAI..71..251C.

Dialux, 2014. Dialux 4.12. (2014). Available at: http://www.dial.de/DIAL/es/home.html.

Dorremochea, C.H. (2013). Derecho a las estrellas: cultura espacial y calidad del cielo nocturno. In Madrid: III SEMINARIO SOBRE ACTIVIDADES ESPACIALES Y DERECHO.

Espín, E. A., Fernado, A. D., Manzano, E., & Espin, M. (2009). Luminotecnia básica para ingenieros. Granada, Universidad de Granada.

Estrada, R., García, M., Acosta, L., Bará, S., Sanchez A., & Zamorano, J. (2015). Statistical modelling and satellite monitoring of upward light from public lighting. Lighting Research and Technology.

Froy, O., Gotter, A. L., Casselman, A. L., & Reppert, S.M. (2003). Illuminating the Circadian Clock in Monarch Butterfly Migration. Science, 300(5623), pp.1303–1305.

Garcia, M., & Lamphar, H. (2010). Quantification and assessment of the energy waste due to obstructive light, research methodology and analysis. Lighting Quality&Energy Efficiency.

Garcia, M., & Lamphar, H. (2009). Quantification and assessment of the energy waste due to obstructive light. Research Methodology and analysis. Lighting Quality and Energy Efficiency.

Garstang, R.H. (1986). Model for artificial night-sky illumination. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 98, p.364. Available at: http://adsabs.harvard.edu/abs/1986PASP...98..364G.

Gaston, K., Bennie, J., Davies, T., & Hopkins, J. (2013). The ecological impacts of nighttime light pollution: a mechanistic appraisal. Biol Rev Camb Philos Soc, 88(4), pp.912–927.

IDAE; CEI. (2001). Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación,

Kocifaj, M. (2007). Light-pollution model for cloudy and cloudless night skies with ground-based light sources. Applied optics, 46(15), pp.3013–3022.

Kocifaj, M., & Solano, H. (2014). Quantitative analysis of night skyglow amplification under cloudy conditions. Journal of astronomical society, 443, p.12.

Kyba, C. C., Ruhtz, T., Fischer, J., & Hölker, F. (2011). Cloud Coverage Acts as an Amplifier for Ecological Light Pollution in Urban Ecosystems. PloS one, 6(3), p.e17307.

Longcore, T., & Rich, C., 2004. Ecological light pollution. Frontiers in Ecology and the Environment, 2(4), pp.191–198.

Montevecchi, W.A. (2006). Influences of artificial light on marine birds. In Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington, D.C.: Island Press, pp. 94–113.

Narisada, K., & Schreuder, D., 2004. Light pollution handbook, Netherlands: Springer Science & Business Media.

Parlament de Catalunya. (2001). Leei d'ordenació ambiental de l'enllumenament per a la protecció del medi nocturn, Butlletí Oficial del Parlament de Catalunya, del 28 de maig de 2001, núm. 187.

Rosales, A.P. (2002). El problema de la contaminación lumínica. Web "Cielo Oscuro." Available at: http://www.astrogranada.org/cieloscuro/htm/que_es_cl.htm#inicio_pag.

San Martín Páramo, R., García Gil, M. & Solano Lamphar, H. (2009). Metodologia RAMAL-UPC para análisis cuantitativo de la contaminación lumínica. In CEI, ed. Pontevedra, España: XXXV Simposio nacional de iluminación. Comité español de iluminación. Available at: http://upcommons.upc.edu/e-prints/handle/2117/8854 [Accessed April 25, 2014].

San Martín, P. R., Lamphar, H., García, M., & Ferrero, A.L. (2009). Contaminación lumínica en espacios naturales. Investigación en el Parque Natural del Delta del Ebro. In XXXV Simposium Nacional de Alumbrado.

San Martín, R., García, M., Lamphar, H., & Francia Payàs, P. (2012). Contaminación lumínica. Una visión desde el foco contaminante: El alumbrado artificial., Barcelona: Iniciativa Digital Politécnica.

Sánchez, A., Zamorano, J., Pila, B., Rubio, J., Ruiz, R., Rodríguez, I., & González, A. (2010). Contaminación Lumínica en España 2010. In IX Meeting of the Spanish Astronomical Society. Madrid: SEA.

Treanor, P.J. (1973). A simple propagation law for artificial night-sky illumination. The Observatory, Vol. 93, pp.117–120.

UNESCO, la Unión Astronómica Internacional, el C.M. de la C. (1992). Declaración sobre la reducción de impactos ambientales adversos para la astronomía. Available at: http://www.celfosc.org/biblio/general/herranz2013.pdf.

Vincenty, T. (1975). Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations. Survey review, no 176, pp.88–93.

Walker, M.F. (1977). The effects of urban lighting on the night sky. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 89(June), pp.405–409. Available at: http://adsabs.harvard.edu/abs/1977PASP...89..405W.

04-028

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF BIOMASS TRANSPORTATION OVER THE SUSTAINABILITY OF PHYTOREMEDIATION SCHEMES

Vigil Berrocal, Miguel Angel [1]; Ortega Fernández, Francisco [1]; Martínez Huerta, Gemma [1]; Marey Pérez, Manuel Francisco [2]

[1] Universidad de Oviedo, [2] Universidad de Santiago de Compostela

Phytoremediation is a soil remediation technology that belongs to the gentle remediation techniques category due its lower environmental impacts compared to conventional procedures. However, recent publications show that the sustainability of this type of soil remediation is compromised when the produced biomass is not properly managed therefore, before selecting a particular technology for a specific case, the different available options to biomass management in the vicinity need to be assessed. To perform such task, it is required to define in advance the geographical extension that should be considered, and more specifically, stablishing the distance between the contaminated site and the management facility that could be considered as reasonable. To answer that question, this paper analyze the environmental implications of the operation of a truck used to transport the produced biomass through simulations done over a theoretical Digital Elevation Model that could be considered representative for average developed countries conditions.

Keywords: *Phytoremediation;LCA;transport*

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL TRANSPORTE EN LA SOSTENIBILIDAD DE LOS PROYECTOS DE FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación es una tecnología de recuperación de suelos contaminados perteneciente a la categoría denominada “gente remediation”, por acarrear menores impactos medioambientales que las tecnologías de remediación convencionales. Sin embargo, recientes publicaciones establecen que la sostenibilidad de estas técnicas puede verse comprometida cuando la biomasa producida no es conveniente gestionada, por lo que antes de escoger la tecnología más adecuada para un caso concreto, deben evaluarse las distintas opciones de aprovechamiento que estén disponibles en la zona. A tal efecto, se hace necesario definir el marco geográfico que debe ser estudiado, y más concretamente establecer qué distancia entre el lugar donde se realiza la fitorremediación y el centro de aprovechamiento puede considerarse como razonable. Para dar respuesta a dicha pregunta, esta comunicación examina las implicaciones ambientales del transporte de la biomasa procedente de fitorremediación al centro de aprovechamiento, mediante un análisis de los impactos producidos por la operativa de un camión de transporte de biomasa. Para tal efecto se realiza una simulación computacional sobre un modelo de carreteras teórico que se considera representativo de las condiciones medias de cualquier país desarrollado.

Palabras clave: *fitorremdiacion;ACV;transporte*

Correspondencia: Manuel Francisco Marey Pérez manuel.marey@usc.es

1. Introducción

La actividad industrial ha generado una gran bolsa de suelos contaminados causando serios perjuicios al medio ambiente. Solamente en la Unión Europea, se estima que hay hasta 3.6 millones de suelos contaminados (European Commission [EC], 2006). La mayor parte de éstos presentan cantidades variables de metales pesados y están principalmente originados por las actividades industriales y agrícolas.

Los suelos contaminados por metales pesados pueden ser remediados por medio de técnicas biológicas que utilizan las actividades metabólicas de ciertos organismos (plantas, hongos…) para extraer los contaminantes, degradarlos o transformarlos en productos inocuos. Por otro lado, se pueden emplear tratamientos fisicoquímicos que utilizan propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación. Este último grupo recibe la denominación de tecnologías convencionales y pueden remediar el suelo en un periodo limitado de tiempo pero conllevan notables aspectos negativos como por ejemplo la degradación irreversible de la calidad edáfica del suelo impidiendo el posterior uso agrícola de éste (Vangronsveld y Cunningham, 1998).

Existe un grupo de plantas, llamadas hiperacumuladoras, que tienen la capacidad de extraer grandes cantidades de metales del suelo y acumularlos en sus tejidos, permitiendo tras sucesivas cosechas la remoción de contaminantes sin utilizar las agresivas técnicas convencionales anteriormente mencionadas (Rascio y Navari-Izzo, 2011). Esta técnica presenta notables ventajas frente a las convencionales dado que tiene unos costes similares a los cultivos agrícolas, significativamente más bajos que los de los tratamientos fisicoquímicos (Glass, 1999), y además permite mejorar la calidad del suelo mejorando sus condiciones hidrológicas, aumentando la cantidad de materia orgánica en éste, promoviendo la actividad microbiana, reduciendo la erosión y protegiendo el suelo de la exposición directa al sol (Cameselle et al., 2013). Sin embargo, esta tecnología no está exenta de desventajas, como los largos periodos de tiempo precisos para conseguir la recuperación de un suelo contaminado (Fumagalli et al., 2014)(Dickinson et al., 2009), la selectividad de cada planta para ser capaz de retirar solamente uno o dos metales pesados del suelo (Doumett et al., 2008), el riesgo de que durante la fitorremediación metales pesados puedan entrar en la cadena trófica a través de la ingesta de los tejidos ricos en metales de la planta por parte de animales de pasto, y el hecho de que su aplicabilidad se limita a los metales que se encuentran en la rizosfera del cultivo. Finalmente, es importante tener en cuenta que se debe realizar una correcta gestión de la biomasa, rica en metales, que se genera tras las cosechas. No en vano, recientes estudios muestran que la sostenibilidad de la técnica se ve comprometida si la biomasa no es valorizada de algún modo (Vigil et al., 2015). Las opciones más habituales son la disposición a vertedero, su utilización como compost, y muy especialmente la valoración energética de la biomasa.

Aunque la fitorremediación se percibe generalmente como una tecnología sostenible, como toda actividad agrícola puede causar numerosos impactos ambientales, principalmente debido a la cosecha (von Blottnitz y Curran, 2007), la aplicación de fertilizantes y pesticidas, las emisiones directas (Suer y Andersson-Sköld, 2011), y la gestión de la biomasa.

La importancia de la correcta gestión de la biomasa procedente de fitorremediación ha sido considerada en un reciente Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD) desarrollado en el proyecto REJUVENATE para la gestión sostenible de suelos degradados (Andersson-Sköld et al., 2014). Cabe destacar que este proyecto no es específico para fitorremediación aunque el hecho de que se dirija a la gestión de suelos contaminados mediante el establecimiento de especies vegetales la incluye.

Este SAD, aplica una lógica iterativa basada en 4 pasos:

1. Idoneidad del cultivo: Donde se considera una paleta de posibles cultivos que pueden ser aprovechados en la región a estudio, y que tienen un “mercado” potencial local. El resultado de este paso es una lista de plantas candidatas.
2. Idoneidad de la parcela: Donde se analiza con mayor detalle si las condiciones locales de la parcela permiten el establecimiento de los cultivos preseleccionados en el paso 1.
3. Valor: Donde a través de un análisis coste-beneficio se establece si la inversión es rentable (desde un sentido amplio, no estrictamente económico).
4. Riesgo: Se analizan los riesgos que pueden aparecer en el proyecto.

Tal y como muestra el primer paso del SAD, para establecer la idoneidad de una especie se debe estudiar qué cultivos tienen posibilidades de valoración dentro de un contexto local. Si además se tiene en cuenta que la construcción de instalaciones de aprovechamiento es muy improbable que vengan justificadas por la fitorremediación de un suelo, salvo que se trate de extensiones muy vastas y que sean incluidas en un planeamiento a escala regional con una perspectiva a largo plazo, la elección de una tecnología de fitorremediación para la descontaminación de una parcela concreta debe comenzar necesariamente mediante el estudio de la posibilidades de valoración que su biomasa tiene en sus cercanías.

A tal efecto, este artículo pretende desarrollar una metodología que sirva para establecer desde una perspectiva medioambiental cuál es la distancia máxima entre la parcela a fitorremediar y el centro de aprovechamiento de biomasa que puede considerarse como razonable y ser susceptible de consideración en los análisis iniciales de los proyectos de fitorremediación.

2. Materiales y Métodos

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se ha elegido como la técnica a utilizar para el estudio de las implicaciones ambientales del transporte de la biomasa al centro de gestión de la biomasa. El ACV está muy indicado para estos análisis dado que incluye el completo ciclo de vida del proyecto, desde la extracción de los recursos, la producción y uso de los materiales hasta su disposición final. Las implicaciones ambientales se expresan a través de un set de indicadores representativos del impacto completo causado, y por lo tanto evita una posible minusvaloración causada por trasladar las cargas ambientales entre diferentes categorías ambientales, fases de la remediación y territorios (Finnveden et al., 2009).

2.1 Escenarios analizados

Para este estudio, se han seleccionado 3 posibles cultivos y su posterior aprovechamiento de la biomasa:

- Maíz (*Zea mais*) que será utilizado como materia prima del etanol.
- Colza (*Brassica napus* var. Oleífera) que se utilizará para la producción de biodiesel
- Hierba genérica que será utilizada para la producción de biogás mediante digestión anaeróbica.

Por otro lado, se han considerado dos escenarios de no valorización de la biomasa mediante su disposición a vertedero. En un caso se utilizó un vertedero inerte (con características ambientales similares a uno de residuos de demolición) al que se enviaría en caso de que la tasa de acumulación de metales no sea muy alta, y en otro caso se utilizó otro vertedero caracterizado como sanitario, que refleja las condiciones medioambientales de vertederos municipales a los que se disponen residuos sin tratamiento previo, donde se enviaría la biomasa cuando la tasa de fitoextracción sea elevada y deba tener un tratamiento especial. Esta denominación de sanitario se corresponde a la utilizada por la base de datos de ACV Ecoinvent (Doka, 2009).

Se calcula el impacto ambiental para cada escenario de aprovechamiento y de disposición en vertedero. Dado que una vez se cosecha la biomasa, ésta es o bien enviada a valorizar, o bien dispuesta en un vertedero, se toma este último caso como referencia de comparación en lugar del 0. Los escenarios de valorización en los que el impacto es inferior al de la disposición en vertedero se consideran medioambientalmente más favorables. Posteriormente, se evalúa el impacto ambiental del transporte y se busca la distancia a la que la ganancia ambiental de la valoración se anula, considerándose ésta como la distancia máxima viable. Como no sería representativo considerar que el vertedero se encuentra junto a la parcela en remediación, dicha distancia se expresa como la diferencia de las distancias de la parcela a vertedero y de la parcela al centro de valorización.

2.2 Modelización

La modelización de las afecciones ambientales tanto del cultivo y cosecha de las plantas como de la conversión energética y la disposición a vertedero se basa en los resultados ofrecidos por la base de datos Ecoinvent v2.2 (Ecoinvent Centre, 2010):

Tabla 1: Procesos Ecoinvent utilizados

Método de gestión de biomasa	Procesos Ecoinvent utilizados
Producción etanol	Ethanol, 95% in H2O, from corn, at distillery
Producción biodiésel	Rape methyl ester, at esterification plant
	Grass from meadow intensive IP, at field
Producción biogás	Biogas, from grass, digestion, at storage
	Methane, 96 vol-%, from biogas, at purification
Disposición en vertedero inerte	Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill
Disposición en vertedero sanitario	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill

Se ha elegido utilizar Ecoinvent debido a que los datos suelen ser europeos y están aceptablemente actualizados. Esta base de datos ha sido ya utilizada en varios estudios similares (Suer y Andersson-Sköld, 2011; Yue et al., 2014; Perimenis et al., 2011 y Vigil et al., 2015), y además asegura que el inventario es consistente y que los procesos son comparables entre sí.

La valoración del impacto producido por cada aprovechamiento tiene en cuenta el impacto evitado de la producción del combustible al que sustituye. Para valorar dicha sustitución, se ha utilizado de nuevo la base Ecoinvent, y la equivalencia puede verse en la Tabla 2.

Tabla 2: Combustible evitado y factor de equivalencia para cada aprovechamiento realizado

Aprovechamiento	Combustible evitado	Factor equivalencia	Proceso Ecoinvent
Etanol	Gasolina	1kg etanol/0,869 kg gasolina	Petrol, unleaded, at regional storage
Biodiésel	Gasoil	1 kg biodiésel/0,595 kg gasoil	Diesel, low-sulphur, at regional storage
Metano	Gas natural	1 Nm3 metano/1 1 Nm3 gas natural	Natural gas, production mix, at service station

Los procesos de Ecoinvent utilizados para la modelización de los cultivos y sus aprovechamientos fueron modificados reemplazando la caracterización del transporte de la base de datos, que considera unas condiciones tipo para Suiza o la Unión Europea, con una caracterización que permita valorar las afecciones del transporte en condiciones locales, reflejando el tipo de carretera utilizada, pendiente, etc., mediante un modelo que se detalla a continuación:

1. Se considera que la biomasa va a ser transportada al centro de aprovechamiento mediante el uso de un camión de categoría 32-40 toneladas fabricado para cumplir la normativa de emisiones EURO IV. Se ha elegido este tamaño de camión ya que puede ser considerado como representativo para las condiciones de transporte de graneles en la Unión Europea, dado que aunque actualmente la mayoría de los camiones circulando en la Unión son EURO III, si se mantiene la tendencia de reemplazo de vehículos, es esperable que a corto plazo los EURO IV les superen en número (European Environment Agency [EEA], 2012).
2. El impacto del transporte se valorará utilizando el proceso de Ecoinvent “Transport, lorry>32t, EURO4”. No obstante, con objeto de particularizar el impacto ambiental para diferentes tipos de carreteras y condiciones, este proceso es también modificado reemplazando el consumo genérico que incluye, por el resultante de aplicarle un modelo de consumo de gasoil a un mapa de carreteras teórico como será descrito a continuación.
3. Para la modelización se establece el uso de un camión “Iveco Stralis” que lleva enganchado un semirremolque con barandas rebatibles de 42,12 m^3 útiles de capacidad (Masspell, 2015). Esta combinación ejemplo arroja un peso máximo autorizado a transportar de 15,75 toneladas. Si bien este peso es correcto para los casos de la colza y el grano de maíz, el peso del transporte de la hierba para biogás debe ser minorado debido a su baja densidad aparente, 350 kg/m3 (Stemm, n.d.), en cuyo caso el volumen es limitante y el peso máximo transportable es de 14 toneladas por viaje.
4. Con objeto de analizar cualquier situación posible de transporte de biomasa por carretera, se desarrolló un Modelo Digital del Terreno (MDT) teórico con un marco de 100 km, en el que se han simulado 45.000 nodos (puntos potenciales por los que pasará la red) de los cuales 100 son nodos de origen (lugares de producción y recogida de residuos) y 10 de destino (tratamiento de residuos) y se han creado aleatoriamente toda la red de arcos posibles rutas entre éstos. Se establecieron como restricciones que las pendientes de los 1.426.732 arcos que unen todos los nodos estén entre -6% y +6% (límites impuestos por modelo de cálculo de consumo de combustible que se detalla más adelante en este apartado) y que representan una red de carreteras teóricas sobre las que se prueban las diferentes rutas. A tal efecto se utilizó la base de datos espacial PostGIS (PostGIS, 2015), que se trata de un software libre, con licencia GNU y GPL que permite convertir una base de datos PostgreSQL (nube de coordenadas de puntos creados de forma aleatoria de acuerdo a ciertas restricciones) en una base de datos espacial capaz de almacenar y trabajar de forma eficaz con datos espaciales.

Figura 1: Captura de pantalla de la nube de puntos del MDT desarrollado

Dado el altísimo número de rutas a manejar, este modelo fue simplificado en un segundo paso tomando solamente las rutas óptimas en tiempo, consumo de combustible y distancia resultando en un total de 2.000 casos de estudio. Esta simplificación permitió eliminar del análisis rutas excesivamente largas que no serían representativas de condiciones reales.

De ese modo, se han establecido 2 tipologías básicas de carreteras:

- Carretera lenta, que representa condiciones rurales o urbanas, caracterizada por bajas velocidades (12 km/h) y todo tipo de pendientes.
- Carretera convencional, caracterizada por altas velocidades (hasta 86 km/h) y pendientes más suaves.

Mediante la combinación de estas 2 tipologías fundamentales de carretera se ha procedido a caracterizar cualquier tipo de ruta.

5. Finalmente, se ha calculado el consumo de gasoil para cada una de las rutas optimizadas utilizando el modelo COPERT 4 modificado para TREMOVE e incluido en éste (TREMOVE, 2007). Este modelo basado en cálculos estadísticos proporciona para cada tipo de vehículo resultados de consumo por kilómetro en función de la velocidad, la pendiente y la carga.

2.3 Metodología de análisis de impacto de ciclo de vida

La técnica de la fitorremediación conlleva numerosos impactos ambientales tales como el agotamiento de recursos, las emisiones de efecto invernadero, la eutrofización y la acidificación, por lo que sus impactos ambientales han de ser tratados desde una perspectiva integral. De ese modo, la metodología de análisis de impacto de ciclo de vida (AICV) elegida ha sido ReCiPe debido a:

1. Considera el uso del suelo
2. Los modelos que incluyen son ampliamente aceptados
3. La integración de todos los daños al medioambiente en un único indicador agregado que permite una fácil interpretación y comparación (Hou et al., 2014).

Un análisis más exhaustivo en el que se establece a ReCiPe como la metodología más idónea para la valoración de los impactos ambientales en proyectos de fitorremediación puede consultarse en (Vigil et al., 2012).

2.4 Unidad funcional

Debido a las diferencias en rendimiento de biomasa por hectárea de los 3 cultivos, con objeto de establecer un marco comparable para todos los cultivos y aprovechamientos, se toma como unidad funcional un viaje de camión al 100% de capacidad, independientemente de la superficie remediada para alcanzar dicha producción.

2.5 Software

Para el desarrollo del trabajo se ha utilizado QGIS (QGIS, 2015) ser trata de un Sistema de Información Geográfico de código libre desarrollado inicialmente para plataformas GNU/linux. Se trata de un proyecto pionero de la *Open Source Geospatial Fundation* (OSGeo, 2015) para el desarrollo de tecnología geoespacial de código abierto. Dos de las ventajas de este programa son la capacidad para manejar de forma conjunta formatos vectorial y raster y poder vincular sus bases de datos espaciales a PostgreSQL (Postgres, 2015) o Postgis (Postgis, 2015). Ambos se han utilizado en nuestro caso, el primero de ellos para el manejo de los datos y el segundo para la componente espacial de los mismos, como se explica brevemente en el apartado 2.2 (4).

3. Resultados

3.1 Simulación de consumos de combustible en el MDT

Se han realizado dos simulaciones de consumo coincidiendo con los dos tipos de carreteras: Vías lentas y vías rápidas.

Para el análisis de cada tipo de vía se han tomado 2.000 casos, dando como resultados los valores mostrados en Tabla 3 en gramos de gasoil por kilómetro:

Tabla 3: Resultados de consumo de combustible

Tipo de vía	Media (gr/km)	Desviacion estándar
Lenta	745	86
Rápida	349	104

3.2 Impactos ambientales excluyendo el transporte

Por otro lado, aplicando la metodología ReCiPe se obtienen para cada unidad funcional (1 viaje de camión a carga completa) los siguientes resultados excluyendo el transporte (Tabla 4):

Tabla 4: Resultados de Impacto ambiental excluyendo el transporte de biomasa (ReCiPe H,A)

	ReCiPe (H,A)				
	Aprovechamiento	Vertedero inerte	Diferencia inerte	Vertedero sanitario	Diferencia sanitario
Biodiésel	3.613	812	-2.801	866	-2.747
Biogás	755	810	55	859	104
Etanol	664	812	148	866	202

Posteriormente, basándose en dicha diferencia, tanto respecto al vertedero inerte como respecto al sanitario, se ha calculado para cada tipo de carretera la distancia a la que se podría enviar la biomasa hasta anular los impactos beneficiosos de la producción de bioenergía.

3.3 Análisis de distancia para la producción de Biodiésel

El resultado del modelo basado en Ecoinvent muestra que la producción de biodiesel con colza es medioambientalmente desfavorable comparado con su disposición a cualquier vertedero según el indicador agregado ReCiPe (3.613 puntos para la producción respecto a 812 para el vertedero inerte y 866 para el sanitario).

3.4 Análisis de distancia para la producción de Etanol

Como puede verse en Tabla 5, la distancia máxima a la que puede transportarse el grano de maíz a un centro de aprovechamiento respecto a un vertedero de residuos inertes sin que el balance ambiental torne a desfavorable es de 831 km en caso de utilizar exclusivamente vías rápidas y con pendientes muy suaves, y de 446 km en caso de utilizar vías lentas con grandes pendientes. Casos intermedios se situarían entre los 500 y 600 km.

Tabla 5: Distancias viables máximas para cada tipo de carretera respecto a disposición en vertedero inerte (etanol)

% vía lenta	% vía rápida	Km con media de consumo	Km con media de consumo+σ	Km con media de consumo-σ
100	0	478	446	516
90	10	495	459	537
80	20	513	474	559
70	30	532	490	582
60	40	553	506	608
50	50	575	524	637
40	60	599	543	668
30	70	626	564	703
20	80	654	586	741
10	90	686	610	783
0	100	721	636	831

En caso de tener que realizar la disposición en un vertedero caracterizado como sanitario, como era esperable dichas distancias aumentan, con máximos que rondan los 1100 km, mínimos sobre 600 km y una media de aproximadamente 800 km (Tabla 6).

Tabla 6: Distancias viables máxima para cada tipo de carretera respecto a disposición en vertedero sanitario (etanol)

% vía lenta	% vía rápida	Km con media de consumo	Km con media de consumo+σ	Km con media de consumo-σ
100	0	653	608	705
90	10	675	627	732
80	20	700	647	762
70	30	726	668	795
60	40	754	691	830
50	50	785	715	869
40	60	818	741	912
30	70	854	770	959
20	80	893	800	1011
10	90	936	833	1069
0	100	984	868	1134

3.5 Análisis de distancia para la producción de Biogás

Para el caso del biogás, debido a que el balance medioambiental de su producción es menos favorable que el del etanol, las distancias que hacen tornar en desfavorable el aprovechamiento comparado con su envío a vertedero son inferiores.

Para el caso de que la disposición alternativa se realizase en un vertedero inerte, como muestra la Tabla 7 las distancias máximas rondan los 350 km, mientras que las mínimas se reducirían a los 200 km.

Tabla 7: Distancias viables máximas para cada tipo de carretera respecto a disposición en vertedero inerte (biogás)

% vía lenta	% vía rápida	Km con media de consumo	Km con media de consumo+σ	Km con media de consumo-σ
100	0	208	194	225
90	10	216	200	234
80	20	223	206	243
70	30	232	213	254
60	40	241	221	265
50	50	251	228	277
40	60	261	237	291
30	70	273	246	306
20	80	285	255	323
10	90	299	266	341
0	100	314	277	362

Del mismo modo, si alternativamente la disposición se realizase en un vertedero sanitario, dichas distancias aumentan tal y como sucedía para el etanol, permitiendo distancias entre los 400 y los 700 km (Tabla 8):

Tabla 8: Distancias viables máxima para cada tipo de carretera respecto a disposición en vertedero sanitario (biogás)

% vía lenta	% vía rápida	Km con media de consumo	Km con media de consumo+σ	Km con media de consumo-σ
100	0	416	387	448
90	10	430	399	466
80	20	445	412	485
70	30	462	425	506
60	40	480	440	529
50	50	500	455	553
40	60	521	472	580
30	70	544	490	610
20	80	569	509	644
10	90	596	530	681
0	100	626	553	722

4. Discusión y conclusiones

Esta comunicación presenta una nueva metodología de evaluación de la influencia del transporte en los proyectos de fitorremediación. En esta metodología se establece el rango de distancias en el que tomándose en cuenta las condiciones locales de la ruta a recorrer, es medioambientalmente razonable enviar la biomasa procedente de fitorremediación para su aprovechamiento asegurando que la totalidad de los impactos del aprovechamiento no superan a. los de la mera disposición a vertedero.

El proceso de Ecoinvent “Transport, lorry>32t, EURO4” sin modificaciones emplea para recorrer lleno de hierba para biogás 292 gramos por kilómetro de gasoil y 344 gramos para transportar el grano de maíz. Estos resultados están próximos a los límites inferiores de nuestro modelo, mostrando cómo la utilización exclusiva de esta base de datos minusvaloraría para la mayor parte de las situaciones el consumo de combustible y en consecuencia el impacto ambiental.

Los resultados de esta investigación dejan abierta la puerta a ser completados por las siguientes líneas de futuro:

1. Extensión de la metodología para todos los aprovechamientos posibles
2. Inclusión de factores económicos en el análisis para establecer en qué casos la viabilidad económica es el factor limitante y en qué casos lo es la viabilidad ambiental.
3. Aplicación de la metodología a casos concretos con objeto de refinar los resultados.
4. Inclusión de esta metodología en los SAD de fitorremediación holísticos que incluyan balances técnicos, económicos, sociales y ambientales.

5. Referencias

Andersson-Sköld, Y., Bardos, P., Chalot, M., Bert, V., Crutu, G., Phanthavongsa, P., Delplanque, M., Track, T.& Cundy, A.B. (2014). Developing and validating a practical decision support tool (DST) for biomass selection on marginal land. J. Environ. Manage. 145, 113–121. doi:10.1016/j.jenvman.2014.06.012.

Cameselle, C., Chirakkara, R.A. & Reddy, K.R. (2013). Electrokinetic-enhanced phytoremediation of soils: Status and opportunities. Chemosphere 93, 626–636. doi:10.1016/j.chemosphere.2013.06.029.

Dickinson, N.M., Baker, A.J.M., Doronila, A., Laidlaw, S. & Reeves, R.D. (2009). Phytoremediation of Inorganics: Realism and Synergies. Int. J. Phytoremediation 11, 97–114. doi:10.1080/15226510802378368.

Doka G., 2009. Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Ecoinvent report No. 13. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf (2009).

Doumett, S., Lamperi, L., Checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S., Petruzzelli, G. & Del Bubba, M. (2008). Heavy metal distribution between contaminated soil and Paulownia tomentosa, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. Chemosphere 72, 1481–1490. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.04.083

Ecoinvent Centre. Ecoinvent data v2.2. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, www.ecoinvent.org; 2010.

European Commission, Directorate General Environment (2007). Service contract for the further development and application of the transport and environmental TREMOVE model. Lot 1 (Improvement of the data set and model structure). Leuven

European Commission staff working document: Document accompanying the Communication from the Commission to the Council, The European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions e Thematic Strategy for Soil Protection e Impact assessment of the thematic strategy on soil protection. European Union; 2006

European Environment Agency (2012, 23 Noviembre). Average age of the vehicle fleet. Obtenido el 2 de Marzo de 2015, desde http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/average-age-of-the-vehicle-fleet/average-age-of-the-vehicle-3

Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. & Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. J. Environ. Manage. 91, 1–21. doi:10.1016/j.jenvman.2009.06.018

Fumagalli, P., Comolli, R., Ferrè, C., Ghiani, A., Gentili, R. & Citterio, S. (2014). The rotation of white lupin (Lupinus albus L.) with metal-accumulating plant crops: A strategy to increase the benefits of soil phytoremediation. J. Environ. Manage. 145, 35–42. doi:10.1016/j.jenvman.2014.06.001

Glass, D.J.(1999). Economic potential of phytoremediation. In: Raskin, I., Ensley, B.D. (Eds.), Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment. John Wiley & Sons Inc, New York, pp. 15e31

Hou, D., Al-Tabbaa, A., Guthrie, P., Hellings, J. & Gu, Q. (2014). Using a hybrid LCA method to evaluate the sustainability of sediment remediation at the London Olympic Park. J. Clean. Prod. 83, 87–95. doi:10.1016/j.jclepro.2014.07.062

Perimenis, A., Walimwipi, H., Zinoviev, S., Müller-Langer, F. & Miertus, S. (2011). Development of a decision support tool for the assessment of biofuels. Energy Policy 39, 1782–1793. doi:10.1016/j.enpol.2011.01.011

PostGIS 2.0 Manual (n.d.). Obtenido el 14 de Abril de 2015, desde **http://postgis.net/docs/manual-2.0/**

Postgis, Obtenido el 14 de Abril de 2015 **http://postgis.net**. 15-04-2015.

PostgreSQL, Obtenido el 14 de Abril de 2015 **http://www.postgresql.org**.

QGIS, Obtenido el 14 de Abril de 2015, http://www.qgis.org/es/site/

OSGeo, Obtenido el 14 de Abril de 2015 http://www.osgeo.org/

Rascio, N. & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? Plant Sci. 180, 169–181. doi:10.1016/j.plantsci.2010.08.016

Stemm Equipos Industriales, S.L. (n.d.). Tabla de densidades

Suer, P. & Andersson-Sköld, Y. (2011). Biofuel or excavation? - Life cycle assessment (LCA) of soil remediation options. Biomass Bioenergy 35, 969–981. doi:10.1016/j.biombioe.2010.11.022

Tipos de camiones y sus especificaciones (n.d.). Obtenido el 23 de Febrero de 2015, desde http://www.masspell.com/CAMIONES.pdf

Vangronsveld, J.& Cunningham, S.D. (1998). Metal-contaminated soils: In situ inactivation and phytorestoration. Springer.

Vigil, M., Marey-Pérez, M.F., Martinez Huerta, G. & Álvarez Cabal, V. (2015). Is phytoremediation without biomass valorization sustainable? — Comparative LCA of landfilling vs. anaerobic co-digestion. Sci. Total Environ. 505, 844–850. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.10.047

Von Blottnitz, H. & Curran, M.A. (2007). A review of assessments conducted on bio-ethanol as a transportation fuel from a net energy, greenhouse gas, and environmental life cycle perspective. J. Clean. Prod. 15, 607–619. doi:10.1016/j.jclepro.2006.03.002

Yue, D., You, F. & Snyder, S.W. (2014). Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: Overview, key issues and challenges. Comput. Chem. Eng., Selected papers from ESCAPE-23 (European Symposium on Computer Aided Process Engineering - 23), 9-12 June 2013, Lappeenranta, Finland 66, 36–56. doi:10.1016/j.compchemeng.2013.11.016

04-031

EFFECT OF LIGHT INTENSITY ON NUTRIENT REMOVAL FROM AN ANAEROBIC MEMBRANE BIOREACTOR EFFLUENT WITH MICROALGAE

González Camejo, Josué [1]; Murgui Mezquita, Mónica [2]; Barat Baviera, Ramón [1]; Seco Torrecillas, Aurora [2]; Ferrer Polo, José [1]

[1] Universitat Politècnica de València, [2] Universidad de Valencia

In wastewater treatment with microalgae light is the most important parameter. It has to be supplied at the proper intensity to achieve their maximum nutrient removal performance. Three experiments were carried out with different light intensity (216, 432 and 648 µmolm-2s-1) in an indigenous microalgal-bacterial culture dominated by Scenedemus sp., ramaining constant pH (7.5 ± 0.3), solids retention time and hydraulic retention time (STR=HRT=8 days) and temperature (22 ± 1ºC). Ammonium removal reached 100% in all the experiments. Nevertheless, the presence of nitrite and nitrate at low light intensity was observed due to the elimination of some quantity of ammonium by nitrification. This fact confirmed the competence in the ammonium removal between microalgae and nitrifying bacteria. Regarding phosphorous, removal rate was 96% at low light intensity and 100% in the other experiments. It was concluded that an increase of light intensity benefits microalgae growth therefore reducing the competence with nitrifying bacteria, diminishing the nitrification process and accomplishing a higher soluble nitrogen removal rate. Besides, this light intensity raise allowed a higher phosphorus removal rate as microalgae are able to subtract an upper amount of this element than nitrifying bacteria.

Keywords: *"microalgae";"light intensity";"photobioreactor";"nutrient removal";"microalgae-bacteria competence"*

INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD LUMÍNICA EN LA ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES DEL EFLUENTE DE UN REACTOR ANAEROBIO DE MEMBRANAS MEDIANTE MICROALGAS

En el tratamiento de aguas residuales con microalgas la luz es el parámetro más importante. Ésta debe aportarse a la intensidad adecuada para conseguir el rendimiento de eliminación máximo. Se realizaron tres experimentos a distintas intensidades lumínicas (216, 432 y 648 µmolm-2s-1) con un cultivo mixto de microalgas-bacterias dominado por Scenedemus sp., manteniendo constante el pH (7.5±0.3), tiempo de retención celular e hidráulico (TRC=TRH=8 días) y la temperatura (22±1ºC). La eliminación de amonio llegó al 100% en todos los experimentos, aunque se detectó presencia de nitrito y nitrato con la intensidad lumínica más baja, debido a que parte del amonio era eliminado por nitrificación. Esto confirmó la competencia por amonio entre algas y bacterias nitrificantes. En cuanto al fósforo, se alcanzó un 96% de eliminación a intensidad más baja y un 100% en el resto de experimentos. Se observó que un aumento de la intensidad lumínica favorece el crecimiento de las microalgas reduciendo así la competencia con las bacterias nitrificantes, disminuyendo la nitrificación y logrando una mayor eliminación de nitrógeno soluble del sistema. Además, este incremento de intensidad permitió mayor eliminación de fósforo, ya que las microalgas son capaces de eliminar una cantidad superior de este elemento que las bacterias.

Palabras clave: *"microalgas";"intensidad lumínica";"fotobioreactor";"eliminación de nutrientes";"competencia microalgas-bacterias"*

Correspondencia: Josué González Camejo jogonca4@upv.es

1. Introducción

Las microalgas ofrecen una solución sostenible para el tratamiento terciario de aguas residuales debido a su habilidad para eliminar nitrógeno y fósforo inorgánico. Al mismo tiempo, generan biomasa de alto valor añadido que puede emplearse para fabricar biocombustible (Chisti, 2007) o biogás (Collet & Hélias, 2011). Además, al tratarse de organismos fotosintéticos, son sumideros de dióxido de carbono; es decir, reducen la cantidad de este gas de efecto invernadero en la atmósfera.

Existen escasos estudios en los que se pruebe la viabilidad de acoplar el efluente de un Bioreactor Anaerobio de Membranas (AnMBR) con el posterior tratamiento con microalgas para la eliminación de nutrientes (Ruiz-Martínez et al., 2012). La tecnología AnMBR logra un efluente de gran calidad en lo referente a sólidos suspendidos totales (SST) y demanda química de oxígeno (DQO), al tiempo que produce una menor cantidad de fangos mientras genera biogás, lo que mejora el balance energético del proceso (Giménez et al., 2011). Sin embargo, este sistema no es capaz de eliminar de forma eficiente los nutrientes inorgánicos del agua (Razaviarani et al., 2013), que no pueden ser directamente emitidos a los cauces naturales porque pueden producir eutrofización, lo que reduce la biodiversidad del ecosistema acuático y reduce la calidad del agua.

El contenido en nitrógeno de las microalgas se encuentra en el intervalo 4-9% del contenido en materia seca (Reynolds, 2006). En general, las microalgas prefieren el amonio como fuente primaria de nitrógeno, ya que es más fácilmente asimilable (Wang et al. 2010, Znad et al. 2012); sin embargo, éstas emplean otras fuentes, como nitratos y nitritos en ausencia de amonio (Hii et al. 2011). En cuanto al fósforo, las microalgas aproximadamente poseen un 1% en peso seco (Lund, 1965). En cambio, como estrategia para asegurar el suministro de fósforo en momentos de escasez, las microalgas son capaces de acumular grandes cantidades de fósforo como polifosfato cuando existe una alta concentración en el medio. Este polifosfato puede ser empleado por las microalgas cuando el fósforo escasee (Vonshak, 1997).

El crecimiento de las algas y el consumo de nutrientes no sólo dependen de la disponibilidad de nutrientes en el medio; también de factores físicos como la intensidad de luz, la temperatura, el pH y de factores biológicos, como la competencia por amonio entre las microalgas y las bacterias nitrificantes.

La luz es el parámetro más importante relacionado con el crecimiento de las microalgas (Jonker & Faaij, 2013). Ésta debe suministrarse a la intensidad, duración y con la longitud de onda adecuadas para conseguir la productividad de biomasa algal máxima y la eliminación de nutrientes más eficiente (Termini et al. 2011). Si la intensidad de luz aplicada al cultivo es baja, debido a efectos ópticos como la dispersión y el oscurecimiento, la luz disponible para el desarrollo de las microalgas queda mayormente restringida a las zonas cercanas a la superficie iluminada (Znad et al., 2012), con lo que se produce fotolimitación. Por el contrario, una intensidad de luz demasiado alta puede dañar algunos centros de reacción del fotosistema II (PSII), lo que lleva a una reducción de la fijación del carbono necesario para realizar la fotosíntesis, provocando fotoinhibición (Jordan, 1996).

La temperatura es un factor muy sensible en el crecimiento de las microalgas y en las actividades metabólicas de las células algales. Generalmente, las temperaturas altas aceleran las actividades enzimáticas, particularmente aquellas implicadas en el ciclo de Calvin (Falkowski & Raven, 2007). En cambio, la velocidad de procesos como la fotosíntesis, la respiración o el crecimiento se reducen si se supera el valor óptimo de temperatura, llegando incluso a provocar la muerte de las células (Béchet et al., 2010). De hecho, en un estudio realizado por Chen et al. (2011) con las especies *Nannochloropsis*

oculata, Isochrysis aff. galbana, Tetraselmis chui y *Chaetoceros muelleri*, sólo ésta última fue capaz de crecer a una temperatura de 35 ºC. Li et al. (2010) observaron que *Scenedesmus sp*. LX1 era capaz de crecer en un amplio rango de temperaturas (10-30ºC), obteniendo el máximo valor de la velocidad de crecimiento a 25ºC.

Respecto a los factores biológicos, las Bacterias Amoniooxidantes (AOB) son el principal competidor de las microalgas por el consumo de amonio. Las bacterias AOB transforman amonio en nitrito mientras que las Bacterias Nitritooxiantes (NOB) llevan a cabo el segundo paso de la nitrificación oxidando nitrito a nitrato. Meseck et al. (2007) concluyeron que la presencia de bacterias nitrificantes en un cultivo de microalgas *Tetraselmis chui* provocó una disminución en su velocidad de crecimiento debido a su competición por nutrientes. Sin embargo, Risgaard-Petersen et al. (2004) observaron que las microalgas son la especie dominante en un cultivo algas-bacterias sin limitación de amonio, ya que crecen más rápido.

Tanto las microalgas como de las bacterias nitrificantes poseen similares intervalos de pH óptimos para el crecimiento. Painter y Loveless (1983) y Antoniou et al. (1990) determinaron que las bacterias nitrificantes crecían de manera óptima con valores de pH comprendidos entre 7,5-8,5. Por otro lado, la mayoría de especies de microalgas crecen más rápido con valores de pH entre 7,0 y 8,0. Posadas et al. (2015) observaron que la influencia de pH era despreciable en el rango de valores 7-9 respecto al rendimiento en el tratamiento de aguas residuales con *Scenedesmus sp.*

2. Objetivo

El objetivo del presente estudio es analizar el efecto de la intensidad de luz y de la temperatura en la eliminación de nutrientes del efluente de un reactor AnMBR mediante un cultivo mixto de microalgas-bacterias dominado por la especie *Scenedemus sp.,* así como su efecto en la competencia entre algas y bacterias nitrificantes.

3. Metodología

3.1. Inóculo y Condiciones Previas al Cultivo

Las microalgas usadas como inóculo se obtuvieron a partir de las paredes del decantador secundario de la EDAR del Barranco de Carraixet (Alboraya-Valencia, España). Consistía en un ecosistema complejo que contenía microalgas y bacterias (incluido cianobacterias). Previo a la siembra del fotobioreactor, el cultivo se aclimató al alimento en matraces de 0.25, 1 y 2L en un cultivo en batch con iluminación continua (23 μE $m^{-2} \cdot s^{-1}$).

El alimento consistía en un medio proveniente del efluente de una planta piloto AnMBR, con una carga de nutrientes de 47.8 mg $N\text{-}NH_4 \cdot L^{-1}$ y 6.1 mg $P\text{-}PO_4 \cdot L^{-1}$. Los detalles del funcionamiento de esta planta piloto han sido descritos previamente por Giménez et al. (2011) y Robles et al. (2015). La temperatura y el pH de los matraces se mantuvieron a 22ºC y 7.5, respectivamente. Bajo las citadas condiciones de operación se observó una pérdida de la biodiversidad del cultivo y *Scenedesmus* sp. se convirtió en el género dominante dentro del FBR. Existe amplio conocimiento acerca de la adaptabilidad del género *Scenedesmus* para crecer en aguas residuales (Kesaano & Sims, 2014).

3.2. Fotobioreactor: Descripción, Control y Modo de Operación.

El fotobioreactor a escala de laboratorio (FBR) consistía en un tanque cilíndrico transparente (20 cm de diámetro interno) con un volumen útil de 8L (ver Figura 1a). Para conseguir una correcta homogeneización y evitar la incrustación de algas en las paredes y el fondo del FBR, el cultivo se agitaba con un flujo de aire que circulaba a una velocidad de 1.0–1.2 $L \cdot min^{-1}$ a través de cuatro difusores de burbuja fina que estaban colocados en el fondo del

FBR. Para mantener un valor de pH fijo (7.5 ± 0.3), en el FBR se inyectaba CO_2 (99.9%) al caudal de aire desde una bala presurizada a 1.5 bar. Para optimizar la cantidad de CO_2 introducido al sistema, se colocó una tapa en la parte superior del FBR para recircular el aire retenido en el espacio entre la tapa y el cultivo.

Los parámetros físico-químicos del sistema, como la temperatura, pH y el oxígeno disuelto se monitorizaban en tiempo real mediante sondas. Para la medición de pH se utilizó un medidor multiparamétrico de la marca comercial Consort (CONSORT C832, Bélgica). Para la medición de la temperatura y el oxígeno disuelto se empleó un analizador multiparamétrico 4-star (Thermo Scientific) conectado a una sonda 087003RDO. Ambos equipos de medida se conectaron a un ordenador personal a través de un software de adquisición de datos.

El FBR operó de forma semicontinua sin separación de biomasa, con lo que el tiempo de retención hidráulico (TRH) coincidía con el tiempo de retención celular (TRC). El alimento procedía del mismo efluente del sistema AnMBR usado en el inóculo. Para mantener un TRC y TRH constante de 8 días, cada seis horas (4 alimentaciones diarias), una bomba peristáltica controlada mediante ordenador añadía 0.25 L de alimento. El volumen total del FBR permaneció constante gracias a un rebose situado en la parte superior.

3.3. Métodos Analíticos

Se evaluó la eliminación de nutrientes mediante el cultivo de microalgas mediante la medida diaria de la concentración de nitrógeno y fósforo inorgánico en la corriente influente (alimento) y en la fracción soluble del efluente del FBR (purga). Esta fracción soluble se obtenía mediante filtrado de la muestra de cultivo mediante filtros de fibra de vidrio con 0,45 mm de diámetro de poro. Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Volátiles (SSV), así como la concentración de clorofila se determinaron tres veces por semana para verificar la producción de biomasa y el contenido de clorofila. Los sólidos, la clorofila y los nutrientes (amonio, nitrito, nitrato y fosfato) se analizaron según lo establecido en Standard Methods (APHA, 2005). La concentración de clorofila total se obtuvo mediante el método tricromático, sumando el contenido de clorofila *a, b* y *c*.

3.4. Determinación de los Rendimientos de Eliminación y Productividad de Biomasa

El rendimiento del proceso se caracterizó por los rendimientos de eliminación obtenidos en el estado estacionario. Todos los rendimientos se calcularon diariamente, considerando la diferencia entre la corriente influente y efluente. El Rendimiento de Eliminación de Amonio (REA) correspondiente al porcentaje de eliminación de amonio eliminado tanto por las microalgas como por las bacterias AOB se calculó mediante la ecuación (1); mientras que el Rendimiento de Eliminación de Amonio mediante microalgas (REAm) correspondía al amonio eliminado únicamente mediante las microalgas. Para calcular REAm se consideró que todo el amonio consumido por las bacterias se había transformado en nitrito o nitrato (ver ecuación (2)). El Rendimiento de Eliminación de Fósforo (REF) era el correspondiente al porcentaje de eliminación de fósforo asimilado por las microalgas. Debido a que las microalgas eran el microorganismo dominante en el cultivo en los experimentos 1, 2 y 3, se asumió que la actividad de las microalgas era la única responsable de la eliminación del fósforo, y por tanto se calculó REF de forma análoga a REA. En cambio, en el experimento 4 se consideró una ligera variación (ver apartado *Efecto de la Temperatura*).

$$REA(\%) = \frac{(E_{NH4} - S_{NH4})}{\mathrm{E}_{NH4}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$REAm(\%) = \frac{(E_{NH4} - S_{NH4} - S_{NO2} - S_{NO3})}{E_{NH4}} \cdot 100 \quad (2)$$

Donde E corresponde a la corriente de entrada ($mg \cdot L^{-1}$) y S a la corriente de salida ($mg \cdot L^{-1}$).

Otro parámetro interesante para estudiar el buen funcionamiento del FBR es la productividad de biomasa (P). Este parámetro se calculó mediante la ecuación (3).

$$P(mgSSV \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}) = Q_{purga} \cdot SSV \cdot V_{FBR}^{-1} \quad (3)$$

Donde Q_{purga} corresponde al volumen diario de purga, SSV a la concentración de sólidos suspendidos volátiles y V_{FBR} al volumen útil del FBR.

3.5. Métodos Microbiológicos.

El número de células eucariotas se determinó mediante microscopía de epifluorescencia empleando 1000 aumentos y contando al menos 300 células y 100 de la especie o género más abundante para obtener un error menor al 20% (Pachés et al., 2012). La técnica FISH (Hibridación Fluorescente In Situ) se realizó una vez por semana para detectar la presencia de bacterias nitrificantes (AOB y NOB). La secuencia de las sondas de oligonucleótidos en este estudio fueron: NSO1125 para la detección de la Beta-Proteobacteria AOB, Ntspa712 para la mayoría de los miembros del filo Nitrospirae, NIT 3 para *Nitrobacter spp*; y la sonda EUBmix para el dominio Eubacteria, que consiste en una mezcla de EUB338, EUB338II and EUB338III. El protocolo necesario para llevar a cabo esta técnica se describe en Reyes et al. (2015). Las muestras hibridadas se observaron con un microscopio de epifluorescencia (Leica DM2500).

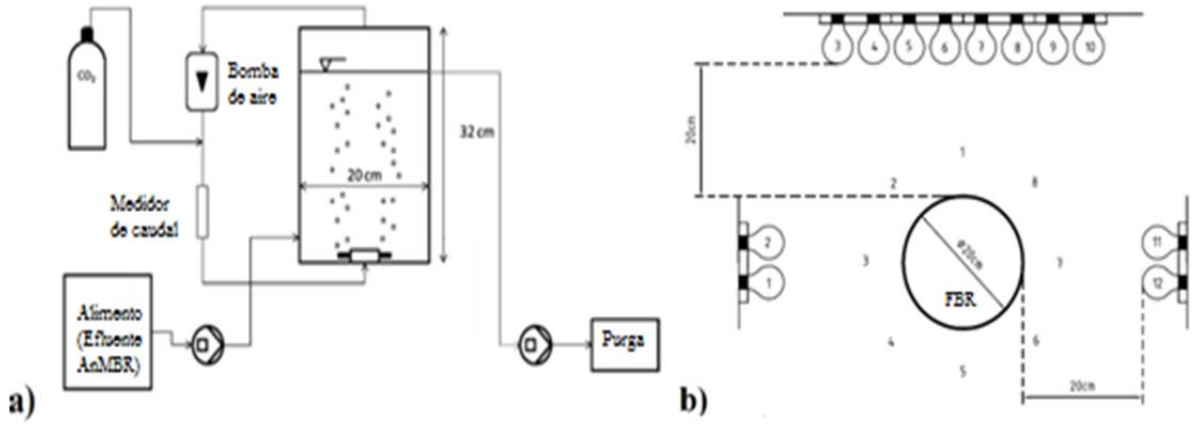
3.6. Diseño Experimental

Se llevaron a cabo 3 experimentos con 3 intensidades de luz diferentes: 23, 49 y 69 $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, respectivamente; manteniendo constante la temperatura (22.3 ± 0.5 ºC), el pH (7.5 ± 0.3) y el resto de condiciones de operación: TRC y TRH de 8 días y carga de amonio y fósforo de 57.4 ± 2.2 mg $N\text{-}NH_4 \cdot L^{-1}$ y 7.0 ± 0.9 mg $P\text{-}PO_4 \cdot L^{-1}$, respectivamente. Además, se realizó un cuarto experimento en el que se mantuvo la misma intensidad de luz que en el experimento 3 (69 $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), pero donde varió la temperatura (de 22.3 a 28.4ºC). Las condiciones de luz y temperatura, así como de oxígeno disuelto en los cuatro experimentos se muestran en la Tabla 1.

Como fuente de luz se colocaron lámparas fluorescentes (Sylvania Grolux, 18 W) en posición vertical alrededor del FBR a 20 cm de distancia como muestra la Figura 1b. Se encendieron 4 lámparas en el experimento 1 (posiciones 1, 2, 11 y 12); cuatro lámparas más se encendieron en el experimento 2 (posiciones: 5, 6, 7 y 8); y todas las lámparas se emplearon en los experimentos 3 y 4. Las lámparas fluorescentes permanecieron encendidas de forma continua: 24 horas de luz al día. Los datos correspondientes a la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) se midieron con un foto-sensor (HOBO_ Smart Sensor, s-lia-m003). Estos valores se calcularon como la media de los valores PAR medidos cada 45º (8 posiciones diferentes: ver Figura 1b).

Para controlar la temperatura en los experimentos 1, 2 y 3, el FBR se mantuvo dentro de una cámara climática que mantenía constante la temperatura. Sin embargo, en el experimento 4 se inhabilitó el control de la temperatura para estudiar el efecto de esta variable sobre el proceso.

Figura 1: Diseño experimental



a) Fotobioreactor cilíndrico a escala laboratorio (Ruiz-Martínez et al., 2012); b) Distribución de lámparas alrededor del FBR y posiciones del sensor PAR para la medición de la intensidad de luz.

Tabla 1: Condiciones de operación del fotobioreactor durante los experimentos.

Experimento	Días de operación	Intensidad de luz ($\mu E \cdot m^{-2}\ s^{-1}$)	Temperatura (ºC)	Oxígeno disuelto ($mg\ L^{-1}$)
1	18	23 ± 3	22.3 ± 0.3	8.5 ± 0.3
2	28	49 ± 7	22.3 ± 0.5	8.7 ± 0.2
3	34	69 ± 9	22.3 ± 0.5	9.1 ± 0.2
4	18	69 ± 9	28.8 ± 2.3	7.8 ± 0.4

4. Resultados

4.1. Efecto de la Intensidad Lumínica

El objetivo del primer grupo de experimentos (1, 2 y 3) fue evaluar la eliminación de nutrientes bajo tres intensidades lumínicas diferentes (23, 49 y 69 $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, respectivamente), manteniendo la temperatura de trabajo constante. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos.

El Rendimiento de Eliminación de Amonio (REA) alcanzó valores cercanos al 100% en los tres experimentos (ver Tabla 2). Sin embargo, durante todo el experimento 1 se acumuló dentro del FBR tanto nitrito como nitrato, lo que era indicador que se estaba produciendo nitrificación por parte de las bacterias. Aunque algunos estudios señalan que las microalgas son capaces de consumir como fuente de nitrógeno tanto amonio como nitratos (Li, Hu & Zhang, 2011), en estos experimentos no se observó consumo de nitratos (datos no incluidos). En todos los experimentos el fósforo añadido con cada alimentación se consumía en la primera hora del ciclo de reacción tras la alimentación (datos no incluidos). Por tanto, el FBR estaba funcionando durante gran parte del tiempo en condiciones de limitación de fósforo. Las microalgas necesitan este fósforo para, entre otras cosas, sintetizar moléculas de ATP que utilizan como fuente de energía. Además, el consumo de nitritos y nitratos por parte de las microalgas requiere un aporte energético extra, ya que deben ser reducidos previamente por las enzimas nitrato y nitrito reductasa para su asimilación (Reynolds, 2006). En consecuencia, es posible que las microalgas del cultivo en estudio no poseyeran suficiente energía para consumir los nitritos y nitratos por culpa de la escasez de fósforo.

Por consiguiente, teniendo en cuenta la presencia de nitritos y nitratos y el hecho que el amonio fue la única fuente de nitrógeno para las microalgas, se consideró relevante calcular el Rendimiento de Eliminación de Amonio únicamente por las microalgas (REAm). Este rendimiento fue significativamente inferior en el experimento 1, incrementándose al aumentar la intensidad de luz en los experimentos 2 y 3 (74, 98 y 99%, respectivamente, ver Tabla 2). Este hecho confirmó la competición entre las microalgas y las bacterias nitrificantes por el amonio, que se producía de manera más notoria con una intensidad de luz baja. La presencia de bacterias nitrificantes en el inóculo junto con las condiciones de trabajo (temperatura, pH, oxígeno disuelto y disponibilidad de nutrientes) permitieron el crecimiento de estos organismos, provocando la acumulación de nitritos y nitratos en el medio anteriormente mencionada. En el experimento 2, tras aumentar la intensidad de luz aplicada al FBR, se observó una reducción inmediata de la concentración de nitritos y nitratos, llegando a concentraciones inferiores a 0.5 $mgN \cdot L^{-1}$. Esta situación se mantuvo durante el experimento 3 (ver Figura 2). Por esta razón, se asume que la competición por amonio no tuvo lugar en los experimentos 2 y 3, con una iluminación de 49 y 69 $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, respectivamente. Se deduce, por tanto, que bajo esas condiciones de iluminación las algas eran más competitivas que las bacterias AOB en la toma de amonio y la nitrificación no tenía lugar de forma significativa. En lo referente al fósforo, se alcanzó un alto Rendimiento de Eliminación de Fósforo (REF) en todos los experimentos: 98, 99 y 99% en experimentos 1, 2 y 3 respectivamente.

En conclusión, se deduce que un incremento de la intensidad de luz conlleva un aumento del REAm gracias a la limitación del proceso de nitrificación que provoca el desarrollo de las microalgas, obteniendo un cultivo más eficiente en la eliminación de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales. Esta afirmación se corrobora mediante el hecho que la densidad de las células eucariotas en el cultivo aumentó al aumentar la intensidad lumínica: 6.6, 11.9 y 13.5 ($x10^9$) $cels \cdot L^{-1}$, respectivamente (ver Tabla 2). Los datos obtenidos para las tres intensidades lumínicas en estudio concuerdan con los presentados por Hu et al. (2005), que concluyeron que la irradiación óptima para *Scenedesmus quadricauda* estaba en el rango 60‑70 $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

El recuento celular no reveló ninguna variación en la composición del cultivo, por lo que *Scenedesmus* sp. se mantuvo como género dominante (>99% en todos los experimentos). La población bacteriana fue despreciable en comparación con la población de microalgas (ver Figuras 3a y 3b).

Los datos de sólidos suspendidos siguieron la misma evolución que la concentración de células, obteniendo una mayor cantidad de sólidos al aumentar la luz: 543, 830 y 860 $mgSST \cdot L^{-1}$, respectivamente (ver Tabla 2). En cuanto a la productividad de biomasa se siguió una evolución similar: 50.5, 81.0, 93.5 $mgSSV \cdot L^{-1} \cdot d^{-1}$ para los experimentos 1, 2 y 3, respectivamente. El mayor porcentaje de sólidos suspendidos volátiles se alcanzó en el experimento 3 (91%).

El contenido de clorofila respecto a la biomasa se redujo cuando aumentaba la intensidad de luz (ver Tabla 2). Esto concuerda con lo expuesto por Chen et al. (2011), que sostenían que las algas se adaptan a los cambios de luz variando el contenido de clorofila de sus células. A bajos niveles de irradiación, uno de los mecanismos para mejorar el potencial fotosintético es la síntesis de una mayor cantidad de clorofila para aumentar la capacidad de absorción de fotones (Reynolds, 2006); por tanto, la relación clorofila-sólidos volátiles debe ser mayor a menor intensidad de luz. Por el contrario, a intensidades altas, las algas reducen el ratio de clorofila-carbono para disminuir la absorción de fotones y protegerse así contra la fotoinhibición (Chen et al., 2011).

Tabla 2: Valores medios ± desviaciones estándar en estado estacionario (Exp. 1, 2 y 3) y valores al final del experimento 4.

Parámetro	Units	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
SST	mg L^{-1}	543 ± 10	830 ± 45	860 ± 62	549
SSV	%	79 ± 3	88 ± 4	91 ± 6	79
Cél. eucariotas (x10^9)	Céls·L^{-1}	6.6 ± 0.0	11.9 ± 1.6	13.5 ± 3.2	5.37
REAm	%	74 ± 3	98 ± 4	99 ± 0,4	73
REA	%	97 ± 5	100 ± 0	100 ± 0	99
REF	%	98 ± 1	99 ± 1	99 ± 1	98 (73)*
Clorofila total	mgClgSSV^{-1}	4.18 ± 0.99	2.44 ± 0.52	1.88 ± 0.44	3.50
Productividad	mgSSV·L^{-1}·d^{-1}	50.5 ± 9.6	81.0 ± 8.3	93.5 ± 8.5	53.4

*Entre paréntesis, REF de microalgas.

Figura 2: Evolución de la concentración de nutrientes y la temperatura durante todo el periodo experimental.

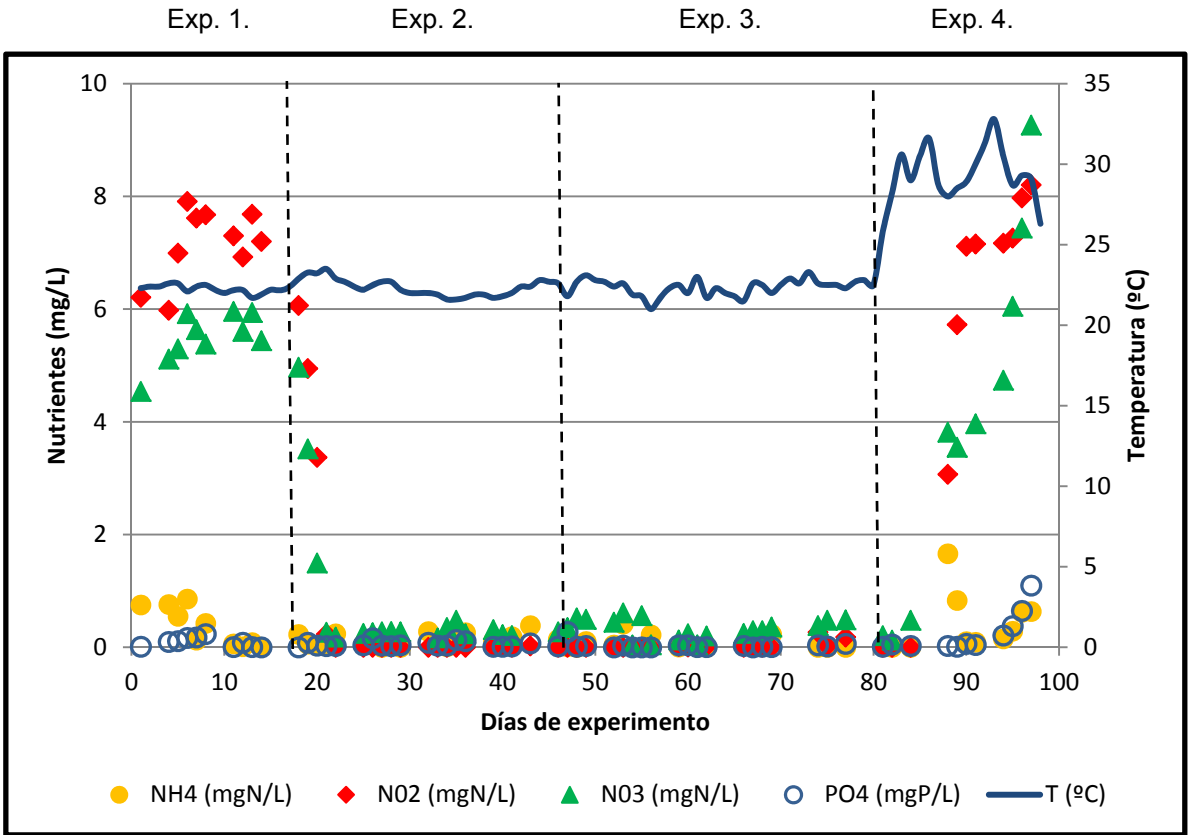
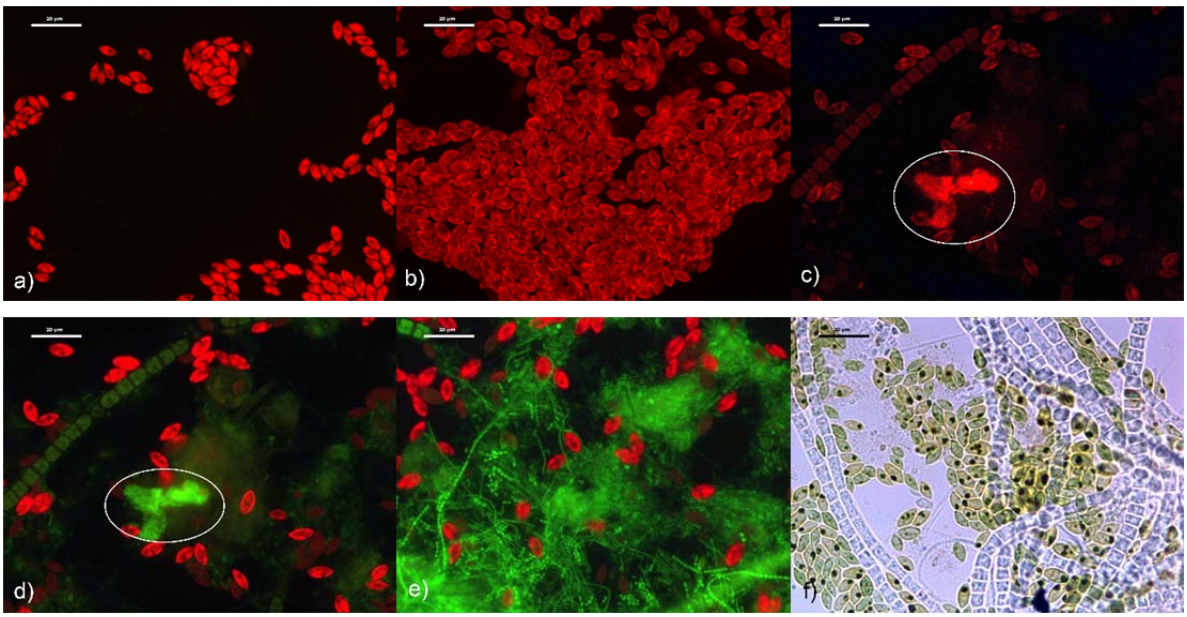


Figura 3: Imágenes obtenidas mediante método FISH.



Muestras observadas bajo microscopio de epifluorescencia (Leica DM2500/ DFC420c cámara digital) usando un objetivo 63x . Barra de escala = 20µm.

(a, b) Exp. 2, *Scenedesmus* sp. como especie dominante; (c) Exp. 4, muestra hibridada con la sonda NSO1225 (rojo). Se señala un grupo de bacterias AOB señalada mediante un círculo blanco; (d) Exp. 4, muestra hibridada con sonda EUBMIX: EUB 338 I+ EUB 338 II + EUB 338 III (verde); (e) Exp. 4, muestra hibridada con sonda EUBMIX (verde) permite identificar diversos grupos de bacterias; (f) Exp. 4, imagen en campo claro mostrando la coexistencia de *Scendesmus* sp. y *Cianobacteria*.

4.2. Efecto de la Temperatura

El objetivo de comparar los experimentos 3 y 4 era estudiar cómo afectaba la temperatura con la misma intensidad de luz incidente: 69 $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Durante el experimento 3, la temperatura se mantuvo bajo control a 22.3 ± 0.5ºC. En el experimento 4, se desconectó el control de temperatura y ésta varió libremente según los cambios en las condiciones ambientales del laboratorio (28.8 ± 2.3ºC, ver Figura 2). En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos al final del experimento 4.

Se observó un incremento continuo de la concentración de nitrito y nitrato después de la desconexión del control de temperatura (ver Figura 2). REA permaneció cercano al 100%, al igual que en el experimento 3, pero considerando sólo la eliminación mediante microalgas (REAm), se llegó a obtener un valor mínimo de 73% al final del experimento 4.

Respecto al cultivo microalgas-bacterias, se detectó un cambio considerable en el experimento 4. A pesar que *Scenedesmus* sp. continuaba siendo el género de microalga dominante (>99%), su densidad se redujo en un 72%, desde un valor máximo en el experimento 3 de $19.2 \cdot 10^9$ céls$\cdot L^{-1}$ hasta un valor mínimo en el experimento 4 de $5.37 \cdot 10^9$ céls$\cdot L^{-1}$. Además, se observó una proliferación considerable de distintos grupos de bacterias. La técnica FISH permitió identificar bacterias AOB (ver Figura 3c), así como detectar (pero no identificar) la presencia de otro tipo de bacteria (ver Figuras 3d y 3e). La visualización mediante microscopía de campo claro fue suficiente para observar el incremento en el número de *Cianobacterias* filamentosas en el experimento 4 (ver Figura 3f). Esto podría explicar el aumento en el contenido de clorofila al final del experimento 4 hasta 3.50 mg$\cdot$gSSV^{-1} (ver Tabla 2).

Debido a esta variación sustancial en el cultivo del FBR, se calculó de forma separada la cantidad de fósforo eliminado por las microalgas y por las bacterias. Considerando que el ratio de N/P consumido por las microalgas en el experimento 3 permaneció constante (7.70), y que el nitrógeno consumido por las microalgas era el correspondiente a REAm, REF mediante microalgas disminuyó hasta el 73% al final del experimento 4. Sin embargo, REF total (debido a microalgas y bacterias) alcanzó en ese momento un 98%.

SST y %SSV disminuyeron en el experimento 4 hasta valores mínimos de 519 mgSST·L^{-1} y 75 %, respectivamente. Este hecho hace pensar que el aumento de la temperatura en el experimento 4, junto con la proliferación de bacterias conllevó al deterioro del cultivo de microalgas.

Los resultados obtenidos en los experimentos 3 y 4 sugieren que la temperatura alta redujo la actividad metabólica de las microalgas, ya que, a pesar de la disponibilidad de nitrógeno (como nitrato) y de fósforo, la densidad de células de microalgas disminuyó y el cultivo pasó a estar dominado por las bacterias.

Breuer et al. (2013) obtuvieron una temperatura óptima para el crecimiento de *S. obliquus* por encima de los 27,5 ºC. Por otro lado, Cabello et al. (2015) verificaron que este óptimo dependía de la disponibilidad de nutrientes para *S. obtusiusculus* (35 ºC bajo condiciones normales y 28.5 ºC bajo condiciones de limitación). En consecuencia, parece que un cultivo puro de microalgas es capaz de crecer en el rango de temperaturas registrado en el experimento 4. En cambio, el presente estudio se realizó con un cultivo mixto de microalgas-bacterias, en el que el equilibrio establecido entre estos dos grupos de microorganismos es delicado. En el experimento 4, la competencia entre microalgas y bacterias provocó la acumulación continua en el sistema de nitritos, nitratos e incluso de fosfatos, lo era indicador que las bacterias estaban desplazando totalmente a las microalgas. Por el contrario, en el experimento 1 la competencia microalgas-bacterias llegó a un equilibrio, de forma que la concentración de nitritos y nitratos permaneció aproximadamente constante y se consiguió eliminar todo el fósforo, al contrario que en el experimento 4 (ver Figura 2).

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio prueban que la presencia de bacterias nitrificantes implica una competición por amonio entre microalgas y bacterias, reduciendo la eficacia del cultivo en la eliminación de nutrientes de las aguas residuales.

Se alcanzaron rendimientos de eliminación muy altos (cercanos al 100%) bajo una iluminación media de 49-69 µE·m^{-2}·s^{-1} y temperatura estable (22 ºC). Por tanto, con control de la nitrificación, se podría emplear un cultivo de microalgas como tratamiento terciario para cumplir con los requisitos de emisión de nutrientes que marca la Directiva Europea 91/271/CEE Sobre el Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas. Para poblaciones entre 10 000 y 100 000 habitantes equivalentes estos límites son 15 mgN·L^{-1} y 2 mgP·L^{-1}.

Se detectó que bajo la misma temperatura, las algas se mostraban más competitivas que las bacterias cuando se aumentaba la intensidad de luz. Sin embargo, con igual intensidad lumínica las bacterias dominaban el cultivo a temperaturas altas. Deberían realizarse ensayos futuros para confirmar si un incremento gradual de la temperatura conjuntamente con la intensidad de luz supondría el desarrollo de un cultivo de microalgas más robusto, reduciendo la competición de las bacterias nitrificantes por el amonio.

6. Referencias

Antoniou, P., Hamilton, J., Koopman, B., Jain, R., Holloway, B., Lyberatos, G., & Svoronos, S.A. (1990). Effect of temperature and pH on the effective maximum specific growth rate of nitrifying bacteria. *Water Research*, *24* (1), 97–101

APHA, AWWA, & WPCF (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater.* (21 edición). Washington, DC, Estados Unidos: American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF).

Béchet, Q., Shilton, A., Fringer, O.B., Muñoz, R., & Guieysse, B. (2010). Mechanistic modeling of broth temperature in outdoor photobioreactors. *Environmental Science Technology*, *44* (6), 2197–2203.

Breuer, G., Lamers P.P., Martens, D.E., Draaisma, R.B., & Wijffels, R.H. (2013). Effect of light intensity, pH, and temperature on triacylglycerol (TAG) accumulation induced by nitrogen starvation in *Scenedesmus obliquus*. *Bioresource Technolo*gy, *143*, 1–9.

Cabello, J., Toledo-Cervantes, A., Sánchez, L., Revah, S., & Morales, M. (2015). Effect of the temperature, pH and irradiance on the photosynthetic activity by *Scenedesmus obtusiusculus* under nitrogen replete and deplete conditions. *Bioresource Technology,* 181, 128–135.

Chen, X., Goh, Q.Y., Tan, W., Hossain, I., Chen, W.N., & Lau, R. (2011). Lumostatic strategy for microalgae cultivation utilizing image analysis and chlorophyll a content as design parameters. *Bioresource Technology*, *102*, 6005–6012.

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, *25*, 294-306.

Collet, P., & Hélias, A. (2011) Life Cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production. *Bioresource Technology, 102*, 207-214.

Falkowski, P.G., & Raven, J.A. (2007). *Aquatic Photosynthesis* (Edición 2). Princeton, Estados Unidos: Princeton University Press.

Giménez J.B., Robles, A., Carretero, L., Durán, F., Ruano, M.V., Gatti, M.N., Ribes, J., Ferrer, J., & Seco, A. (2011). Experimental study of the anaerobic urban wastewater treatment in a submerged hollow-fibre membrane bioreactor at pilot scale. *Bioresource Technology*, *102*, 8799-8806.

Hii, Y.S., Soo, C.L., Chuah, T. S., Mohd-Azmi, A., & Abol-Munafi, A. B. (2011). Interactive effect of ammonia and nitrate in the nitrogen uptake by *Nannochloropsis* sp. *Journal of Sustainability Science and Management*, *6*, 60-68.

Hu, X.Z., Jing, X.C., Zhu, Z.S., Ma, Z.Y., & Yi, W.L. (2005). The primer detecting of photocompete and simulate predominance of *Micorcystis aeruginosa* and *Scenedesmus quadricauda* in TaiHu. *Journal of Agro-Environment Science*, *24*, 538–643.

Jonker, J.G.G., & Faaij, A.P.C. (2013). Techno-economic assessment of microalgae as feedstock for renewable bio-energy production. *Applied Energy*, *102*, 461-475.

Jordan, B. (1996). The effects of ultraviolet-B radiation on plants: a molecular perspective. *Advances in Botanical Research*, *22*, 97–162.

Kesaano, M., & Sims, R.C. (2014). Algal biofilm based technology for wastewater treatment. *Algal Research*, *5*, 231–240

Li, X., Hu, H.Y., Gan, K., & Yan, J. (2010). Growth and nutrients removal properties of a freshwater microalga *Scenedesmus sp.* LX1 under different kinds of nitrogen sources. *Ecological Engineering, 36*, 379–381.

Li, X., Hu, H.Y., & Zhang, Y.P. (2011). Growth and lipid accumulation properties of a freshwater microalga *Scenedesmus sp*. under different cultivation temperature. *Bioresource Technology, 102*, 3098–3102

Lund, J. W. G. (1965). The ecology of the freshwater phytoplankton. *Biological Reviews*, *40*, 231–93.

Meseck, S. L., Smith, B. C., Wikfors, G. H., Alix, J. H., & Kapareiko, D. (2007). Nutrient interactions between phytoplankton and bacterioplankton under different carbon dioxide regimes. *Journal of Applied Phycology*, *19*, 229-237.

Pachés, M., Romero, I., Hermosilla, Z., & Martinez-Guijarro, R. (2012). PHYMED: An ecological classification system for the Water Framework Directive based on phytoplankton community composition. *Ecological Indicators, 19*, 15-23.

Painter, H.A., & Loveless, J.E. (1983) Effect of temperature and pH value on the growth-rate constants of nitrifying bacteria in the activated sludge process. *Water Research, 17* (3), 237–248.

Posadas, E., Morales, M.M., Gómez, C., Acién, F. G., & Muñoz, R. (2015) Influence of pH and CO2 source on the performance of microalgae-based secondary domestic wastewater treatment in outdoors pilot raceways. *Chem. Eng. J.*, *265*, 239-248.

Razaviarani, V., Buchanan, I.D., Malik, S., & Katambula, H. (2013). Pilot-scale anaerobic codigestion of municipal wastewater sludge with restaurant grease trap waste, *Journal of Environmental Management*, *123*, 26–33.

Reyes, M., Borrás, L., Seco, A., & Ferrer, J. (2015). Identification and quantification of microbial populations in activated sludge and anaerobic digestion processes. *Environmental Technology, 36***,** 45-53.

Reynolds, C.S. (2006). *The Ecology of Phytoplankton (Ecology, Biodiversity and Conservation)*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

Risgaard-Petersen, N., Nicolaisen, M.H., Revsbech, N.P., & Lomstein, B.A. (2004). Competition between Ammonia-Oxidizing Bacteria and Benthic Microalgae. *Applied Environmental Microbiology*, *70* (9), 5528-5537.

Robles, Á., Durán, F., Ruano, M. V., Ribes, J., Rosado, A., Seco, A., & Ferrer, J. (2015). Instrumentation, control, and automation for submerged anaerobic membrane bioreactors. *Environmental Technology, 36* (14), 1795-1806.

Ruiz-Martínez, A., Martín García, N., Romero, I., Seco, A., & Ferrer, J. (2012). Microalgae cultivation in wastewater: nutrient removal from anaerobic membrane bioreactor effluent. *Bioresource Technology, 126*, 247–253.

Termini, I.D., Prassone, A., Cattaneo, C., & Rovatti, M. (2011). On the nitrogen and phosphorus removal in algal photobioreactors. *Ecological Engineering*, *37*, 976–980.

Unión Europea. Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 30 de mayo de 1991, núm. 135, pp. 40-52.

Vonshak, A. (1997). *Spirulina platensis (arthrospira). Physiology, cell-biology and biotechnology.* Londres, Reino Unido: Taylor & Francis Ltd.

Wang, L., Min, M., Li, Y., Chen, P., Chen, Y., Liu, Y., Wang, Y., & Ruan, R., (2010). Cultivation of green algae *Chlorella* sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *162* (4), 1174-1186.

Znad, H., Naderi, G., Ang, H.M., & Tade, M.O. (2012). CO2 biomitigation and biofuel production using microalgae: photobioreactors developments and future directions. En Zeeshan Nawaz & Shahid Naveed, *Advances in Chemical Engineering*, (pp. 229-244). Sydney, Australia: InTech.

04-033

ENVIRONMENTAL BEHAVIOR OF AN ELEMENT OF THE CONSTRUCTION SECTOR

García Ceballos, Maria de la Luz; Andrés Díaz, José Ramón; Pinto Oliver, Francisco
Universidad de Málaga

Most European cities use prefabricated cement-based materials to transform public space to be used by citizens. These facilities must be resistant, economic, functional and above all sustainable. Furthermore, the civil works hass a very high raw material and energy consumption, which implies high environmental emissions. Ecodesign is a response to the need for these criteria throughout the lifecycle of a product in order to prevent or reduce their environmental impact. The methodology of Life Cycle Analysis (LCA) to quantify all the processes related to a product, identify key points and establish a strategy for improvement. The main objective of this work is the ACV of the common precast concrete pavers used on civil works, analyzing the whole process: from obtaining raw materials to end of life. The main reason for this LCA is to assess the environmental performance of the various stages of its life cycle and the environmental burdens associated with these stages, so that we can identify possible improvements.

Keywords: *Ecodesign; LCA; civil works; environment impact*

COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE UN ELEMENTO DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

La mayoría de las ciudades europeas utilizan materiales prefabricados basados en el cemento para urbanizar el terreno transformándolo en espacio público que utilizarán los ciudadanos. Estas instalaciones deben ser resistentes, económicas, funcionales y sobre todo sostenibles. Además, el sector de las obras civiles y urbanismo supone un consumo muy elevado de materias primas y energía, lo que implica altas emisiones al medio ambiente. El ecodiseño surge como respuesta a la necesidad de introducir estos criterios durante todo el ciclo de vida de un producto con el objetivo de prevenir o reducir su impacto ambiental. La metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permite cuantificar todos los procesos relacionados con un producto, identificar los puntos clave y establecer una estrategia de mejora. El objetivo principal de este trabajo es el ACV del adoquín común prefabricado de cemento utilizado en obras civiles y urbanismo, analizando desde la obtención de la materia prima hasta su fin de vida. La razón principal de este ACV es evaluar el comportamiento ambiental de las distintas etapas de su ciclo de vida, las cargas ambientales asociadas a estas etapas e identificar las posibles mejoras.

Palabras clave: *Ecodiseño; ACV; material construcción; impacto ambiental*

Correspondencia: José R. de Andrés jrandres@uma.es

1. Introducción

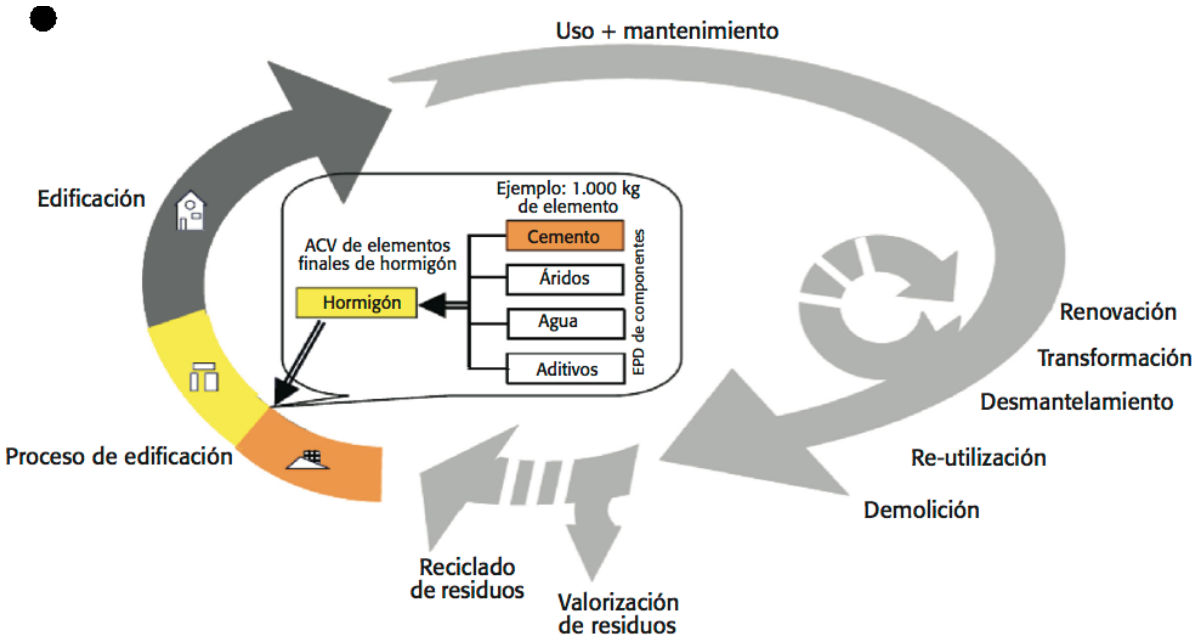
La mayoría de las ciudades europeas utilizan materiales prefabricados basados en el cemento para urbanizar el terreno transformándolo en espacio público que utilizarán los ciudadanos. Estas instalaciones deben ser resistentes, económicas, funcionales y sobre todo sostenibles. La sostenibilidad es un requisito que ha ido ganando importancia en los últimos años debido no sólo al aspecto económico —costes y mantenimiento principalmente— sino también al medioambiental.

El impacto medioambietal que producen las actividades humanas en la naturaleza debería convertirse en un elemento más de estudio en cualquier proyecto de ingeniería actual. Para el caso de este proyecto, el sector de las obras civiles y urbanismo supone un consumo muy elevado de materias primas y energía —y representa un porcentaje importante del Producto Interior Bruto de España—, lo que implica altas emisiones al medio ambiente (Peláez Ramos, 2011).

La incorporación de criterios ambientales en la fase de diseño de un producto y/o servicio se denomina ecodiseño. El ecodiseño surge como respuesta a la necesidad de introducir estos criterios durante todo el ciclo de vida (CV) de un producto con el objetivo de prevenir o reducir su impacto ambiental —principalmente minimizar los residuos, emisiones y costes energéticos (ISO. UNE-EN-ISO 14006:2011). El ecodiseño es el eslabón clave hacia la sostenibilidad y el consumo responsable ya que incorpora nuevos conceptos como la visión de producto-sistema y el ciclo de vida e integra aspectos económicos y sociales como la ecoeficiencia y el ecodiseño sostenible (IHOBE, 2000).

La metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permite cuantificar todos los procesos relacionados con un producto y/o servicio desde el punto de vista de las entradas —materias primas y energía— y salidas —emisiones a la tierra, mar o aire y residuos— en el sistema, identificar los puntos clave y establecer una estrategia de mejora (ISO. UNE-EN-ISO 14040:2006).

Figura 1: CV de los prefabricados de cemento. Fuente (Mora et al. (2008)]



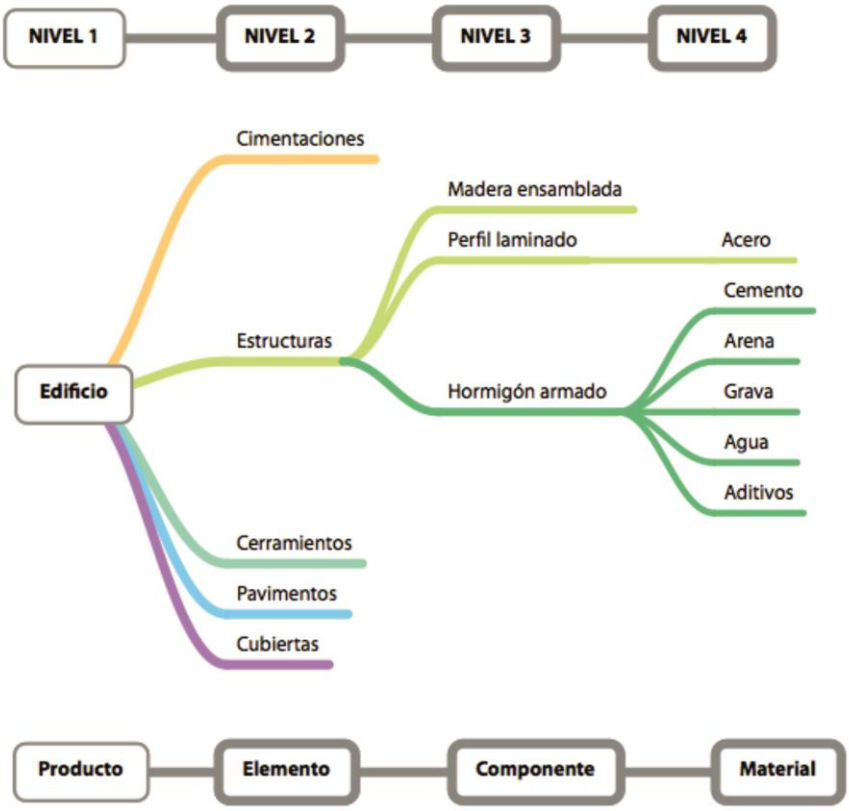
2. Objetivos

El objetivo principal de este estudio es el ACV del adoquín común prefabricado del cemento utilizado en obras civiles y urbanismo. Se desea analizar el ciclo de vida del adoquín desde la extracción de la materia prima que lo compone hasta el fin de su vida. El adoquín a estudio es el modelo Holanda 6, de dimensiones 200x100x60 mm.

Con este ACV se pretende evaluar el comportamiento ambiental de las distintas etapas de su ciclo de vida, las cargas ambientales asociadas a estas etapas e identificar posibles mejoras.

Desarrollo de un inventario de materiales y procesos de cada etapa del CV (ICV), para realizar el ACV

Figura 2: Niveles de los productos de la construcción. Fuente: elaboración propia basada en de Carvalho Filho (2001)



Al ser el adoquín un elemento de pavimentación se encontraría en el denominado nivel 2 (ver figura 2). Los impactos medioambientales del nivel 2 se clasifican según el momento de su vida en:

- Extracción de materias primas, fabricación e instalación:
    - Consumo de energía y recursos naturales en los procesos de extracción de materias primas, fabricación, instalación y transporte.
    - Producción de ruidos y vibraciones.
    - Producción de residuos por excedentes de procesos y embalajes.

    - Emisiones de partículas al aire (p. ej.: polvo).
- Uso y mantenimiento:
    - Consumo de energía y recursos en los procesos de mantenimiento.
    - Producción de residuos o sustancias tóxicas en función de los procesos de mantenimiento, su naturaleza y vida útil.
- Fin de vida:
    - Consumo de energía en el proceso de transporte y reciclaje.
    - Producción de residuos por la parte no reciclada.

Deberá, por tanto, estudiarse para realizar el ICV:

- Las materias primas de los prefabricados del cemento (UNE-EN 1338:2004/AC:2006)
    - Cemento, Áridos, Agua y Aditivos
- La instalación de pavimentos de adoquines
    - Capas componentes, Determinación de las Secciones Tipo (Fenollar. 2011)
- Uso y Mantenimiento de pavimentos de adoquines (Asociación Española para la Investigación y Desarrollo del Adoquín de Hormigón (2004) y Malaka de Prefabricados (2009)]
- Fin de vida del Adoquín
    - Reciclado del hormigón. El 95% de los adoquines son recuperados para su reciclaje (Asociación Española para la Investigación y Desarrollo del Adoquín de Hormigón, 2004)

El estudio se ha basado en el análisis de la producción de la empresa Malaka de Prefabricados, que es una empresa malagueña que inició su actividad en 1994.

3. Metodología

3.1 Programas de Cálculo

El software de ACV elegido es SimaPro v7.3.3 de PRé Consultants. La base de datos de inventario es ecoinvent v2.2.

Los cálculos se han realizado mediante la aplicación de hoja de cálculo Numbers.app de Apple.

3.2 Unidad Funcional

Se va a utilizar como unidad funcional (UF) 1 m2 de adoquín.

El motivo de tomar como UF “1 m2 de adoquín” es debido a que los pedidos y la fabricación se realizan en unidades de superficie y no en cantidad de bloques de adoquín. Cada bandeja fabricada supone exactamente 0.5 m2 de adoquines modelo “Holanda 6”. Si se toma como Unidad funcional 1 m2 de adoquín, los cálculos se realizan de forma sencilla para 2 bandejas.

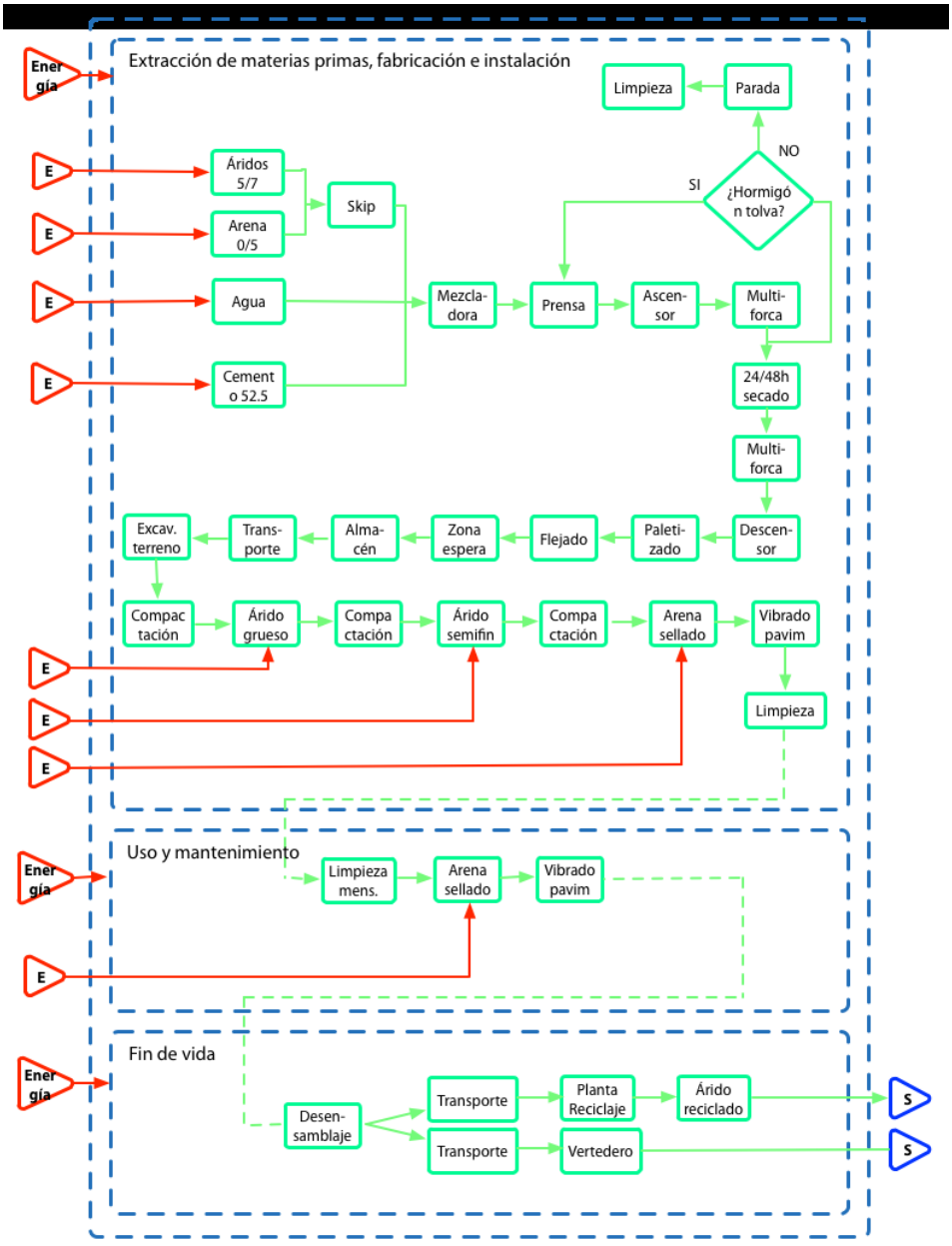
3.3 Límites del Sistema

Los límites del sistema “definen los procesos unitarios a ser incluido en el sistema”, es decir “determinan qué procesos unitarios se deben incluir dentro del ACV. La selección de los

límites del sistema y la exclusión de etapas deben ser coherentes con los objetivos del estudio" (ISO. UNE-EN-ISO 14040:2006):

- No se ha excluido ninguna etapa en el análisis, aunque sea poco significativa
- Los límites del sistema los establece el sistema del producto representado en la figura 3. Las entradas/salidas no incluidas se consideran fuera del análisis.
- La cantidad total de adoquines son reciclables, aunque se indica que un 5% se pierde en vertederos llegados allí mezclados con otros residuos (Asociación Española para la Investigación y Desarrollo del Adoquín de Hormigón, 2004).
- Las capas componentes también pueden ser recicladas, pero sólo se tendrán en cuenta para la instalación y uso de los adoquines, ya que pueden reutilizarse para nuevas instalaciones tras un recambio de la capa de adoquines.
- Este proyecto se ha pensado para el área geográfica de Málaga en el año 2013 y tiene datos adaptados para tal caso. Es tal el caso del mix eléctrico, actualizado a fecha de 2013 para España (García Ceballos, 2013).

Figura 3: Diagrama de flujo del sistema del producto adoquín. Fuente elaboración propia



3.4 Procedimientos de asignación

Los procedimientos de asignación para futuras aseveraciones comparativas, en el caso que las haya, deberán incluir todas las entradas y salidas que se producen en cada proceso así como las consideradas en este proyecto. Se deberá evitar la omisión de etapas, procesos, entradas/salidas incluso en el caso de que no se altere de forma sustancial el resultado final.

3.5 Categorías de impacto seleccionadas

Para la elección de las categorías de impacto, el método ReCiPe recoge 18 categorías, de las cuales se han seleccionado las más significativas según los objetivos y sistema elegidos:

- Cambio climático — Salud humana (CC[HH]).
- Toxicidad humana (HT).
- Formación de partículas (PMF).

- Cambio climático - Ecosistemas (CC[Ec]).
- Ocupación de tierras agrícolas (ALO).
- Transformación natural de la tierra (NLT).
- Agotamiento de recursos fósiles (FD).

3.6 Suposiciones

La norma UNE-EN-ISO 14044:2006 indica que “se deben definir con claridad los criterios de corte para la inclusión inicial de entradas y salidas y las suposiciones sobre las cuales se establecen los criterios de corte”, las cuales son:

- La distancia de recorrido desde la fuente de materias primas de áridos, arena y cemento es de 8 km (Alhaurín de la Torre) para las dos primeras y 30 km (Málaga-El Palo) para el cemento, ya que no siempre la materia prima procede del mismo sitio.
- Los cálculos de transporte se han realizado únicamente de ida para un camión de 16—32 t que cumple una normativa europea de emisiones EURO 4.
- Las instalaciones donde se realiza el proceso de fabricación tienen una vida útil de 15 años.
- El uso del pavimento de adoquines que se ha previsto es el de las arterias principales, que pertenece a la categoría de tráfico C1 y una calidad de explanada E2 con base granular.
- El sellado del pavimento de adoquines se hará únicamente con arena, evitando selladores cementados, para preservar la ventaja de fácil retirada para labores de mantenimiento o trabajo bajo explanada.
- La pérdida de arena entre periodos de mantenimiento del sellado del pavimento será del 50% de la arena instalada inicialmente. El periodo de tiempo entre mantenimiento del sellado del pavimento será de 5 años, cumpliendo con las normas recomendadas (Asociación Española para la Investigación y Desarrollo del Adoquín de Hormigón, 2004).
- La distancia de recorrido desde el lugar de desensamblaje del adoquín hasta el vertedero o la planta de reciclado se ha supuesto de 50 km suponiendo una instalación en el área metropolitana de Málaga.

3.7 Requisitos iniciales de calidad de los datos

Como requisito de calidad de los datos se debe indicar que los datos han sido recopilados durante el año 2013, por lo que se deben considerar variaciones en los cálculos si se desea extrapolar a otros años. El área geográfica donde se han recopilado los datos es la provincia de Málaga (España).

Los datos de partida que se han utilizado en este análisis han sido proporcionados por Malaka de Prefabricados, que es una empresa malagueña que inició su actividad en 1994. La figura 3 muestra las entradas al sistema, así como los procesos que ocurren durante cada fase del ciclo de vida y las salidas del sistema.

4. Resultados e Interpretación

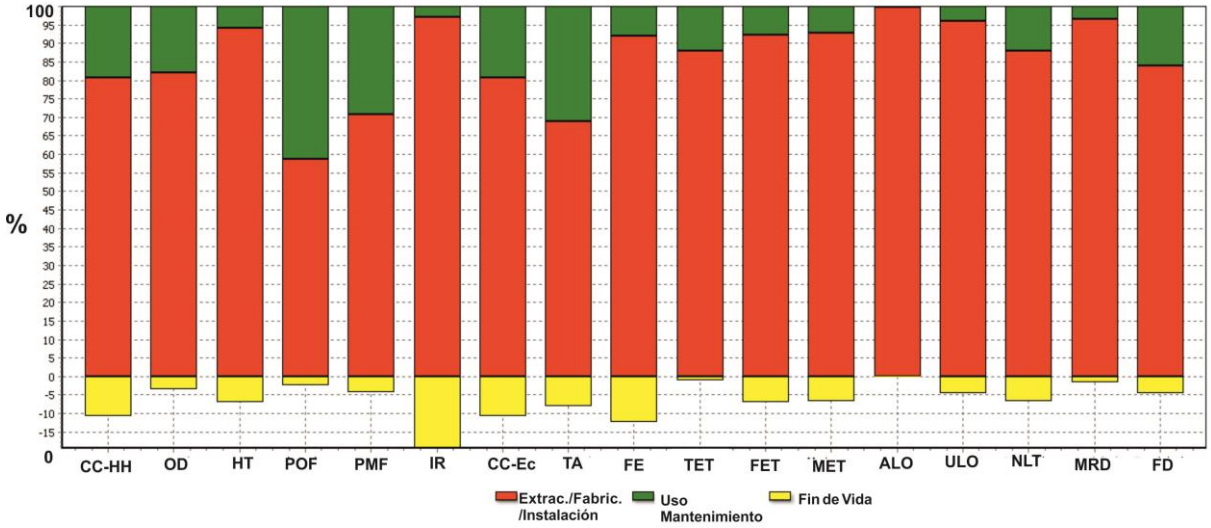
4.1 Evaluación del Impacto Ambiental del ciclo de vida completo

Una vez estudiadas las tres fases del ciclo de vida se procederá a realizar un análisis completo del producto a lo largo de las tres fases anteriores de su ciclo de vida.

A priori, observando los resultados obtenidos, se puede asegurar que las etapas de uso y mantenimiento y fin de vida tienen menores consecuencias comparadas con la de extracción de materias primas, fabricación e instalación.

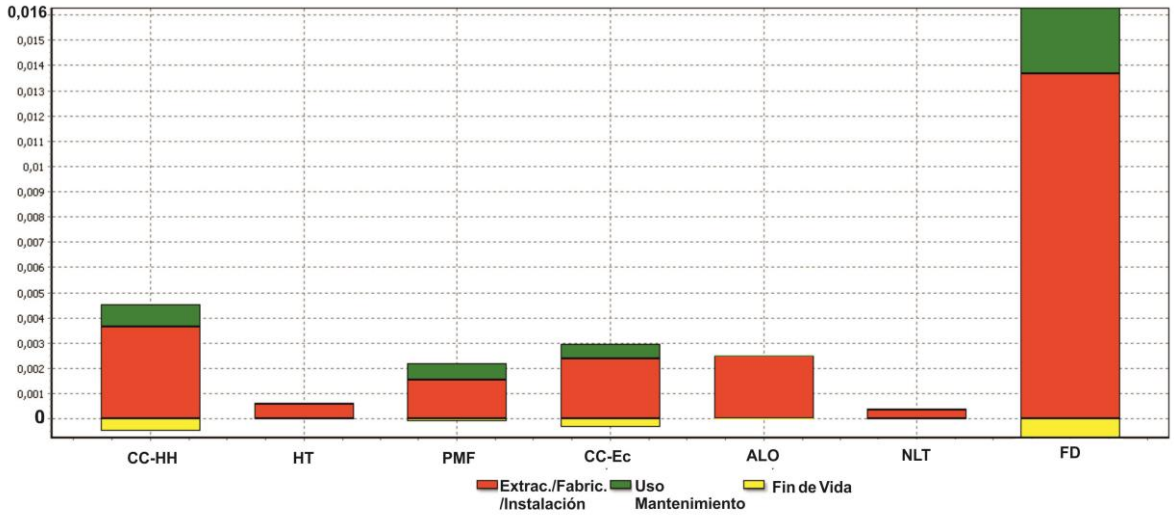
La caracterización del análisis de impacto de la figura 4 muestra todas las categorías de impacto. Cada una de ellas tiene una unidad de medida diferente, por lo que se representan de forma porcentual.

Figura 4: Cuantificación de los impactos caracterizados del CV completo. Fuente: elaboración propia



Para tener una visión más clara de los impactos relevantes de la fase, es mejor recurrir a la normalización donde las diferentes puntuaciones de los impactos caracterizados se relativizan a una referencia común por categoría de impacto.

Figura 5: Cuantificación de los impactos normalizados del ciclo de vida completo. Fuente: elaboración propia



La figura 5 muestra las categorías de impacto relevantes de esta fase.

La categoría con mayor impacto es la de “Agotamiento de recursos fósiles”, donde la fase que predomina es la de extracción de materias primas, fabricación e instalación en todas las categorías de impacto (ver figura 5).

Los datos ponderados presentados en la tabla 1 indican resultados similares a la normalización. La puntuación única permite observar los resultados desde una perspectiva diferente.

Tabla 1: Categorias de impacto ponderadas del CV. Fuente: elaboración propia

Categorías de impacto ponderadas							
Proceso	CC[HH] (%)	HT (%)	PMF (%)	CC[Ec] (%)	ALO (%)	NLT (%)	FD (%)
Extracc., fabric. e instal.	90.4	101	74	90.4	100	94.4	88
Uso y mantenim.	21.6	6.46	30.5	21.6	0.14	12.8	16.8
Fin de vida	-12	-7.45	-4.56	-12	-0.09	-7.21	-4.85

Esta opción agrupa las categorías de impacto aplicando una serie de puntos a cada una, representando finalmente todas las categorías de impacto usando una misma unidad, el punto (Point, Pt)[1]. La carga ambiental será mayor cuanto más Pt tenga.

Se puede extraer la conclusión de que la fase que más contribuye al perfil ambiental del adoquín es la de extracción de materias primas, fabricación e instalación. La fase de uso y mantenimiento contribuye lo suficiente como para despreciarla. Por último, la fase de fin de vida aunque contribuye mínimamente, es necesario tenerla en cuenta para cumplir con la Directiva Europea 1999/31/CE relativa al vertido de residuos.

4.2 Interpretación

El estudio del Análisis de Ciclo de Vida del adoquín indica que la etapa más influyente en el perfil medioambiental —usando el método ReCiPe—, la que mayor energía consume —con el método de Demanda de Energía Acumulada— y la que emite mayor cantidad de CO2 equivalente (CO2 eq.) —por el método IPCC— es la de extracción de materias primas, fabricación e instalación.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado un ACV de un adoquín prefabricado de cemento de dimensiones 200×100×60 mm, tomando como unidad funcional un metro cuadrado del mismo.

El estudio de ACV supone una potente herramienta para detectar los procesos con mayor carga ambiental y los impactos ocasionados al medioambiente de forma normalizada y objetiva. Una vez se localizan estos puntos calientes pueden comunicarse a la empresa para realizar mejoras en el proceso repercutiendo bien energéticamente, económicamente o como publicidad de tipo ambiental. Se puede recurrir al etiquetado ambiental (ISO. UNE-EN-ISO 14020:2002) para estimular la demanda de productos y servicios con menores cargas ambientales indicando información relevante sobre su ciclo de vida —tal como la energía

[1] 1 punto la milésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano europeo (IHOBE 2009)

consumida o la cantidad de CO2 eq. generado— y así satisfacer una demanda creciente de productos con información ambiental.

La carga ambiental mayor se produce en la fase del ciclo de vida de extracción de materias primas, fabricación e instalación, siendo la fase de uso y mantenimiento muy inferior aunque no despreciables y la de fin de vida tomada en consideración por los beneficios ambientales que aporta.

Los procesos unitarios donde se producen las mayores cargas ambientales son la extracción de materias primas para la capa bituminosa y el árido grueso de la capa base de la instalación y el proceso de fabricación del cemento Portland.

La fase del ACV más compleja es la del ICV, debido a que el inventario que ofrece la base de datos ecoinvent no disponía de la amplia mayoría de procesos que intervienen en este proyecto y la información disponible era muy reducida. También ha aportado complejidad a la realización de este trabajo la baja disponibilidad de otros proyectos que sirvieran de base que utilizaran el ACV como método de estudio en este sector.

El software de análisis SimaPro ha simplificado en gran medida la fase de Evaluación del Inventario de Ciclo de Vida y la de Interpretación, no sólo por la incorporación del método ReCiPe, sino por su adaptación del flujo de trabajo a la normativa UNE-EN-ISO 14040:2006 y 14044:2006. Se va a utilizar como unidad funcional 1 m2 de adoquín.

El método de análisis desarrollado durante este trabajo es aplicable no sólo a adoquines sino a cualquier producto o servicio, por lo que se puede usar como base para otros productos prefabricados del cemento u otros tipos de pavimentos como el de asfalto o cerámico para poder hacer comparaciones entre ellos.

También se podría ampliar el estudio a otros países —donde cambiaría el mix eléctrico— u otros procesos alternativos de fabricación distintos al de este estudio.

REFERENCIAS:

Asociación Española para la Investigación y Desarrollo del Adoquín de Hormigón (2004). Manual Técnico del Euroadoquín. Madrid, España.

Asociación Española para la Investigación y Desarrollo del Adoquín de Hormigón (2004). Manual Técnico para la correcta colocación de los Euroadoquines, MTCE-04. Madrid, España.

de Carvalho Filho, A.C. (2001). Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento. Aportaciones al análisis de inventarios del ciclo de vida del cemento. Tesis doctoral, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos - Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España., 2001.

Fenollar. (2011) Colocación de adoquines. Favara (Valencia), España.

García Ceballos, M.L. (2013). Análisis de Ciclo de Vida de Puntos de Luz de Alumbrado Exterior. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - Universidad de Málaga, Málaga, España.

IHOBE (2000). Manual práctico de Ecodiseño. Operativa de implantación en 7 pasos. Sociedad Pública de Gestión Ambiental del País Vasco, Bilbao, España.

IHOBE (2009). Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono. Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto. Sociedad Pública de Gestión Ambiental del País Vasco, Bilbao, España.

ISO. UNE-EN-ISO 14006:2011, Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación del ecodiseño. International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza, 2011.

ISO. UNE-EN-ISO 14020:2002, Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales. International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza, 2002.

ISO. UNE-EN-ISO 14040:2006, Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza, 2006.

Malaka de Prefabricados (2009). Ficha Técnica de Adoquines de Hormigón. Málaga, España.

Mora, P.; Romay, M.; Silva, S.; Herrero, C. (2008) El ciclo de vida del cemento. un puente a la sostenibilidad en la construcción. Technical report, Oficemen.

Peláez Ramos, M.L. (2011). El reto de la eficiencia energética en el sector de la construcción. Technical report, Observatorio Industrial del sector de la Construcción. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

04-036

NEW ADMINISTRATIVE REGULATION OF ECONOMIC ACTIVITIES IN THE VALENCIAN COMMUNITY: LAW 6-2014 OF ENVIRONMENTAL PREVENTION, QUALITY AND CONTROL OF ACTIVITIES.

Cerveró-Meliá, Ernesto; Viñoles-Cebolla, Rosario; Bastante-Ceca, María José; Capuz Rizo, Salvador
Universitat Politècnica de València

By implementing the State Law 5/2013 of 11th June of integrated pollution prevention and control (amending Law 16/2002 of 1st July), aimed at simplifying the procedures for operation and implementation of economic activities, it has been published the Law 6/2014, of 25th July regarding to Prevention, Quality and Environmental Control of Activities in the Valencian Community, which main novelties are: a) The maintenance of the instruments for environmental intervention, Integrated Environmental Authorization and Environmental Licence and the creation of the Responsible Environmental Declaration and the Harmless Activity Communication. b) The derogation of Decree 54/1990 of the Valencian Regional Government has replaced the Nomenclature of Qualified Activities by the activity categories subject to Integrated Environmental Authorization, the activity categories subject to Environmental Licence and the conditions to determine activities to be included in the regime of Responsible Environmental Declaration or Harmless Activity Communication. The aim of this paper is to analyze the most important changes in the new regulation of activities referring to new denominations, category variations, processing procedure and bodies involved in granting.

Keywords: *Regulation of activities; Valencian Community; Integrated Environmental Authorization; Environmental Licence; Responsible Environmental Declaration; Harmless Activity Communication*

NUEVA REGULACIÓN ADMINISTRATIVA DE ACTIVIDADES DE LA COMUNIDAD VALENCIANA: LEY 6-2014, DE PREVENCIÓN, CALIDAD Y CONTROL AMBIENTAL DE ACTIVIDADES.

Por aplicación de la Ley estatal 5/2013 de 11 de junio de prevención y control integrados de la contaminación (que modifica la Ley 16/2002 de 1 de julio), orientada a simplificar los trámites para el funcionamiento y puesta en marcha de actividades económicas, se ha procedido a la publicación de la Ley 6/2014, de 25 de Julio de Prevención, Calidad y Control Ambiental de Actividades en la Comunitat Valenciana, cuyas novedades principales son: a.- El mantenimiento de los instrumentos de intervención ambiental, Autorización Ambiental Integrada y Licencia Ambiental y la creación de la Declaración Responsable Ambiental y la Comunicación de Actividad Inocua. b.- La derogación del Decreto 54/1990 de la GV, ha sustituido el Nomenclátor de Actividades Calificadas por las categorías de actividades sujetas a Autorización Ambiental Integrada, las categorías de actividades sujetas a Licencia Ambiental y las condiciones para determinar la inclusión de actividades en el régimen de Declaración Responsable Ambiental o de Comunicación de Actividades Inocuas. El objetivo del presente artículo es analizar los cambios más importantes de la nueva regulación de actividades en relación a nuevas denominaciones, variaciones de categoría, proceso de tramitación y órganos implicados en su concesión.

Palabras clave: *Regulación de actividades; Comunidad Valenciana; Autorización Ambiental Integrada; Licencia Ambiental; Declaración Responsable Ambiental; Comunicación de Actividad Inocua*

Correspondencia: Rosario Viñoles Cebolla rovice@dpi.upv.es

1. Antecedentes e introducción.

En el año 2006, la Comunidad Valenciana cambio la regulación de las Actividades mediante la aprobación de la Ley 2/2006 de 5 de mayo, de Prevención de la Contaminación y Calidad Ambiental, y el Decreto 127/2006 que la desarrollaba.

Ahora de nuevo, a raíz de las novedades impuestas por la regulación estatal (Ley 5/ 2013 de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002 de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio de residuos y suelos contaminados) y con miras principalmente a **simplificar y reducir los tramites para el funcionamiento y puesta en marcha de actividades económicas** (simplificación administrativa y reducción de cargas económicas) se ha procedido a la publicación de la Ley 6/2014, de 25 de Julio de Prevención, Calidad y Control Ambiental de Actividades en la Comunitat Valenciana (DOCV nº 7329 de 31/07/14, con entrada en vigor el 20 de agosto de 2014).

La ley esta configurada mediante un título preliminar, seis títulos, ocho disposiciones adicionales, tres disposiciones transitorias, una disposición derogatoria, seis disposiciones finales y tres anexos.

- El **título preliminar** se compone de:

- El capítulo I: recoge las disposiciones generales de carácter directivo para la aplicación de la ley por los órganos competentes así como por los particulares. Además se incluyen obligaciones generales que han de cumplir los titulares de las actividades e instalaciones.

- El capítulo II: establece las disposiciones de coordinación con las autorizaciones u otros medios de Intervención Sustantiva exigibles por la normativa vigente. Contempla además la coordinación con la normativa de carácter urbanístico, no estrictamente ambiental, pero relacionada con actividades e instalaciones y con las licencias urbanísticas para ejecución de proyectos y obras

- El **título I**: Regula el régimen general de intervención administrativa ambiental a que están sujetas las actividades e instalaciones incluidas en el ámbito de aplicación de la ley.

- El Capítulo I: Enuncia los distintos **instrumentos de intervención ambiental** regulados en la ley. Se incluye una referencia expresa a la **exclusión** del régimen previsto en la misma para **los espectáculos públicos, actividades recreativas y establecimientos abiertos a la pública concurrencia** sujetos a la Ley de Espectáculos Públicos, Actividades Recreativas y Establecimientos Públicos de la Comunitat Valenciana, que se regirán por su normativa específica por disponer de un procedimiento propio que ya incluye los aspectos de carácter ambiental.

-- El Capítulo II: Se concreta el órgano sustantivo ambiental competente para la tramitación y resolución del procedimiento de autorización o licencia o para la recepción de la **declaración responsable ambiental** y **comunicación de actividades inocuas**.
Asimismo, contempla el órgano ambiental competente para la emisión de pronunciamiento en materia de evaluación de impacto ambiental, así como los órganos colegiados encargados de emitir dictamen ambiental en los procedimientos de **autorización ambiental integrada** o **licencia ambiental**.

- El Capítulo III: Recoge las actuaciones que han de ser realizadas con carácter previo a la presentación de la solicitud de **autorización ambiental integrada** o de **licencia ambiental**.
Se incluye en este capítulo la solicitud de información sobre el **estudio de impacto ambiental** y documento inicial del proyecto, el **informe urbanístico municipal** y sus efectos.
Además, con la finalidad de agilizar los procedimientos, el interesado con carácter previo a la presentación de la solicitud podrá obtener **certificación emitida por los colegios profesionales u otras corporaciones de derecho público** con las que la **consellería competente en medio ambiente** suscriba el correspondiente **convenio**, **certificación acreditativa de la verificación de la documentación**.

- El **título II:** Establece el régimen jurídico de la autorización ambiental integrada, configurando un sistema que se acerca al modelo empresarial de ventanilla única, al tener **el solicitante un único interlocutor**, que resuelve en un único permiso todos los condicionantes exigidos por la normativa en materia medioambiental.

- El Capítulo I: Contiene las precisiones relativas al ámbito de aplicación y actividades sujetas a **autorización ambiental integrada** (ya ajustada ya a los fines y los valores limite de la Directiva del parlamento europeo de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales).
La autorización ambiental integrada se exige para la implantación y funcionamiento de las actividades **con mayor potencial contaminador** susceptibles de generar impactos considerables. Y se incluyen en **el anexo I** las instalaciones en que se desarrollen actividades sujetas a autorización ambiental integrada.

- El Capítulo II: Desarrolla el procedimiento para el otorgamiento de la **autorización ambiental integrada**, configurada como un permiso único. El procedimiento integra todos los pronunciamientos sectoriales en materia medioambiental, accidentes graves e informes estatales en el caso de vertidos. Así como el pronunciamiento del ayuntamiento en el ámbito de sus competencias; y el procedimiento de **evaluación ambiental de proyectos** por parte del órgano autonómico competente.

- El Capítulo III: Regula el régimen de revisión de la **autorización ambiental integrada**, así como la modificación de la instalación.

- El Capítulo IV: Las disposiciones aplicables en caso de cese temporal o definitivo de la actividad y, en su caso, cierre de las instalaciones, clausura, desmantelamiento, etc..

- El Capítulo V: Contempla la extinción, revocación, anulación y suspensión de la **autorización ambiental integrada** así como los supuestos de caducidad de la autorización.

- El **título III:** Regula el régimen jurídico de la **licencia ambienta**l.

- El Capítulo I: Establece la sujeción a este régimen de las actividades, de titularidad pública o privada, relacionadas en el **anexo II** que, no estando sometidas a autorización ambiental, tienen una **moderada incidencia ambiental** que exige su sometimiento a **autorización previa**.

El Capítulo II: Establece el procedimiento a seguir y los trámites del mismo, correspondiendo en todo caso su tramitación y resolución al órgano competente del ayuntamiento en cuyo territorio vaya a ubicarse la actividad.

- El **título IV** y **V** contienen las disposiciones relativas al régimen de **declaración responsable ambiental** y de **comunicación de actividades inocuas.**

Para que las actividades tengan la consideración de **inocuas** deberán cumplirse todos los criterios establecidos en el **anexo III** de la presente ley. El incumplimiento de alguno de dichos criterios determinará la inclusión de la actividad en el régimen de **declaración responsable ambiental.**

- El **título VI** dedicado a la disciplina ambiental, recoge el régimen de control e inspección de las actividades y el régimen sancionador aplicable.

El régimen sancionador aplicable tiene como finalidad garantizar la sanción de las infracciones que se puedan cometer y que los responsables reparen los daños realizados al medio. Actúa además como medio disuasorio para el posible infractor.

Los **fines** de la nueva Ley (articulo 2) son: Obtener un alto nivel de protección del medio ambiente, mediante la utilización de los instrumentos necesarios para prevenir, reducir, corregir y controlar los efectos ambientales de las actividades, garantizar la colaboración y coordinación de las Administraciones Públicas, y facilitar la actividad productiva y económica a través de **la racionalización y simplificación de los procedimientos**, con actuaciones como:

1.º Limitar las autorizaciones o licencias previas a los supuestos justificados por razones de interés general, habida cuenta de los riesgos y peligros que para el medio ambiente se derivarían de la inexistencia de un control a priori.

2.º Remitir al régimen de declaración responsable ambiental las actividades respecto de las que puede efectuarse un control a posterioridad a su escasa incidencia ambiental.

3.º Remitir al régimen de comunicación de **actividades inocuas** las actividades de nula incidencia ambiental.

Además de contribuir a hacer efectivo el desarrollo sostenible armonizando el desarrollo económico y social de las actividades con la protección del medio ambiente.

2. Las novedades más representativas de la nueva Ley 6/2014 de la G.V.

1.- La creación de dos nuevas figuras o instrumentos de intervención ambiental, junto con dos anteriores que semantienen, con relación a la anterior legislación (Ley 2/2006) que solo disponía de 3 instrumentos:

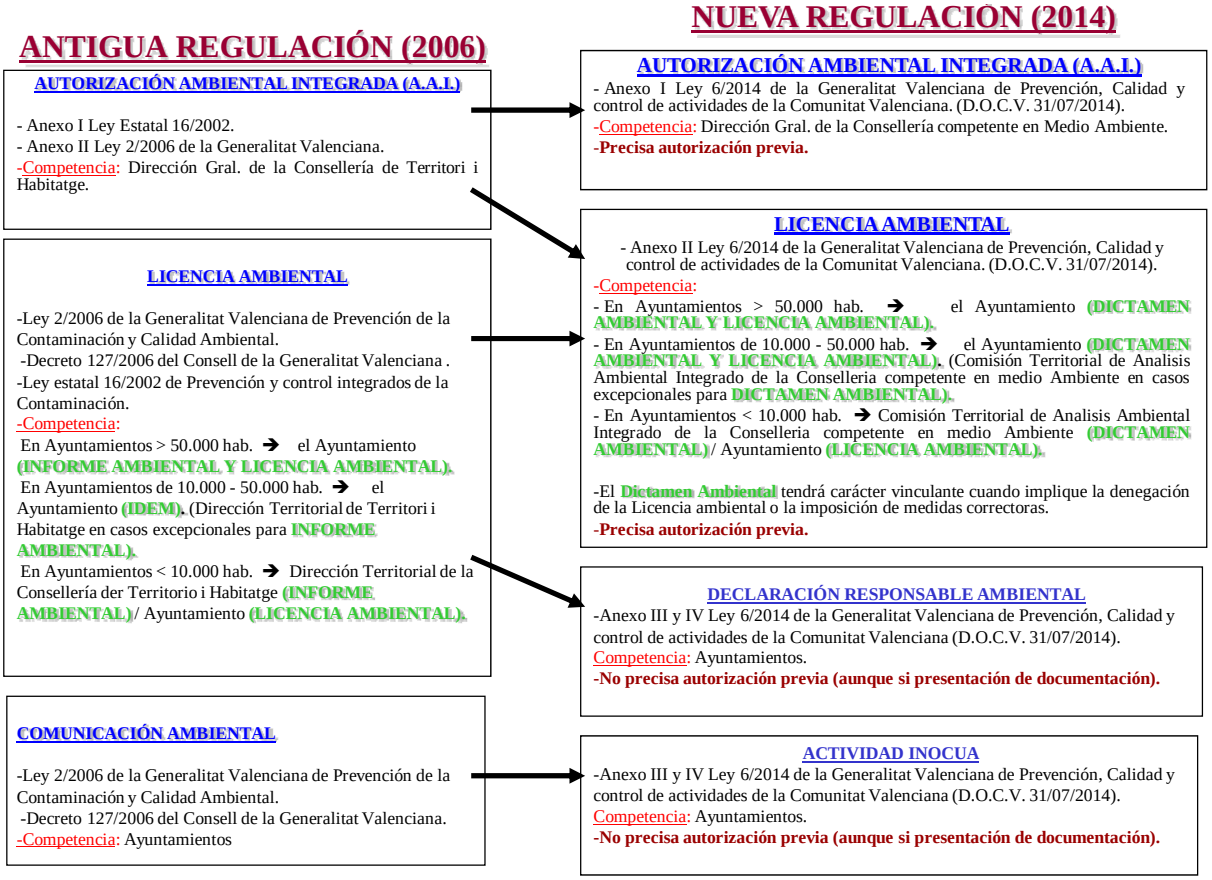
- La Autorización Ambiental Integrada.
- La Licencia Ambiental.
- La Comunicación Ambiental.
-

Quedando ahora como sigue:

- La Autorización Ambiental Integrada.
- La Licencia Ambiental.
- La Declaración Responsable Ambiental.
- La Comunicación de Actividad Inocua.

La ley está configurada mediante un título preliminar, seis títulos, ocho disposiciones adicionales, tres disposiciones transitorias, una disposición derogatoria, seis disposiciones finales y tres anexos.

Figura 1- Principales modificaciones introducidas en la nueva Ley



Las dos primeras figuras (o instrumentos), son similares a las que ya se crearon en la legislación de 2006, que ahora se deroga, y están pensadas, la primera para las actividades de incidencia ambiental elevada, mientras que para la segunda son para las de incidencia ambiental media.

La figura tercera, que es de nueva creación, se usará para las actividades de escasa incidencia ambiental. Creándose la denominada “Declaración Responsable Ambiental” compuesta de una Memoria técnica descriptiva de la actividad y una certificación suscrita por técnico competente, acreditativa de que las instalaciones cumplen con todas la condiciones técnicas y ambientales exigibles para iniciar la actividad.

Finalmente la cuarta, esta pensada para las actividades de incidencia ambiental nula, viniendo a sustituir a la denominada Comunicación Ambiental de la regulación del 2006.

Las dos primeras seguirán precisando de autorización previa para su funcionamiento, por parte de la Administración competente (de la Administración Autonómica para la primera, y de la Administración Local para la segunda).

Mientras que la tercera y la cuarta no precisarán de autorización previa para su funcionamiento. Aunque seguirán dependiendo en cuanto a su inspección y control de la Administración Local

2.- La aparición de las antiguas denominaciones como “actividad” y “actividad Inocua” que elimino la anterior Ley, y que tan claro entendimiento tienen. Así, la nueva Ley define la **“actividad”** como “*Proceso o explotación que se lleva a cabo en una determinada instalación industrial”,* mientras que **“actividad inocua”** es aquella que tiene una incidencia ambiental nula. Estas últimas eran tratadas en la anterior normativa como “comunicación ambiental” cuyo término no es tan claro y conocido como el recuperado ahora.

3.- La admisión de ACTUACIONES PREVIAS para intentar acortar el tiempo del procedimiento:

3.1.- Así la aparición, en los procedimientos de Autorización Ambiental Integrada, de lo que denomina **Certificación de verificación documental,** como actuación previa, por la cual **los Colegios profesionales u otras corporaciones de derecho público** que firmen convenio con la Conselleria competente en medio ambiente, tendrán la posibilidad de **emitir certificados de verificación documental en materia medioambiental**, con el fin de agilizar el procedimiento actual.

La verificación que llevarán a cabo los colegios consiste en la revisión técnica, informe y validación de los proyectos básicos, del estudio de impacto ambiental y demás documentación que ha de acompañar la solicitud, así como su adecuación a la normativa aplicable a la actividad a desarrollar.

3.2.- Además, para hacer extensible esta solución a los instrumentos de intervención ambiental dependientes de la administración local, la Ley establece que las **entidades locales** podrán **adherirse** a los convenios suscritos entre Conselleria y los colegios profesionales u otras corporaciones de derecho público, **o bien suscribir los suyos** propios.

4.- Exclusión (Articulo 3) del régimen previsto en la misma para **los espectáculos públicos, actividades recreativas y establecimientos abiertos a la pública concurrencia** sujetos a la Ley de Espectáculos Públicos, Actividades Recreativas y Establecimientos Públicos de la Comunitat Valenciana, que se regirán por su normativa específica por disponer esta de un procedimiento propio que ya incluye los aspectos de carácter ambiental.

5.- En la nueva figura o instrumento denominado **DECLARACIÓN AMBIENTAL RESPONSABLE** el **interesado manifestará bajo su responsabilidad** que cumple con los requisitos establecidos en la normativa ambiental para el ejercicio de la actividad que se dispone a iniciar, que posee la documentación que así lo acredita y que se compromete a mantener su cumplimiento durante todo el periodo de tiempo que dure el ejercicio de la actividad.

Debiendo adjuntarse la siguiente DOCUMENTACION a la DECLARACION RESPONSABLE AMBIENTAL:

- **Memoria técnica** descriptiva de la actividad

- **Certificación** suscrita por **técnico competente**, acreditativo de que las instalaciones cumplen con todas las condiciones técnicas y ambientales exigibles para poder iniciar el ejercicio de la actividad.

Esto es similar a lo que se hacia en la ya antigua “comunicación ambiental”.

La presentación de la **declaración responsable ambiental** permitirá al interesado la apertura e inicio de la actividad transcurrido el plazo máximo **de un mes** desde dicha presentación.

Transcurrido el **plazo de un mes desde la presentación** de la declaración responsable ambiental sin efectuarse visita de comprobación o, realizada ésta, sin oposición o reparo por parte del ayuntamiento, **el interesado podrá proceder a la apertura e inicio** de la actividad.

6.- Mientras que en el instrumento o figura de nueva creación denominada **COMUNICACIÓN DE ACTIVIDADES INOCUAS**, cuya **finalidad** es posibilitar a los operadores económicos el ejercicio de una actividad sin necesidad de autorización u otro acto administrativo previo por parte de la administración, atendiendo a su nula incidencia ambiental, podrá formularse una vez acabadas las obras y las instalaciones necesarias, y obtenidas, en su caso, las autorizaciones u otros medios de intervención que procedan en virtud de la normativa sectorial no ambiental y antes del comienzo de la actividad

Se presentará ante el ayuntamiento en el que va a realizarse la actividad y surtirá efectos desde su presentación. Una vez presentada podrá iniciarse el ejercicio de la actividad, Sin perjuicio de las facultades de comprobación, control e inspección que tengan atribuidas las administraciones públicas.

7.- Se deroga el decreto 54/1990 por el que se aprueba el **Nomenclátor de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas** (que se apoyaba en el antiguo reglamento estatal de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas). Siendo ahora de utilización como sustitución de este, los anexos de la presente ley.

8.- En los **proyectos** sujetos a **licencia ambiental,** no se aplicará el procedimiento de estimación de impacto ambiental con excepción de proyectos de explotaciones ganaderas y aquellos otros proyectos de instalaciones que se prevean ubicar en suelo no urbanizable.

9.- En caso que la actividad proyectada vaya a ubicarse en **suelo no urbanizable,** con carácter previo a la presentación de la solicitud o formalización de los instrumentos de intervención ambiental regulados en la ley, deberá obtenerse la DECLARACIÓN DE INTERÉS COMUNITARIO (DIC) o la autorización municipal exigida.

10.- En cuanto al **inicio de actividad** las novedades principales son:

- **En A.A.I.** (Art. 44) Una vez otorgada la autorización ambiental integrada, y finalizada, en su caso, la construcción de las instalaciones y obras, el titular dispondrá de un plazo de cinco años o el que, en su caso, establezca la normativa básica estatal, para iniciar la actividad, salvo que en la autorización se establezca un plazo distinto.No podrá iniciarse la actividad sin que el titular presente una declaración responsable. Cuando con la anterior normativa, se precisaba de visita de comprobación de OCA técnicos de la conselleria

- En la Licencia Ambiental (Art. 61) Una vez obtenida la licencia ambiental y finalizada, en su caso, la construcción de las instalaciones y obras, con carácter previo al inicio de la actividad **solamente** presentando una **comunicación de puesta en funcionamiento.**

11.- Como medida menos trascendental, matizar el cambio de denominación de lo que se denominaba anteriormente "informe ambiental" que pasa a denominarse "dictamen ambiental" (articulo 58).

12.- En cuanto a los **3 anexos (de carácter más técnico),** cabe destacar como novedades:

El anexo I. Actualiza las categorías de actividades sujetas a AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA

El anexo II. Actualiza las categorías de actividades sujetas a LICENCIA AMBIENTAL

Y el anexo III. Establece las *condiciones para determinar la inclusión de actividades en el régimen de DECLARACIÓN RESPONSABLE AMBIENTAL o de COMUNICACIÓN DE ACTIVIDADES INOCUAS:*

- Aquellas actividades no contempladas en los anexos anteriores quedarán incluidas en los siguientes regímenes:

a) Declaración responsable ambiental: cuando **no cumplan** alguna de las condiciones que se establecen a continuación.

b) Comunicación de actividades inocuas: cuando **cumplan** todas las condiciones que a continuación se relacionan.

Por:

- Ruidos y vibraciones.
- Olores, humos y/o emanaciones.
- Contaminación atmosférica.
- Vertidos de aguas residuales y/o de residuos.
- Radiaciones ionizantes.
- Incendios.
- Por manipulación de sustancias peligrosas o generación de residuos peligrosos.
- Explosión por sobre presión y /o deflagración.
- Riesgo de legionelosis.

1. Ruidos y vibraciones .

1.1. Aquellas actividades que para cumplir con los niveles máximos de transmisión, sea aérea o sea estructural, en ambientes interiores o exteriores, establecidos en la normativa vigente en materia de ruido ambiental sea suficiente con emplear como única medida correctora contra ruidos la simple absorción de sus paramentos y cubierta (cerramientos), evitando además y para ello el mantener parte de superficies abiertas.

1.2. Aquellas actividades cuyo nivel medio de presión sonora estandarizado, ponderado A, del recinto sea menor que 70 dBA. (Aquí la nueva Ley es más severa, la anterior normativa partía de los 80 db(A), para establecer como inocua una actividad)

1.3. Aquellas actividades que dispongan de elementos motores o electromotores cuya potencia sea igual o inferior a 9 CV debiéndose considerar lo siguiente:

– La potencia electromecánica estará determinada por la suma de la potencia de los motores que accionen las máquinas y aparatos que forman parte de la actividad.

– Quedan excluidos del cómputo los elementos auxiliares de la instalación no destinados directamente a la producción: ascensores, alumbrado, instalaciones de ventilación forzada, instalaciones de aire acondicionado de carácter doméstico, etc.

– No se evaluará como potencia, la correspondiente a las máquinas portátiles cuyo número no exceda de 4, ni cuya potencia individual sea inferior a 0.25 kW.

(Esta solución es similar a la de la normativa anterior)

1.4. Las actividades en las que se instalen equipos de aire acondicionado si cumplen alguno de los siguientes requisitos:

- Cuando las unidades compresoras se ubiquen en el interior del local, independientemente de su potencia.

- Cuando la potencia instalada sea inferior a nueve caballos de vapor (CV) con independencia de su ubicación.

(Este punto no estaba regulado en la normativa anterior)

2. Olores, humos y/o emanaciones.

2.1. Aquellas en las que para evitar humos y olores sea suficiente renovar el aire mediante soplantes.

2.2. Aquellas en las que no se desarrollen combustiones u otros procesos físicos o químicos que originen emanaciones de gases, vapores y polvos a la atmósfera.

(Este punto no estaba regulado tan específicamente en la normativa anterior)

3. Contaminación atmosférica.

3.1. Aquellas que no estén incluidas en el Catálogo de Actividades Potencialmente Contaminadoras de la Atmósfera contenido en el anexo IV de la Ley 34/2007, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera, actualizado por el Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, en ninguno de los grupos A, B y C, o normativa que la sustituya o complemente.

(Este punto se actualiza con referencia a la nueva legislación estatal en la materia, con referencia a la normativa anterior)

4. Vertidos de aguas residuales y/o de residuos.

4.1. Aquellas que no requieran ningún tipo de depuración previa de las aguas residuales para su vertido a la red de alcantarillado y/o su vertido sea exclusivamente de aguas sanitarias.

4.2. Aquellas que no produzcan residuos o que produzcan residuos asimilables a los residuos domésticos.

(Esta solución es similar a la de la normativa anterior)

5. Radiaciones ionizantes.

5.1. Aquellas que no sean susceptibles de emitir ninguna radiación ionizante.

6. Incendios.

6.1. Con carácter general, todas aquellas actividades cuya carga térmica ponderada sea inferior a 100 Mcal/m².

(Esta solución es mas laxa que la de la normativa anterior, ya que en ella se establecía como tope máximo para ser actividad inocua los 80 Mcal/m2 de carga de fuego termica ponderada).

3. Conclusiones

La nueva Ley, aparte de incorporar los cambios legislativos (desde 2006 en que se publico la anterior, hasta la fecha de la publicación de esta, 2014) impuestos por la legislación europea y estatal relacionada con la protección del medio ambiente y las actividades, aprovecha para buscar soluciones para acortar los tiempos de los procedimientos de legalización de instalaciones industriales y actividades, dando potestad a los Colegios Profesionales y a otras corporaciones de derecho publico, para validar la documentación de los citados procedimientos y de esta manera acortar los tiempos de las autorizaciones y minimizar la intervención de las administraciones.

Igualmente divide en 4 los instrumentos de intervención ambiental, (antes eran 3), para de esta manera, generar el nivel de “actividades inocuas”, que prácticamente minimicé su procedimiento de legalización en base a la nula incidencia ambiental de estas. Además **elimina la autorización expresa previa** para el inicio de estas ultimas actividades, así como para las sujetas a la “declaración responsable ambiental” ya que en estas también, su incidencia ambiental resulta aunque no nula, sí escasa.

En síntesis, trata de simplificar y reducir los trámites para el funcionamiento y puesta en marcha de actividades económicas, y de impulsar la iniciativa privada, buscando un perfil menos intervencionista de la Administración, pero sin bajar la guardia en las cuestiones de seguridad.

4. Legislación referenciada

Directiva 96/61/CE, del **Consejo**, de 24 de septiembre de 1996, de prevención y control integrados de la contaminación, vino a establecer un marco general de prevención y control integrados de la contaminación.

Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales.

Directiva 2006/123/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006 relativa a los servicios en el mercado interior.

Directiva 2011/92/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

Reglamento (CE) número 1221/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2009, por el que se permite que las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS)

Mandato legal de protección del medio ambiente recogido en el artículo 45 de la Constitución Española y de las competencias recogidas en el artículo 50.6 del Estatuto de Autonomía de la Comunitat Valenciana

Ley estatal 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, que incluye una reforma de la Ley 30/1992, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común, así como de la Ley 7/1985, Reguladora de las Bases de Régimen Local y la Ley 11/2007, de Acceso Electrónico de los Ciudadanos a los Servicios Públicos.

Ley estatal 34/2007, de 15 de noviembre, de Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera.

Ley estatal 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación de Impacto Ambiental.

Ley estatal 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.

Ley estatal 34/1998, de 7 de octubre, del Sector de Hidrocarburos.

Ley Orgánica 1/1992, de 21 de febrero, sobre Protección de la Seguridad Ciudadana, en lo referente a las instalaciones químicas para la fabricación de explosivos.

Ley estatal 22/1973, de 21 de julio, de Minas.

Ley estatal 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común.

Ley estatal 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente.

Ley estatal 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.

Ley estatal 11/2007, de 22 de junio, de Acceso Electrónico de los Ciudadanos a los Servicios Públicos.

Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se establecen medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la norma básica de autoprotección de los centros, establecimientos y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia

Ley de Espectáculos Públicos, Actividades Recreativas y Establecimientos Públicos de la Comunitat Valenciana

Ley 3/2010, de 5 de mayo, de la Generalitat de Administración Electrónica de la Comunitat Valenciana.

Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de residuos de la Comunitat Valenciana.

Ley 7/2002, de 3 de diciembre, de la Generalitat, de Protección contra la Contaminación Acústica y el Decreto 266/2004, de 3 de diciembre, que la desarrolla parcialmente.

5. Disposiciones a las que deroga:

Ley 2/2006, de 5 de mayo, de Prevención de la Contaminación y Calidad Ambiental. [2006/5493]

Decreto 54/1990, de 26 de marzo, del Consell de la Generalitat Valenciana, por el que se aprueba el nomenclátor de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas, en cumplimiento de lo establecido en el artículo primero de la Ley 3/1989, de 2 de mayo, sobre actividades calificadas.

Decreto 40/2004, de 5 de marzo, del Consell de la Generalitat, por el que se desarrolla el régimen de prevención y control integrados de la contaminación en la Comunidad Valenciana. [2004/M2492]

Decreto 127/2006, de 15 de septiembre, del Consell, por el que se desarrolla la Ley 2/2006, de 5 de mayo, de la Generalitat, de Prevención de la Contaminación y Calidad Ambiental. [2006/10761]

04-037

OBTAINING AN AGAVE ANGUSTIFOLIA FIBER BASED COMPOSITE WITH NATURAL LATEX

Hidalgo Reyes, Martin[1]; Caballero Caballero, Magdaleno[2]; Hernández Gómez, Luis H.[3]
[1] Universidad Autonoma Chapingo, [2] IPN CIIDIR-OAXACA, [3] IPN. ESIME-Zacatenco

In Oaxaca State, Mexico, 23 species of agave have been identified, which are used in the local production of mezcal; the most important species is Agave angustifolia. The mezcal industry take advantage only the stem and discard leaves. Annually 122696 tons of bagasse of Agave which is not used, while in other countries, natural fibers are industrially used. In order to use this lignocellulosic fibers of bagasse, a physical and chemical characterization was made. A composite material was obtained by adding fibers to a natural polymer, with two types of latex (natural and spin), with different percentage latex-fiber (50-50, 40-60 and 70 - 30%), and with different particle sizes (600 and 300 μm). Its physical and physico-chemical properties were evaluated, the mean values of tensile strength, Young's modulus, % strain (ε), and ultimate tensile strength were determined via mechanical tests, and also water absorption was determined. Composites were analyzed by scanning electron microscopy too. The obtained values from mechanical test, shown in all cases, values that they exceed those found in the same tests for individual fibers. It is concluded that it is possible to add value to the fibers through the development of composite materials.

Keywords: *chemical composition; mechanical tests; morphology*

OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE FIBRAS DE ÁGAVE ANGUSTIFOLIA HAW CON LÁTEX NATURAL

En el estado de Oaxaca, México, se han identificado 23 especies de agave utilizadas en la fabricación de mezcal; destacando el Agave angustifolia Haw. Esta industria únicamente emplea el tallo y desecha las hojas. Anualmente se producen 122696 toneladas de bagazo de Agave que no es aprovechado, mientras en otros países, las fibras vegetales son aprovechadas industrialmente por su contenido lignocelulósico. A fin de utilizar las fibras lignocelulósicas del bagazo, se realizó su caracterización física y química. Se obtuvo un material compuesto agregando fibras a un polímero natural, con dos tipos de látex (natural y centrifugado), con diferentes porcentajes látex-fibra (50-50, 40-60 y 70-30%), y con distintos tamaños de partícula (600 y 300 μm). Se evaluaron sus propiedades físicas y fisicoquímicas, se realizaron pruebas de tracción, se determinó su módulo de elasticidad, su esfuerzo último de tensión, el porcentaje de deformación unitaria y su capacidad de absorción de agua. Se analizaron mediante microscopia electrónica de barrido. Los valores encontrados en las pruebas mecánicas, muestran en todos los casos, valores que superan los encontrados en las mismas pruebas para las fibras individuales. Se concluye que es posible dar valor agregado a las fibras a través de la elaboración de materiales compuestos.

Palabras clave: *composicion quimica; prubas mecanicas; morfologia*

Correspondencia: Martin Hidalgo Reyes hogladi@hotmail.com

1. Desarrollo

En Oaxaca, México, se han identificado 23 especies de agave utilizados en la fabricación del mezcal; destacando el *Agave angustifolia* Haw (Secretaria de Agricultura, Ganadería, desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2005). Esta industria, únicamente emplea el tallo o piña, desechando todas las hojas y fibras residuales, lo cual significa un aprovechamiento equivalente al 45% en peso del agave. Las hojas representan el 55% restante y solo son abandonadas en el campo a cielo abierto. La densidad de población de este cultivo es de 2500 plantas/ha. Cada planta tiene 80 hojas en promedio, mismas que se encuentran físicamente aptas para la extracción de fibra, es decir, en una hectárea se generan 200 000 hojas que no son aprovechadas (Silva y Caballero, 2004). Lo mismo sucede con las fibras del bagazo residual, las cuales simplemente son desechadas al final de proceso. En cambio, en otros países, las fibras vegetales son aprovechadas industrialmente por su contenido lignocelulósico (Arrakhiz *et al*., 2013; Liu., Hu y Yu, 2012; Mishra *et al*., 2004).

A nivel mundial se está produciendo un fenómeno dirigido hacia el aprovechamiento integral de los recursos naturales. Este nuevo enfoque conlleva al cambio del uso de petroquímicos a recursos renovables (Bessadok *et al*., 2008; FAO, 2004). Se prevé que las fibras lignocelulósicas tengan una función importante en la transición respecto a las fibras sintéticas (FAO, 2007; Reddy y Yang, 2005). Las fibras vegetales tienen una trascendencia económica, pero solo se aprovechan unas cuantas como el sisal, henequén, yute, kenaf, abaca y bonote; el resto es explotado a pequeña escala, por la falta de conocimiento de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas (Cazaurang *et al*., 1991; Kestur., Guimaraes y Wypych, 2007; Tomczak., Sydenstricker y Satyanarayana, 2007). En el caso específico del *Agave angustifolia* Haw, las fibras de las hojas y las del tallo (bagazo cocido), no han sido estudiadas a profundidad. En esta investigación se hace un análisis, únicamente de las fibras presentes en el bagazo cocido, a fin de obtener información para establecer algún beneficio de las mismas. Existe una gran cantidad de material residual disponible, el cual contiene fibras lignocelulósicas, que por su composición física y química, pueden convertirse en un elemento potencial para ser utilizadas en múltiples aplicaciones (John y Thomas, 2008; Li *et al*., 2008). Debido al contenido de celulosa de estas fibras, se espera que una alternativa de uso sea su incorporación como refuerzo en una matriz polimérica para formar un compuesto.

En los sistemas de producción agrícola, los envases para productos hortofrutícolas son un ejemplo de componentes sujetos a historiales de cargas que varían en el tiempo, causando cambios en la integridad estructural del material y provocando un deterioro progresivo en sus propiedades mecánicas. Por tal razón, los estudios sobre la generación de materiales compuestos, con mejores capacidades de carga, son un tema de gran relevancia. Las investigaciones se han enfocado hacia el conocimiento de las propiedades de los nuevos materiales, y al establecimiento tanto de los parámetros de diseño como de los procesos de manufactura adecuados que garanticen la conservación y calidad de los productos biológicos. Considerando estos argumentos, en la presente investigación, se realizó un estudio formal y sistemático para caracterizar las fibras del bagazo de *Agave angustifolia Ha*w, a fin de determinar sus propiedades químicas y físicas, y con ello establecer alguna alternativa de uso. El planteamiento principal fue elaborar un material compuesto utilizando estas fibras como material de refuerzo dentro de una matriz polimérica. El material elaborado fue caracterizado, y con los resultados se estiman las condiciones para sus posibles aplicaciones.

1.1 Objetivos

General:

- Caracterizar las fibras de bagazo cocido de Agave angustifolia para conocer sus propiedades físicas y químicas, a fin de establecer una aplicación alternativa de uso como un proyecto que ayude al desarrollo de la región.

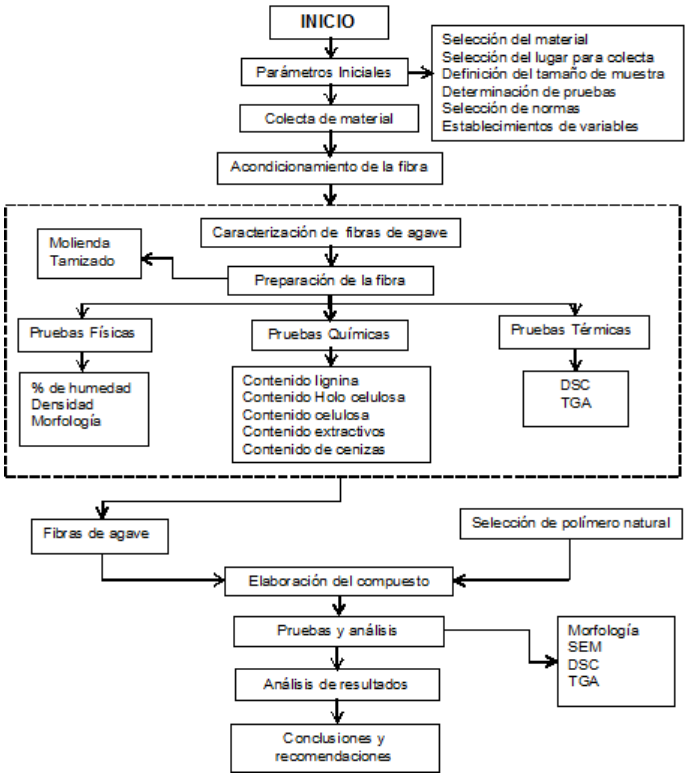
Específicos:

- Caracterizar las fibras del bagazo de Agave angustifolia
- Elaborar un material compuesto con fibras residuales de Agave angustifolia
- Caracterizar el material compuesto elaborado

2. Metodología

El enfoque de la investigación es de carácter demostrativo-experimental. La metodología (Figura 1) describe los pasos generales del trabajo de investigación: A partir de las pruebas, se obtienen los datos cuantitativos para sustentar los resultados. Las pruebas y ensayos de laboratorio fundamentan sus procedimientos en las normas respectivas, desde la colecta de material, la definición del número de especímenes hasta las técnicas empleadas para realizar cada una de las determinaciones.

Figura 1. Metodología de la investigación



En general, las etapas a seguir para el trabajo experimental son las siguientes:

- Establecimiento de condiciones iniciales
- Determinación del tamaño de muestra y colecta
- Acondicionamiento del material
- Caracterización de las fibras
- Elaboración del compuesto
- Caracterización del compuesto

El objetivo de realizar la caracterización de las fibras es conocer sus propiedades físicas y químicas, para obtener los elementos que ayuden a determinar posibles usos alternativos de las mismas. Con los resultados obtenidos se determinará si las fibras pueden ser utilizadas para elaborar un material compuesto, y después fabricar un envase para frutos de papaya. El enfoque es completamente experimental, los resultados se obtienen de pruebas en laboratorio. Cada prueba y ensayo se fundamenta en normas y estándares internacionales, tal como se indica en cada apartado, incluyendo los criterios para definir la muestra y el número de repeticiones, así como los procedimientos en cada técnica utilizada.

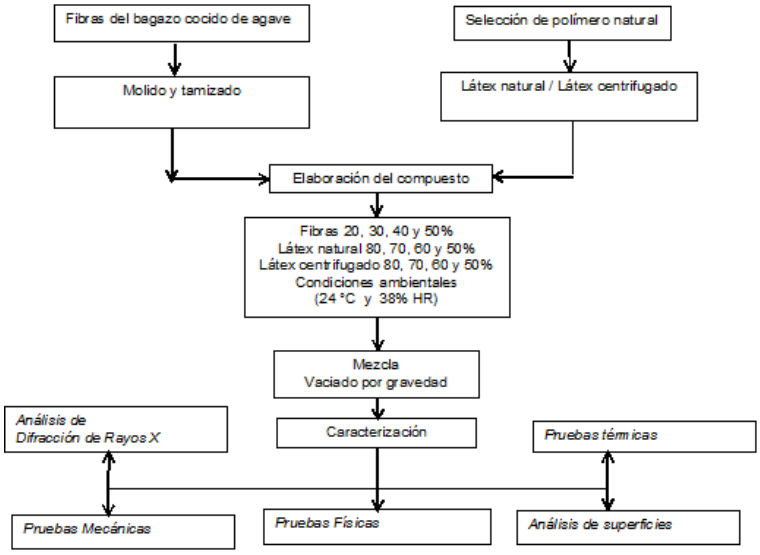
Durante el desarrollo del trabajo experimental se siguieron las siguientes etapas: selección del lugar, determinación del material (bagazo cocido), tamaño de muestra, colecta, realización de pruebas, obtención de datos, análisis estadístico, obtención de resultados y conclusiones. La metodología establece el desarrollo de cada prueba de manera particular, la técnica a seguir y los equipos a utilizar, todo de acuerdo con los procedimientos establecidos en cada una de las normas.

De manera específica, las etapas para realizar la caracterización física y química de las fibras del bagazo cocido de *Agave angustifolia* fueron las siguientes:

1. Colecta de material
2. Preparación de material
3. Determinación de propiedades físicas
4. Determinación de propiedades químicas
5. Determinación de propiedades térmicas
6. Prueba mecánica
7. Análisis de resultados
8. Conclusiones

Para elaborar y caracterizar el material el material compuesto se procedió de acuerdo con las etapas mostradas en la Figura 2.

Figura 2. Desarrollo experimental para obtención y caracterización del compuesto



3. Resultados

En la presente investigación se utilizó bagazo cocido de agave, el cual fue colectado en el municipio de San Baltazar Chichicapam, Oaxaca, México. Las fibras fueron tomadas del bagazo residual del proceso de elaboración de mezcal.

3.1 Colecta del bagazo cocido de Agave angustifolia Haw

El bagazo de agave (Figura 3) se colectó en una fábrica artesanal (*palenque*) de producción de mezcal, ubicada en el municipio de San Baltazar Chichicapam, localizado en la parte central del Estado, en la región denominada “Región del mezcal”, en los Valles Centrales, con coordenadas 96º 29' longitud oeste, 16º 46' latitud norte, a 1,540 m de altura sobre el nivel del mar. Limita al norte con los municipios de Santo Tomás Jalieza y San Bartolomé Quialana; al sur con Yaxe; al oriente con Santiago Matatlán y San Dionisio Ocotepec; al poniente con San Juan Chilateca, San Antonio Castillo Velasco, San Miguel Tilquiapam y San Jerónimo Taviche. Se encuentra a 56 km de la capital del Estado.

Figura 3. Bagazo cocido de *Agave angustifolia* Haw

3. 2 Preparación de las fibras del bagazo cocido de Agave angustifolia Haw

Las operaciones de preparación y acondicionamiento de las fibras, se realizaron de acuerdo a los pasos descritos a continuación:

- Lavado. Consiste en remojar y lavar el bagazo de agave. Se utilizó agua potable. En esta fase se separaron las cortezas leñosas. El procedimiento se realizó manualmente.

- Secado. La fibra se colocó al aire libre y se dejó secar bajo las condiciones ambientales del lugar, a una temperatura promedio de 24 °C con una humedad relativa de 38%.

- Selección y Limpieza. La selección y limpieza se realizó manualmente, el objetivo es eliminar los residuos no deseados, hasta obtener un material (Figura 4) libre de impurezas.

Figura 4. Fibras limpias y seleccionadas

- Molienda. El corte de la fibra se realiza para obtener secciones con 15 mm de longitud, se realizó manualmente con tijeras, el corte inicial fue necesario antes de la fase de molienda.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización química de las fibras del bagazo cocido de *Agave angustifolia* Haw.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas de las fibras.

Parámetro	Resultado
Densidad	414.7 kg/m^3
Diámetro del haz fibroso	501 µm
Longitud del haz fibroso	144 mm
Contenido de humedad	7.78 ± 0.37 %
Solubilidad en agua fría	2.66 ± 0.12 %
Solubilidad en agua caliente	4.39 ± 0.32 %
Solubilidad en NaOH al 1%	20.22 ± 0.27 %
Extractivos en etanol/tolueno	1.54 ± 0.11 %
Extractivos totales	5.30 ± 0.40 %
Lignina Klason	17.91 ± 1.02 %
Lignina Soluble	2.78 ± 0.35 %
Lignina total	20.69 ± 0.97 %
Holocelulosa	82.12 ± 0.49 %
Celulosa	48.04 ± 1.36 %
Hemicelulosa	34.08 ± 1.03 %
α-Celulosa	55.03 ± 0.33 %
Contenido de cenizas	1.28 ± 0.06 %

Fuente: Propia**.**

3.3 Elaboración del material compuesto

Para la elaboración de las películas se colocó la cantidad fibra requerida en las cajas de cristal de 15x15 cm, se utilizaron partículas con dos rangos de acuerdo a su tamaño y se consideró los tratamientos establecidos.

Se obtuvo un material compuesto agregando fibras a un polímero natural, con dos tipos de látex (natural y centrifugado), con diferentes porcentajes látex-fibra (50-50, 40-60 y 70-30%), y con distintos tamaños de partícula (600 y 300 µm).

El látex se agregó por gravedad. El curado se realizó bajo condiciones ambientales del laboratorio (24 °C y 38% HR), durante 72 h. Las películas del material compuesto obtenido se pueden observar en la Figura 5.

Figura 5. Película obtenida de material compuesto

Se evaluaron sus propiedades físicas y fisicoquímicas, se realizaron pruebas de tracción, se determinó su módulo de elasticidad, su esfuerzo último de tensión, el porcentaje de deformación unitaria y su capacidad de absorción de agua. Se analizaron mediante microscopia electrónica de barrido. Los valores encontrados en las pruebas mecánicas, muestran en todos los casos, valores que superan los encontrados en las mismas pruebas para las fibras individuales.

4. Conclusiones

Las fibras naturales han sido utilizadas desde la antigüedad, se han empleado como alimento, material de construcción, en la fabricación de utensilios, vestimenta, herramientas entre otros. Una de las mayores ventajas que presentan las fibras naturales es que pueden extraerse de la naturaleza, además están constituidas principalmente por celulosa y lignina. Se concluye que es posible dar valor agregado a las fibras a través de la elaboración de materiales compuestos.

Estas fibras pueden ser utilizadas en la elaboración de compuestos debido a su bajo costo, baja densidad y alta resistencia. Pueden dar rigidez y resistencia, son fáciles de reciclar y a diferencia de otras fibras, como la fibra de vidrio, no son quebradizas.

Actualmente, los materiales compuestos con fibras sintéticas, brindan a la industria propiedades mecánicas excepcionales; pero esos aspectos, favorables durante el período de uso, operan en contra al momento de su degradación. Por tal razón es necesario sustituir el tipo de fibra y de matriz utilizadas. Finalmente, queda claro que las fibras lignocelulósicas son un recurso renovable de gran disposición en el Estado de Oaxaca, son biodegradables, no generan gases tóxicos ni dejan residuo sólidos en combustión, su peso es aproximadamente un tercio de las fibras de vidrio, no producen abrasión en las máquinas de procesamiento, presentan un módulo de elasticidad muy bueno, y soportan altas temperaturas. Así mismo, se sabe que los materiales compuestos con agregados de fibras naturales son menos sensibles a las vibraciones, reducen el peso, el costo es menor, se pueden obtener superficies más lisas, y el proceso de producción es menos toxico para los operarios ya que la fibra no se volatiliza. En este sentido el material compuesto desarrollado utilizando fibras de bagazo cocido de agave como agente de refuerzo y una matriz polimérica natural e inocua al medio ambiente, puede traer beneficios en todos los sentido considerando lo expuesto.

5. Referencias

Arrakhiz F.Z., El Achaby M., Malha M., Bensalah M.O., Fassi-Fehri O., Bouhfid R., Benmoussa K., & Qaiss A. (2013). Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites: Doum/low density polyethylene. *Materials and Design*. *43*, 200-205.

Bessadok A., Marais S., Roudesli S., Lixon C., & Métayer M. (2008). Influence of chemical modifications on water sorption and mechanical properties of Agave fibers. *Journal composites: Part A: applied science and manufacturing. 39*, 29-45.

Cazaurang-Martinez M. N., Herrera-Franco P. J., González-Chi P. I., & Aguilar-Vega M. (1991). Physical and mechanical properties of henequen fibers. *Journal of applied polymer science. 43*, 749-756.

FAO (2004). Los efectos ambientales de las fibras duras y el yute en aplicaciones industriales no textiles. [Internet] Consulta sobre fibras naturales. [Consultado 08 de agosto 2014]. Disponible en: http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/343/es/esc_4_sp.pdf.

FAO. (2007). La evolución paralela de los precios del yute y las fibras duras con los precios del polipropileno y el petróleo crudo". [Internet] Consulta fibras naturales. [Consultado 26 de julio de 2014]. Disponible en: http://www.fao.org/es/esc/common/ecg/341/es/OILDOCUMENT_SPANISH.pdf

John M. J., & Thomas S. (2008). Review. Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate polymers. 71*, 343-364.

Kestur G. S, Guimaraes J. L., & Wypych F. (2007). Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. *Journal composites: Part A: applied science and manufacturing. 38*, 1694-1709.

Li Y., Hu C., & Yu Y. (2008). Interfacial studies of sisal fiber reinforced high density polyethylene (HDPE) composites. *Journal composites: Part A: applied science and manufacturing. 39(4)*, 570-578.

Liu D., Song J., Anderson D., Chang P., & Hua Y. (2012). Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties. *Cellulose. 19,* 1449-1480.

Mishra S., Mohanty A. K., Drzal L. T., Misra M., & Hinrichsen G. (2004). A review on pineapple leaf fibers, sisal fibers and their biocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering. 289,* 955-974.

Reddy, N., & Yang, Y. (2005). Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *Trends in biotechnology. 23(1)*, 22-27.

SAGARPA, SEDAF, & COMMAC. (2005). Plan rector del sistema producto maguey-mezcal. Oaxaca: COMMAC.

Silva-Santos L. y Caballero-Caballero M. (2004). Desarrollo de tecnologías adecuadas para el proceso de fabricación del mezcal en el estado de Oaxaca. Informe técnico final del proyecto de investigación con clave CGPI-IPN: 20020524 – 20031488

Tomczak F., Sydenstricker T.H.D. & Satyanarayana K.G. (2007). Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part II: Morphology and properties of Brazilian coconut fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 38*:1710-1721

04-038

IDENTIFICATION AND MEASUREMENT OF COMPLEMENTARITY VARIABLES IN STRATEGIC PROJECTS OF WATER IRRIGATION FROM THE SUSTAINABILITY PRACTICES. CASE REPUBLIC OF ECUADOR

Gallardo Carrillo, Galo [1]; Meliá Martí, Elena [2]; García Molla, Marta [2]; Artacho Ramírez, Miguel Ángel [2]

[1] Universitat Central del Ecuador, [2] Universitat Politècnica de València

Based on the assessment of water resources in Ecuador and strategic water projects in this country, questions were raised about the need to complement these projects under the sustainability approach, effectively balancing the original intentions, needs and environments with the services offered at present. To do so, it was identified and characterized 32 variables of complementarity: 7 economic variables, 11 environmental variables and 14 social variables. These variables were employed to assess the 16 strategic projects of irrigation water sector in Ecuador by an expert panel. Experts evaluated the current implementation of such practices, the level of performance achieved and their relative importance. The results allow us to identify, assess and prioritize gaps in existing complementarity in such projects from the initial planning stages, providing a basis to face these gaps in future projects.

Keywords: *Sustainability; Complementarity variables; Complementarity gaps; Strategic projects; Irrigation projects*

IDENTIFICACIÓN Y MEDICIÓN DE VARIABLES DE COMPLEMENTARIEDAD EN PROYECTOS ESTRATÉGICOS DE RIEGO PARTIENDO DE PRÁCTICAS DE SOSTENIBILIDAD. CASO REPÚBLICA ECUADOR

Partiendo de la evaluación de los recursos hídricos disponibles en Ecuador y de los proyectos hídricos estratégicos del país, se plantearon preguntas de discusión acerca de la necesidad de complementar estos proyectos bajo el enfoque de la sostenibilidad, equilibrando eficientemente las intenciones originales, las necesidades y entornos actuales con los servicios finalmente ofrecidos. Para ello se identificó, caracterizó y valoró el desempeño de 32 variables de complementariedad: 7 económicas, 11 ambientales y 14 sociales, en 16 proyectos estratégicos del sector hídrico de riego del Ecuador. A través de un panel de expertos se valoró la implantación actual de dichas prácticas, el nivel de desempeño alcanzado por los proyectistas y su importancia relativa. Los resultados obtenidos permitiran identificar, estimar y jerarquizar las brechas de complementariedad existentes en este tipo de proyectos desde las fases iniciales de planificación, sirviendo de base para la mitigación de dichas brechas en proyectos futuros.

Palabras clave: *Sostenibilidad; Variables de Complementariedad; Brechas de Complementariedad; Proyectos estratégicos; Proyectos de riego*

Correspondencia: Galo Fernando Gallardo Carrillo galo_gallardo@hotmail.com

Agradecimientos: A las autoridades del agua de la República del Ecuador, en especial a los gerentes de proyecto y contrapartes de la Empresa Pública del Agua EPA, por haber brindado su colaboración llenando las encuestas

1. INTRODUCCION:

Los proyectos estratégicos también conocidos como emblemáticos, dentro de los cuales se contemplan los proyectos hídricos, son considerados aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social. Por la importancia que revisten en la República del Ecuador constan en el Art. 313 de la Constitución del Ecuador (2008). Los proyectos hídricos a su vez pueden construirse con varias finalidades: agua potable, riego, hidroelectricidad o multipropósito. La investigación se centra en los proyectos hídricos que contienen el componente riego, para lo cual se estudia el caso de 16 proyectos en la República del Ecuador, lo que ha sido posible gracias a la colaboración brindada por las autoridades nacionales ecuatorianas del agua.

Los proyectos presentan una realidad en su etapa de planificación y otras distintas cuando están en ejecución o después de concluidos; ello ocasiona un déficit de los servicios finalmente ofrecidos y una brecha entre las intenciones originales y las necesidades actuales, generando focos de descontento ciudadano y condiciones de operación no adecuadas a su capacidad instalada, y provocando lo que hemos denominado en este estudio brechas de complementariedad, que son de dos tipos: **No Constructivas y Constructivas**.

Las **Brechas No Constructivas** son aquellas que aparecen al tratar de equilibrar eficientemente las intenciones originales, las necesidades y entornos actuales, con los servicios finalmente ofrecidos por la infraestructura construida, en tanto que las **Brechas Constructivas** son las diferencias que se producen al comparar los procesos estrictamente constructivos de la infraestructura del proyecto en su planificación referencial con respecto a su estado durante la etapa de construcción, y que no permiten lograr los objetivos constructivos del proyecto y su puesta en funcionamiento. Como ejemplo encontramos entre otros: rubros originalmente no contemplados en la planificación pero imprescindibles para la culminación y puesta en funcionamiento de la infraestructura civil, cuantificación de volúmenes de obra originalmente no contemplados, adecuación de materiales y tecnologías a utilizarse para optimizar procesos constructivos, implementación de planes de contingencia ante casos fortuitos o de fuerza mayor, etc. Todas estas brechas son recolectadas a través de órdenes de trabajo que luego de ser aprobadas se ejecutan y pasan a formar parte de la obra de infraestructura final, constando dentro del Acta de Recepción Definitiva del proyecto y por tanto pasan a formar parte del presupuesto final, que generalmente difiere del presupuesto originalmente planificado.

La medición de las Brechas No Constructivas será el objetivo del presente estudio. Se escogió a las buenas prácticas de sostenibilidad como las variables para medir dichas brechas en los proyectos estratégicos hídricos de riego, por sus características propias de complementariedad económica, medioambiental y social en las infraestructuras construidas (CEPAL, 2001). La medición y evaluación de la inobservancia y/o incumplimiento de estas prácticas o variables, permitirá identificar los distintos tipos de brechas no constructivas generadas en los proyectos hídricos de riego y que simultáneamente representan riesgos para alcanzar la sostenibilidad del proyecto.

Por tanto, **las Variables No Constructivas, a las que en adelante nos referiremos como Variables de Complementariedad,** o lo que es lo mismo, las variables de sostenibilidad, son el vehículo creado que permite calcular las Brechas de Complementariedad No constructivas.

Las variables de complementariedad, se obtuvieron a partir de la revisión de documentación científica que contiene estudios sobre indicadores de sostenibilidad, sirviendo de base para identificar las mejores prácticas de sostenibilidad aplicables a proyectos del sector hídrico de riego, que finalmente fueron validadas por expertos del sector y el criterio de los autores.

1.1 ESTADO DEL ARTE DE LAS VARIABLES DE COMPLEMENTARIEDAD:

De la revisión realizada en la literatura científica se constata una profusión en el desarrollo de indicadores de escala o cobertura nacional, en general a cargo de los gobiernos centrales. Por otra parte, organizaciones de la sociedad civil y reparticiones gubernamentales sectoriales o territoriales, han estado desarrollando indicadores de sostenibilidad que dan cuenta de fenómenos locales (ciudades), territoriales (cuenca, bahías), temáticos (por ejemplo biodiversidad, aguas) o bien sectoriales (energía, transporte, agricultura). (CEPAL, 2001). También se consultaron dos proyectos de investigación que tienen como objetivo crear un estándar para los sistemas de indicadores para evaluar la sostenibilidad en el sector de la construcción y tratar de resolver los problemas planteados por la diversidad de los sistemas de indicadores co-existentes en este sector; uno de ellos es el proyecto de investigación LEnSE del año 2005 del Sixth Research Programme of the EU, y el otro aún en desarrollo apoyado por el WCCE (World Council of Civil Engineers). Fernández y Rodríguez (2010) afirman que durante más de una década ha venido aplicándose el concepto de planificación sostenible a la planificación urbana y al sector de la edificación, basada en el programa Agenda 21. De hecho, una cantidad importante de estudios han focalizado sus análisis en dimensiones ambientales y económicas de la sostenibilidad, no obstante son escasos los estudios respecto a la dimensión social y menos aún aplicados en el sector de la construcción (Fernández y Rodríguez, 2010); por lo que, el término "construcción sostenible" se ha centrado casi exclusivamente en los edificios, y poco a poco, los objetivos de sostenibilidad se están introduciendo en los proyectos de ingeniería civil (Valdes y Klotz, 2013). En este nuevo contexto, los conjuntos de indicadores de sostenibilidad encontrados para proyectos de ingeniería civil han surgido para puentes y viaductos tales como el modelo SUSAIP (Sustainability Appraisal in Infrastructure Projects) formado por criterios identificados a través de entrevistas y encuestas realizadas a los participantes en las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto (Ugwu et al, 2006); y, el ETI (Technical Sustainability Index) propuesto por Dasgupta y Tam (2005), donde los indicadores se han creado sobre la base de la documentación científica existente. Los indicadores de sostenibilidad mayormente relacionados con proyectos hídricos de riego han sido reportados para proyectos hidroeléctricos, y recolectado en el año 2014 (Kumar y Katoch), incluyendo 20 indicadores sociales, 22 medio ambientales y 19 económicos, provenientes de 22 trabajos científicos.

En consecuencia, teniendo en cuenta que el sector de la construcción está evolucionando hacia un aumento y un desarrollo de la serie y el tipo de indicadores sociales, económicos y ambientales (Zhang, Wang y Tian, 2008); y que el desarrollo de categorías o conjunto de indicadores apropiados para tipos comunes de sistemas de infraestructura civiles podrían racionalizar el análisis de sostenibilidad (Dasgupta y Tam, 2005), existe la necesidad de identificar buenas prácticas de sostenibilidad específicas para los proyectos hídricos del sector de riego que puedan utilizarse para la identificación y medición de un **menor número de indicadores de sostenibilidad** de la gestión de proyectos hídricos de riego, bajo el punto de vista de indicadores vinculantes o de tercera generación, conforme los desafíos más importantes que presentan la revisión del estado del arte en indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible realizado por la División del Medio Ambiente y Asentamientos Humanos y publicado por la Naciones Unidas en el año 2001.

1.2 LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS EN LA REPUBLICA DEL ECUADOR

Las cuencas hidrográficas de la República del Ecuador con un abundante caudal hídrico renovable proveniente de sus dos vertientes hidrográficas: Pacífico y Amazonas, ofertan 430,2 Km^3/año de recursos hídricos disponibles RHD y 143.4 Km^3/año de recursos hídricos

utilizables RHU, no presentarán signos de escasez ante el escenario de la construcción de 16 megaproyectos estratégicos del sector hídrico de riego durante el período 2012-2017. Según estudio reciente, cuyo resumen se aprecia en la Tabla No.1, apenas se utilizarán el 3,72% de los RHU (Gallardo, Meliá y García, 2014). Por otro lado, las metas de inversión referenciales en megaproyectos hídricos que tiene previsto ejecutar el gobierno ecuatoriano a través de la Secretaría Nacional del Agua SENAGUA en el periodo 2012-2017, alcanzan 2.745,94 millones de dólares, a lo largo de estas dos cuencas. El incremento de demandas consuntivas y no consuntivas que generarán estas construcciones, plantea algunas preguntas de discusión acerca de la necesidad de complementar los proyectos hídricos y equilibrar eficientemente las intenciones originales, las necesidades y entornos actuales, con los servicios finalmente ofrecidos, con un enfoque de sostenibilidad, así como de los riesgos intrínsecos que requieren ser identificados, monitoreados, evaluados y mitigados.

Tabla No. 1: Criterios para determinar la escasez de agua en el Ecuador

FALKENMARK(1989)	Indice de disponibilidad	Recursos hídricos renovables (que se consideran constantes a lo largo del tiempo) / población.	entre 1.000 m^3 y 2.000 m^3 /persona/año	País tiene problemas de agua (Reino Unido, India Pakistán, o Tanzania)	**Ecuador 29.700 m3/hab/año . NO PRESENTA PROBLEMAS DE ESCASEZ**
			inferior a 1.000 m^3 /persona/año	País sufre Escasez de agua	
Otros ONU (1997)	Nivel de regulación	Consumo / reservas renovables de agua de una zona en un año determinado	comienza cuando el uso del agua dulce supera el 10% de los recursos renovables anuales,	País, Comienza Escasez	**Ecuador con 143,4 Km3 de R.R.UTILIZABLES/año , utilizará el 3,717%. NO PRESENTA PROBLEMAS DE ESCASEZ**
			cuando supera el 20% de los recursos renovables anuales	País, con Escasez pronunciada	

Fuente: (Falkenmark, 1989)**,** (ONU / United Nations , Department for Policy Coordination and Sustainable Development (DPCSD), 1997)**.**

Estos antecedentes permiten justificar la propuesta del presente estudio para potencializar y optimizar los proyectos hídricos a través de la reducción de los riesgos que provocan las brechas no constructivas, antes, durante y después de su construcción, con un enfoque de sostenibilidad.

2. OBJETIVOS:

Objetivo General de la Investigación:

Identificar, caracterizar, medir y jerarquizar las variables de complementariedad en los proyectos estratégicos de riego, a través del estudio del caso de los proyectos estratégicos hídricos de riego en la República del Ecuador.

Objetivos Específicos de Investigación:

OBJETIVO ESPECÍFICO I OE I.- Identificar y caracterizar las variables de complementariedad en los proyectos estratégicos del sector hídrico de riego.

OBJETIVO ESPECÍFICO II OE II.- Medir y jerarquizar por su uso y desempeño las variables de complementariedad identificadas en los proyectos estratégicos del sector hídrico de riego.

OBJETIVO ESPECÍFICO III OE III.- Identificar grupos entre los 16 proyectos hídricos estratégicos del sector hídrico de riego de la República del Ecuador con niveles de

desempeño medio similares en las variables económicas, ambientales y sociales utilizadas en el estudio.

3. METODOLOGÍA:

Los pasos a seguir para la presente investigación estuvieron estrechamente ligados con el cumplimiento secuencial de los objetivos específicos de la siguiente manera:

O.E I.- Para identificar y caracterizar las variables de complementariedad se utilizó las mejores prácticas de sostenibilidad aplicables a proyectos del sector hídrico de riego, obtenidas a través de una revisión de la literatura científica, y sometidas al criterio de expertos del sector y experiencia del autor, previo a su definición y caracterización final.

O.E II.- Las variables de complementariedad identificadas se midieron en su **Estado de Situación Real** a través de encuestas a directivos, ejecutivos y personal técnico y operativo involucrados con alguna de las etapas del ciclo de vida de 16 proyectos estratégicos hídricos de riego en la República del Ecuador, a partir del año 2011 y su jerarquización se realizó en función del uso y desempeño de la práctica para alcanzar la sostenibilidad del proyecto.

O.E III.- Para agrupar proyectos con casuística similar según niveles de desempeño medios en las dimensiones económicas, medio ambientales y sociales, se realizó un análisis de conglomerados jerárquico.

4. MATERIALES Y METODOS:

¿Cómo se identifican las Variables de Complementariedad?

Las variables de complementariedad, se identificaron y caracterizaron a partir de la revisión deductiva de documentación científica que contiene estudios sobre indicadores de sostenibilidad; para ello, se partió de las Guías para elaboración de Memorias de Sostenibilidad G3.1 y G4 de la Global Reporting Initiative (2011) y (2013), encontrando 9 indicadores de desempeño económico, 30 ambientales, 14 de prácticas laborales y éticas del trabajo,11 de derechos humanos, 8 de la sociedad y 9 de producto, en total 81; y en el G4 en total 91 indicadores. Se revisó también los 49 indicadores sugeridos por Kumar y Katoch (2014) para proyectos hidroeléctricos, adicionales a los 61 indicadores reportados en 22 artículos científicos diferentes, complementando con la revisión de estudios de impacto ambiental de proyectos hídricos. Esta revisión permitió obtener las mejores prácticas de sostenibilidad aplicables a proyectos del sector hídrico de riego, que posteriormente fueron tamizadas y validadas por expertos del sector y el criterio de los autores. Finalmente se **identificaron en total 32 variables** o prácticas de sostenibilidad, detalladas en la Tabla No.3 de Resultados.

¿Cómo se miden las Variables de Complementariedad?

La diferencia entre el **Estado Real** con el **Estado Proyectado**, nos da como resultado la magnitud de la Variable de Complementariedad.

La medición del **Estado Real** de las variables de complementariedad en un momento determinado se obtuvo a partir de **encuestas a expertos** del sector hídrico de riego en la República del Ecuador, involucrados en alguna de las etapas de sus ciclos de vida: planificación, construcción u operación, quienes emitieron sus evaluaciones y comentarios respecto a las 32 buenas prácticas de sostenibilidad identificadas para 16 proyectos hídricos

de riego. La diferencia de lo medido frente al **Estado Proyectado,** que se establece en base a los **parámetros óptimos/umbrales** de utilización de estas buenas prácticas de sostenibilidad, permite calcular el estado del arte de la aplicación de dichas prácticas.

La medición de los niveles de actividad de cada una de las variables de complementariedad en su estado real, se realizó a partir de dos parámetros: Nivel de Utilización y Nivel de Desempeño, y se obtuvieron a partir de **una encuesta** diseñada con escalas de evaluación cuantitativa, cuyos resultados se recopilaron en una Matriz de Evaluación de Brechas con 32 variables y 2 niveles de actividad.

Se escogió el nivel de desempeño para evaluar la calidad del uso de las variables, pues el hecho de ser usadas no garantiza una eficiente utilización, y para ello se utilizaron las siguientes escalas:

NIVEL DE UTILIZACION (Frecuencia con la que utilizan esta práctica en el proyecto)					
Siempre (SI)	Casi Siempre (SI)	Algunas veces (SI)	Rara vez (SI)	Nunca (NO)	NO APLICA
5	4	3	2	1	0
NIVEL DE DESEMPEÑO (Cuán eficientemente lo hacen esta práctica en el proyecto)					
Excelente	Muy bueno	Competente	Necesita mejorar	Deficiente	NO APLICA
5	4	3	2	1	0

Se incluyó la columna NO APLICA para aquellos casos en los que en la fase del ciclo de vida contestada, la variable evaluada no fuese de competencia del entrevistado.

Tamaño de la muestra:

El estudio contempló originalmente el estudio de 16 proyectos estratégicos hídricos que contenían el componente riego en la República del Ecuador y que se encontraban en las etapas del ciclo de vida de planificación o construcción, de los cuales a la fecha de inicio del estudio,10 se encontraban en la etapa de planificación y los restantes 6 en construcción, y para ese entonces constituían la totalidad de proyectos estratégicos hídricos que contenían el componente riego en estas etapas del ciclo de vida. En abril del 2015 el Proyecto de Trasvase Chongón – San Vicente, entro a etapa de operación. Finalmente, del listado original se evaluaron 15 proyectos, no se logró evaluar al proyecto Puruhanta - Pimampiro – Yahuarcocha , reportado a Abril del 2015 por la EPA Empresa Pública del Agua dentro de los no viables; en su lugar se evaluó en la etapa de planificación al Proyecto Multipropósito Baba (actualmente en operación), de acuerdo al detalle de la Tabla No.2

Tabla No. 2: Listado de Proyectos evaluados

No.	PROYECTO
1	CONTROL DE INUNDACIONES MILAGRO CIM
	PROYECTO MULTIPROPÓSITO PURUHANTA-PIMAMPIRO-YAHUARCOCHA
2	PROYECTO MULTIPROPÓSITO JAMA
3	PROYECTO PROPÓSITO MÚLTIPLE COAQUE
4	PLAN DE APROVECHAMIENTO Y CONTROL DE AGUA DE LA PROVINCIA DE LOS RÍOS PACALORI
5	ESTUDIOS: PROYECTO DE TRASVASE RIO DAULE - PEDRO CARBO (INP)
6	PROYECTO MULTIPROPÓSITO TUMBABIRO
7	PROYECTO MULTIPROPÓSITO PUMA
8	PROYECTO CHALUPAS
9	OPTIMIZACIÓN PROYECTO MULTIPROPÓSITO TAHUÍN
10	TRASVASE DAULE – VINCES (DAUVIN)
11	TRASVASE CHONGÓN –SAN VICENTE
12	CONTROL DE INUNDACIONES BULUBULU
13	CONTROL DE INUNDACIONES CAÑAR
14	CONTROL DE INUNDACIONES NARANJAL
15	MÚLTIPLE CHONE
16	MULTIPROPOSITO BABA

Fuente: Empresa Pública del Agua del Ecuador EPA

Personas entrevistadas:

Con la finalidad de obtener los resultados más cercanos a la realidad de los 16 proyectos estudiados, se recolectaron las respuestas de 16 encuestas, mediante el pronunciamiento de 16 expertos del sector, distribuidas entre gerentes de proyecto y profesionales tanto de la EPA como de la contraparte, las empresas constructoras y fiscalizadoras.

¿Cómo se identificaron los grupos de proyectos con Niveles de Desempeño similar de las variables identificadas en cada uno de los 16 proyectos hídricos?

A partir del cálculo de los niveles de desempeño medios que alcanzaban los distintos proyectos en las dimensiones económica, medioambiental y social y utilizando el análisis de conglomerados jerárquico se obtuvieron los grupos de proyectos con niveles de desempeño en las variables utilizadas similares entre sí para proyectos de un mismo grupo y diferentes de los proyectos pertenecientes a grupos distintos. Para ellos se utilizó el Método Entre-Grupos y la Medida distancia euclídea al cuadrado.

5. RESULTADOS:

OE I.- Como resultado final se **identificaron en total 32 variables de complementariedad** o prácticas de sostenibilidad, que a su vez se dividen en 7 variables económicas, 11 variables medio ambientales y 14 variables sociales, detalladas en la Tabla No.3.

Tabla No. 3: Variables de Complementariedad

1	**PRÁCTICAS ECONÓMICAS**
1.1	Contar con flujos financieros suficientemente confiables
1.2	Contar con fuentes de financiamiento para los casos de imprevistos no constructivos (como: reasentamientos, rehabilitación de personas afectadas , construcción de carreteras/vías adicionales)
1.3	Contemplar en el presupuesto inicial financiamiento para actividades de desarrollo agropecuario (cambios y mejoras de cultivos, capacitación en riego, incremento de la producción y comercialización)
1.4	Contemplar en el presupuesto inicial financiamiento para planes y/o programas que contribuyan a generar impactos económicos positivos sobre el comercio, la industria y el turismo de la región
1.5	Contemplar en el presupuesto inicial financiamiento para planes y/o programas ambientales y sociales
1.6	Contar a tiempo con las fuentes de financiamiento
1.7	Contemplar ayudas y/o subvenciones públicas para financiar actividades productivas de grupos vulnerables
2	**PRÁCTICAS MEDIO AMBIENTALES**
2.1	Plan o programa para controlar la generación y eliminación de desperdicios y escombros
2.2	Plan o programa de control ambiental del impacto provocado por la desviación de la corriente (Longitud y Alcance)
2.3	Monitoreo de la cantidad de limo en la corriente antes, durante y después de la ejecución del proyecto
2.4	Plan o programa de monitoreo de alteraciones de la calidad del aire, agua superficial/ subterránea, acústica y suelo
2.5	Plan o programa para preservar los parques nacionales existentes hasta a 10 km a la redonda desde el proyecto
2.6	Plan o Programa de prevención de daños ambientales ocasionados por las operaciones de explotación en canteras
2.7	Plan o programa para la preservación del caudal ecológico e impacto sobre la vida acuática
2.8	Plan o programa de preservación de las especies animales terrestres y aves
2.9	Plan o programa de identificación y control de zonas sometidas a riesgos por catástrofes naturales (deslizamientos, inundaciones, terremotos…)
2.10	Concienciar sobre las amenazas del cambio climático
2.11	Realizar Auditorías y control socio ambiental
3	**PRÁCTICAS SOCIALES**
3.1	Plan o programa de generación de empleo formal directo
3.2	Catastrar y contar con cartografía temática de: espacialización y análisis espacial de carencia de la infraestructura aeroportuaria, eléctrica, de salud, turística, industria, comunicación; análisis socio cultural de cobertura de educación y salud; PEA, vulnerabilidad de las viviendas, disponibilidad de servicios básicos)
3.3	Plan de manejo de personas desplazadas debido al proyecto
3.4	Plan de manejo de espacio público de calidez (parques jardines, hospitales, escuelas) y otros servicios básicos de calidad
3.5	Plan o programa de resolución de conflictos entre la población local y los trabajadores migrantes
3.6	Identificar y evaluar el impacto en los medios e infraestructura de transporte y comunicación
3.7	Practicas para prevenir los daños en las viviendas ante las operaciones propias del proyecto (detonaciones, movimiento de tierras)
3.8	Acciones para evitar posibles posibles pérdidas de tiempo, restricciones de movilización o alteraciones provocadas durante la ejecución del proyecto
3.9	Plan o programa para preservar el Patrimonio Cultural de la zona
3.10	Plan o programa para fomentar la cohesión e identidad comunal y la integración y participación de las minorías sociales
3.11	Participación y actuación eficiente y coordinada de las autoridades locales, regionales y nacionales
3.12	Capacitación a empleados en políticas y procedimientos anti-corrupción
3.13	Incluir la participación de la población local en la toma de decisiones
3.14	Planes o programas para mejorar el Nivel de Vida de la población de la zona de influencia del proyecto

Elaboración: Propia

5.1 RESULTADOS POR VARIABLE

OE II.- A continuación se presentan los resultados obtenidos de la medición y jerarquización de las variables por frecuencia de uso y nivel de desempeño.

Frecuencia de USO de las Variables Económicas

VARIABLE	1	2	3	4	5	6	7
SI Utiliza	16	14	11	13	15	14	15
NO Utiliza	0	2	5	3	1	2	1
% SI Utiliza	100%	88%	69%	81%	94%	88%	94%

Frecuencia de USO de las Variables Medio Ambientales

VARIABLE	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SI Utiliza	16	13	14	13	11	13	11	12	13	12	13
NO Utiliza	0	3	2	3	5	3	5	4	3	4	3
% SI Utiliza	100%	81%	88%	81%	69%	81%	69%	75%	81%	75%	81%

Frecuencia de USO de las Variables Sociales

VARIABLE	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
SI Utiliza	13	10	12	8	10	10	11	12	12	11	16	14	10	12
NO Utiliza	3	6	4	8	6	6	5	4	4	5	0	2	6	4
% SI Utiliza	81%	63%	75%	50%	63%	63%	69%	75%	75%	69%	100%	88%	63%	75%

NIVEL DE USO ALTO >= 85%

NIVEL DE USO MEDIO >= 70% Y < 85%

NIVEL DE USO BAJO < 70%

NIVEL DE DESEMPEÑO de las Variables Económicas

VARIABLE	1	2	3	4	5	6	7
PROMEDIO	4,25	4	3,5625	3,5625	3,875	3,875	3,6875
DESV. STD.	0,4472136	0,51639778	0,96393292	1,03077641	0,71879529	0,61913919	0,79320027

NIVEL DE DESEMPEÑO de las Variables Medio Ambientales

VARIABLE	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
PROMEDIO	4,0625	3,8	3,75	3,8125	3,625	3,75	3,6875	3,625	3,6875	3,625	3,625
DESV. STD.	0,4425306	0,6761234	0,68313005	0,54390563	0,61913919	0,57735027	0,79320027	0,80622577	0,79320027	0,71879529	0,8850612

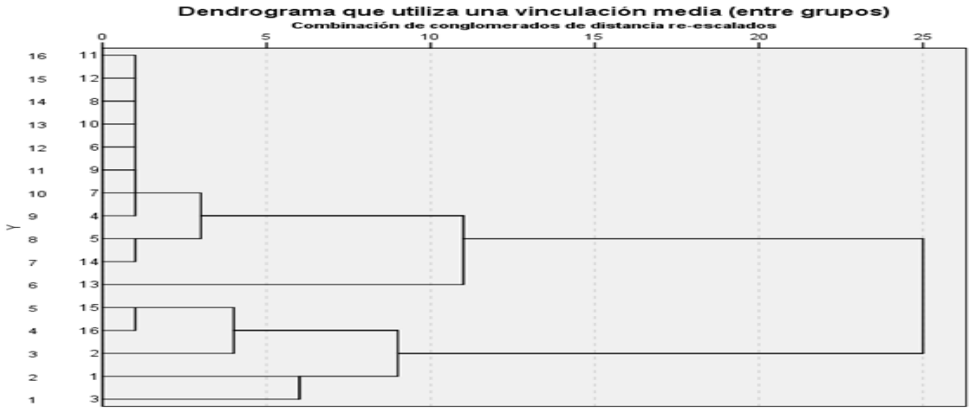
NIVEL DE DESEMPEÑO de las Variables Sociales

VARIABLE	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
PROMEDIO	3,625	3,26666667	3,3125	3	3,06666667	3,1875	3,33333333	3,6	3,25	3,4375	3,9375	3,75	3,3125	3,3125
DESV. STD.	0,71879529	1,22279929	1,19547759	1,21106014	1,22279929	1,16726175	1,11269728	0,82807867	1,29099445	1,09354165	0,25	0,77459667	0,94648472	1,30224166

5.2 RESULTADOS POR PROYECTO

OE II.- A continuación se presentan los 2 grupos de nivel de desempeño de los proyectos, obtenidos tras la agrupación realizada.

	CONGLOMERADO 1	CONGLOMERADO 2
	PROYECTOS: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, y 13	PROYECTOS: 1, 2, 3, 14, 15, y 16
PROM. DESEMP. ECONOMICO	4,071	3,429
PROM. DESEMP. M. AMBIENTAL	4,036	3,220
PROM. DESEMP. SOCIAL	3,950	2,452



6. DISCUSION DE RESULTADOS

6.1 DISCUSION POR VARIABLE

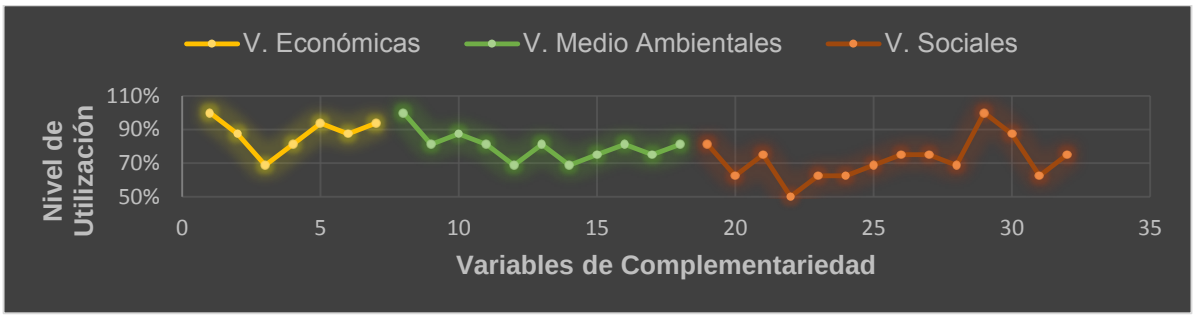
Los resultados obtenidos del nivel de utilización de las 32 variables de complementariedad, indican que 19 variables tienen un nivel de uso por parte de los expertos medio y alto; es decir, que se utilizan en más del 70% de los proyectos; y, apenas las restantes 7 variables, en su mayoría sociales como se aprecia en la Figura No. 1, tienen una tasa de utilización baja; es decir, que se utilizan en menos del 70% de los proyectos y en ningún caso en menos del 50% de los proyectos. Esto quiere decir por ejemplo para los casos extremos, que la práctica o variable económica de “Contar con flujos financieros suficientemente confiables” se la utiliza en el 100% de los proyectos, mientras que la práctica social de “Plan de manejo de espacio público de calidez (parques jardines, hospitales, escuelas) y otros servicios básicos de calidad” se utiliza en el 50 % de los proyectos. Estos resultados se interpretan como una garantía de la elección de las prácticas identificadas mediante la revisión de literatura científica, pues el 79% de las prácticas tiene un nivel de uso alto y medio y apenas una práctica social se la utiliza solo en el 50% de los proyectos.

Figura No. 1: Variables con tase de uso baja

VARIABLES	No.		TASA DE USO IN SITU
ECONÓMICAS	3	Contemplar en el presupuesto inicial financiamiento para actividades de desarrollo agropecuario (conversión y mejoras de cultivos, capacitación en riego, incremento de la producción y comercialización)	69%
M. AMBIENTALES	5	Plan o programa para preservar los parques nacionales existentes hasta a 10 km a la redonda desde el proyecto	69%
SOCIALES	4	Plan de manejo de espacio público de calidez (parques jardines, hospitales, escuelas) y otros servicios básicos de calidad	50%
	5	Plan o programa de resolución de conflictos entre la población local y los trabajadores migrantes	63%
	6	Identificar y evaluar el impacto en los medios e infraestructura de transporte y comunicación	63%
	7	Practicas para prevenir los daños en las viviendas ante las operaciones propias del proyecto (detonaciones, movimiento de tierras)	69%
	13	Incluir la participación de la población local en la toma de decisiones	63%

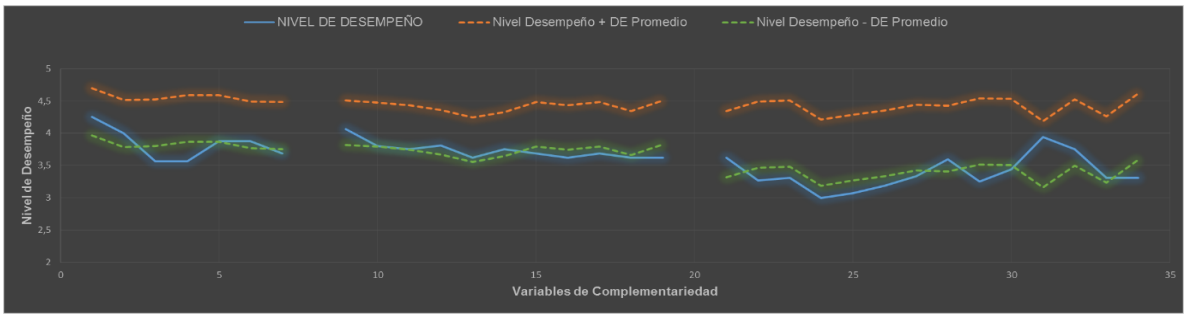
Lo mencionado se ratifica en la Figura No.2 en donde se aprecia una ligera tendencia a usarse con menor frecuencia las variables medioambientales y sociales en relación a las variables económicas, consistente con lo observado en la evolución de utilización de variables que históricamente ha privilegiado la rentabilidad financiera con un claro enfoque de factibilidad económica y financiera sobre lo medio ambiental y social.

Figura No. 2: Nivel de Utilización de las variables de complementariedad



En la Figura No. 3 se aprecia que la variable económica 1, que obtuvo una tasa de uso alta, adicionalmente se ejecuta y/o implementa dentro del promedio de eficiencia de las variables de su sector, confirmando la consistencia de los resultados obtenidos. Las 12 variables que no se contemplan o no se ejecutan tan eficientemente como el promedio del resto de las variables de su sector, son respectivamente las siguientes variables: Económicas 3 y 4, Medio Ambientales 8, 9 y 11, y Sociales 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 9, y coinciden en su gran mayoría con las variables de bajo uso, demostrando la necesidad de trabajar en su capacitación y gestión; es el caso del particular comportamiento de la variable económica 3 “Contemplar en el presupuesto inicial financiamiento para actividades de desarrollo agropecuario (conversión y mejoras de cultivos, capacitación en riego, incremento de la producción y comercialización)” que además de tener una tasa uso baja, se ejecuta por debajo del nivel promedio de eficiencia de las variables de su sector, y por tanto genera mayor riesgo de brechas de complementariedad.

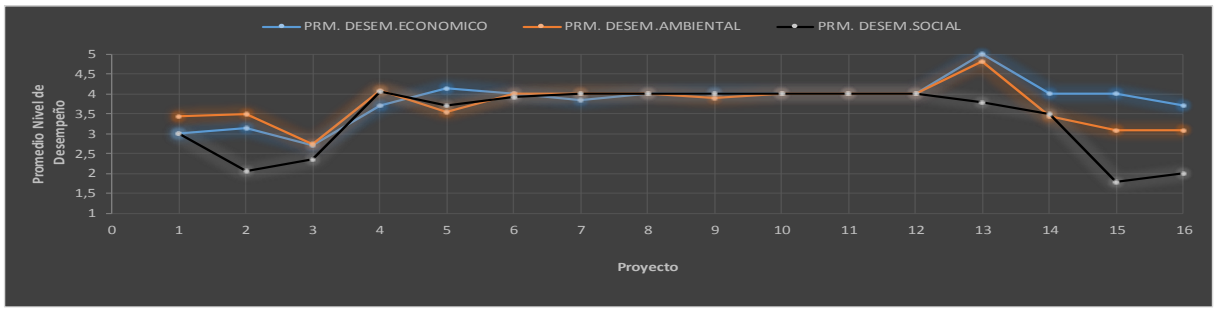
Figura No. 3: Nivel de Desempeño Promedio de las variables de complementariedad



6.2 DISCUSION POR PROYECTO

Al analizar los resultados obtenidos del nivel de desempeño para cada uno de los 16 proyectos, se obtuvieron dos grandes grupos de proyectos. En el primer grupo se encuentran 10 proyectos que son mayoría; en tanto que el segundo grupo con una clara dispersión de promedios de los niveles de desempeño como se observa en la Figura 4, conformado por 6 proyectos: 1, 2, 3, 14, 15 y 16, tienen en común que se encuentran implantados en las cuencas hidrográficas de la vertiente hidrográfica del Pacífico, donde se asienta el 80% de la población ecuatoriana y las prácticas sociales y ambientales no han sido suficientemente atendidas. Se espera en una segunda fase, al incrementarse el número de expertos entrevistados, identificar nuevos grupos de proyectos con similares patrones tipo de nivel de desempeño.

Figura No. 4: Nivel de Desempeño Promedio de variables de complementariedad por Proyecto



7. CONCLUSIONES:

Luego de revisar documentación científica que contiene estudios sobre indicadores de sostenibilidad y el aporte de expertos del sector hídrico, se identifican 32 variables de complementariedad aplicables a los proyectos estratégicos hídricos de riego: 7 económicas, 11 medio ambientales y 14 sociales.

Existen solamente 7 variables o prácticas que fueron jerarquizadas con una tasa de uso baja, inferior al 70%, por parte de los expertos in situ: 1 económica, 1 medioambiental y 5 sociales. Las restantes 24 variables que representan el 79% del total de variables (la mayoría), tienen una frecuencia de uso media y alta, superior al 70%, resultados que minimizan el riesgo de obtención de un indicador de sostenibilidad erróneo utilizando las 32 variables identificadas, garantizando la continuidad del estudio con una base mayor de expertos a entrevistarse.

Del estudio de utilización de las variables de complementariedad en 16 proyectos en la República del Ecuador, se identifican 2 grupos de proyectos con características comunes. El primer grupo está constituido por 10 proyectos que tienen un alto nivel desempeño económico y moderado desempeño ambiental y social, y que para el caso de estudio se encontró que son la mayoría, los Nos: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13. El segundo grupo, 37,5%, está conformado por los 6 proyectos restantes que tienen un moderado nivel de desempeño en las variables económicas y medio ambientales, y bajo nivel de desempeño social, para el caso de estudio son los Nos. 1, 2, 3, 14, 15 y 16, y que tienen en común estar implantados en las cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico, en donde se asienta el 80% de la población, y por tanto las cuencas con mayor población desencadenan mayores demandas sociales y ambientales.

Finalmente, los resultados obtenidos a través del comportamiento de las variables de complementariedad identificadas, aplicadas a los proyectos estratégicos de riego en la República del Ecuador, permiten alentar la continuidad del estudio, a fin de desarrollar un algoritmo que calcule las brechas de complementariedad no constructivas que tal vez sea útil para los responsables políticos y los tomadores de decisiones sobre este tipo de proyectos hídricos, para ayudar al desarrollo sustentable de los proyectos hídricos de riego implementados en regiones naturales y cuencas hidrográficas concretas del Ecuador y similares a través del mundo en general.

8. BIBLIOGRAFIA:

Asamblea Nacional Constituyente, República del Ecuador. (2008). *Constitución Del Ecuador*. Ecuador.

CEPAL. (2001). Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: Estado del Arte y perspectivas. En Naciones Unidas (Ed.) *División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos* (pp. 1-116). Santiago de Chile: Naciones Unidas.

Dasgupta, S., & Tam, K. L. (2005). Indicators and framework for assessing sustainable infrastructure. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *32(1)*, 30–44.

Falkenmark, M. (1986). Fresh waters as a factor in strategic policy and action. En A. Westing (Ed.). *Global resources and international conflict: environmental factors in strategic policy and action* (pp. 85-113). New York: Oxford University Press.

Fernández Sánchez, G., & Rodríguez López, F. (2010). A methodology to identify sustainability indicators in construction project management. Application to infrastructure projects in Spain. *Ecological Indicators, 10(6),* 1193–1201.

Gallardo, G., Meliá, E., & García, M. (2014, Enero). Brechas de complementariedad para los proyectos estratégicos del sector hídrico en la República del Ecuador. En aspectos socioeconómicos (Mesa), *7th International Perspective on Water Resources and the Environment*, presentado en The Environmental & Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers, Quito, Ecuador. www.ewricongress.org.

Global Reporting Initiative [GRI]. (2011). *Guía Para La Elaboración de Memorias de Sostenibilidad. G3.1*. (pp. 1-199). Amsterdan: Stichting Global Reporting Initiative. Disponible en: https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/Spanish-G3.1-complete.pdf

Global Reporting Initiative [GRI]. (2013). *Guía Para La Elaboración de Memorias de Sostenibilidad. G4*. (pp. 1-93). Amsterdam: Stichting Global Reporting Initiative. Disponible en: https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/Spanish-G4-Part-One.pdf

Kumar, D., & Katoch, S.S. (2014). Sustainability indicators for run of the river (RoR) hydropower projects in hydro rich regions of India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *35*, 101–8.

ONU / United Nations. (1997). Department for policy coordination and sustainable development (DPCSD), Commission on Sustainable Development. Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World.

Ugwu, O.O., Kumaraswamy, M. M., & Wong, A. (2006). Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP): Part 1. Development of indicators and computational methods. *Automation in Construction, 15(2)*, 239–51.

Valdes Vasquez, R., & Klotz Leidy, E. (2013). Social sustainability considerations during planning and design: A framework of processes for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management, 1(139)*, 80–89.

Zhang, L.L., Wang, L., Tian, J.X. (2008). Study on sustainable construction management based on LCA. *En International Conference on Construction on Real Estate Management,* Toronto, Canada.

TOPIC 5. ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGIES

ÁREA TEMÁTICA 5. EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

05-001

EXPERIMENTAL STUDY OF THE OSCILLATING WATER COLUMN TECHNOLOGY ON A WELLS TURBINE.

Medina López, Encarnación
Universidad de Granada

Oscillating Water Column (OWC) devices for wave energy extraction are equipped with Wells turbines for energy conversion. The effect of humidity in the air chamber of the OWC entails variations on the atmospheric conditions near the turbine, modifying its performance and efficiency. A theoretical development of a model which includes humidity considerations is done. Moreover, the influence of humid air in the performance of the turbine is studied through experimental tests carried out in a Wind Tunnel seeded with water particles. Results show that power input to the OWC can be reduced in a 40% when humidity in air is taken into account.

Keywords: *Oscillating Water Column; OWC; humidity; Real Gas; wave energy; Wells turbine.*

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA COLUMNA DE AGUA OSCILANTE CON APLICACIÓN A LA TURBINA WELLS.

Los dispositivos de Columna de Agua Oscilante, Oscillating Water Column (OWC), para extracción de energía undimotriz están equipados con turbinas Wells para la conversión de la energía. El efecto de la humedad en el aire de la cámara del OWC conlleva variaciones en las condiciones atmosféricas en el entorno de la turbina, modificando su funcionamiento y eficiencia. A partir del desarrollo de un modelo teórico que incluye consideraciones de humedad y el consecuente estudio experimental llevado a cabo en un Túnel de Viento sembrado con partículas de agua, se estudia la influencia del aire húmedo en el funcionamiento de la turbina. Los resultados muestran que la potencia de entrada al OWC se puede ver reducida en un 40% cuando se tiene en cuenta la humedad del aire.

Palabras clave: *Columna de Agua Oscilante; humedad; Gas Real; energía de las olas; undimotriz; turbina Wells.*

Correspondencia: Encarnación Medina López encaramelo@gmail.com

Agradecimientos: A Antonio por sus ideas. A Leo por su apoyo y divergencia. A mis padres y hermana por estar siempre ahí. A mi abuela por creer en mí incondicionalmente.

1. INTRODUCTION

Wave energy extraction through OWC devices has been studied during the last decades. The study of this type of system has been analysed on the basis of the analogy with oscillatory rigid bodies, as the OWC consists of a chamber open at the bottom that allows the water surface inside to push the air above through the turbine (Martins-Rivas & Mei, 2009).

Theoretical models have been tested in plants that are currently underway (e.g. Mutriku OWC in Basque Country, or Pico OWC in Azores). The main problem that arises is that the theoretical yields obtained do not match the reality, (Power-technology, 2014).

The OWC model has been developed by various authors. Evans (1982) and Evans & Porter (1995) formulated the problem of the oscillation of the water level in the chamber of OWC by linear wave theory. Sarmento (1990) extended the air expansion-compression problem inside the chamber. Finally, Martins-Rivas & Mei (2009) reported a method of geometric control to maximize the efficiency of power extraction. All these authors start from an adiabatic process considering dry air as an ideal gas. In all previous references prevails the hypothesis of perfect gas –an ideal gas with constant specific volumetric heat- for the compression/expansion process. Consequently, the isentropic law is applied and linearized so the formulation is simplified. In fact, the reference conditions for the OWC are usually fixed as atmospheric, in which dry air is assumed and no further specifications on temperature, density or ambient moisture —dry air and water vapour mixture— are applied. In other words, no real gas model is taken into account.

This is the motivation of this work. Variations in the temperature, ambient moisture and pressure are known to affect the turbine performance. Although the results are usually applied in different fields from that of sea wave energy extraction, the fundamentals of real gases could bring up a new scope in the real working conditions of OWC devices. The changes in performance arise from density diminishing, variations in the specific heat and gas constant, and for the eventual condensation of water vapour. Referring to the study of air temperature effect, moisture and development of models of real gas in gas turbines, there is a lack of knowledge in the State of Art (see for details Singh & Kumar (2012) and Tsonopoulos & Heidman (1990)). The first one (Singh & Kumar, 2012), analyses the effect of ambient air temperature in the net power output on power plant performance. The second one (Tsonopoulos & Heidman, 1990), uses the Virial Theorem to study real gas processes. Even if we establish the fundamental differences between OWC and gas turbine performances, a further step in the formulation of the OWC problem must be considered. We introduce a real gas in the model as well as the influence of ambient conditions, for which a full thermodynamic approach should be taken into account. To fulfil this task, we apply the virial theorem (or the Kammerling—Ones expansion) (see Tsonopoulos & Heidman (1990)). Due to the limitations of the current models, it is desirable a gas model applied to the classical OWC development. This fact would help to understand the response of the OWC system and its relation with the principle of operation under real conditions. As a first approach, this paper studies the fundamentals of turbine operation under changes in density induced by variation of moisture content in steady state.

2. AIMS

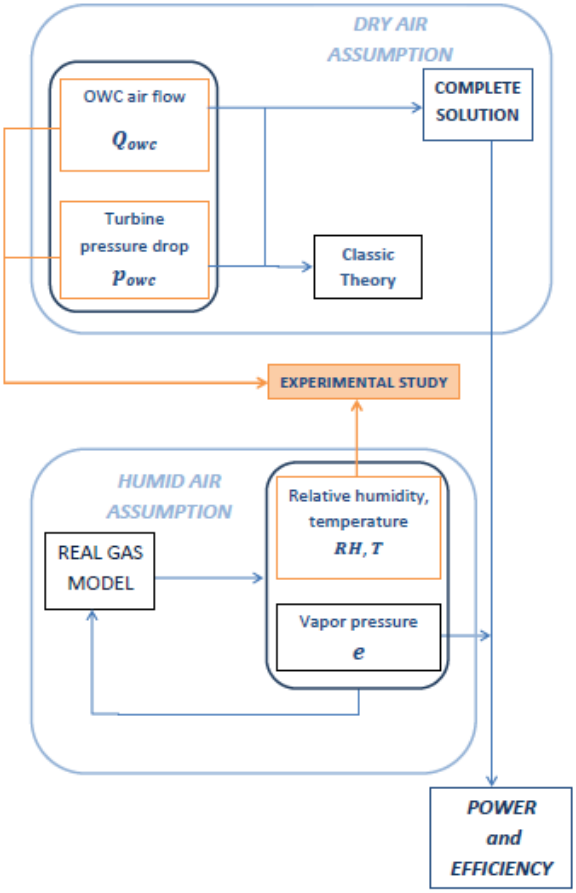
The main goal of this paper is to study the effect of the working fluid density, mainly modified by humidity, on the performance of a Wells turbine on a steady state accounting for the real gas nature. To reach this purpose, some specific aims have to be checked:

- To present the Wells turbine operating problem, considering it as a real gas model (mixture of dry air and water vapour).
- To experimentally verify the effect of moisture on the performance of a Wells turbine.

3. METHODOLOGY

To face these objectives, the methodology is essentially based upon experimental determination of pressure jump and flow characteristics in a simplified turbine model, and the theoretical formulation of the thermodynamic problem. The scheme shown in figure 1 describes the work flow to reach the final goals.

Figure 1: General focusing on the research progress.



3.1. Theoretical review

The main goal in this section is to replace the old OWC formulation for a new one, this last based on a real gas model, instead of the adiabatic process on an ideal gas. First of all, the classic problem will be analysed. Afterwards, the real gas model will be introduced and applied to the theoretical model.

a. OWC model review. Classic formulation

In the classic problem, Sarmento (1990) and Martins-Rivas & Mei (2009) measured the outer (thermodynamic) pressure in the chamber with a manometer, and they supposed that its value is constant. Nevertheless, they considered that the external pressure is time-dependent under operating conditions. For this reason, a new problem is presented, see the sketch depicted in figure 2, where P_0 and P_2 are the outer reference thermodynamic pressure and the

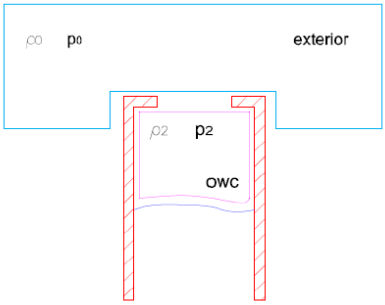
thermodynamic total pressure inside the chamber of the OWC, respectively. The difference of these pressures is the manometric pressure inside the chamber (p_{owc}) as it is stated in the following equation:

$$P_2 = p_{owc} + P_0. \tag{1}$$

The continuity equation applied to the control volume is:

$$Q_T^m = -\frac{d}{dt}(\rho_2 V_{owc}) = -(\rho_2 \frac{dV_{owc}}{dt} + V_{owc} \frac{d\rho_2}{dt}), \tag{2}$$

Figure 2: Control volume scheme.



With the adiabatic relation,

$$pV^\gamma = constant, \tag{3}$$

and consequently

$$\frac{\rho}{\rho_{ref}} = [\frac{p}{p_{ref}}]^{1/\gamma}, \tag{4}$$

taking the solution (ρ_0, P_0) as a reference, the linear relations between pressure and density are established in equation (1):

$$\rho_2 = \rho_0 + (\frac{\rho_0}{\gamma P_0})(p_{owc}). \tag{5}$$

The mass flow that go through the turbine, Q_T^m is defined respect to the external reference density as:

$$Q_T^m = \rho_0 Q_T = \rho_0 \frac{KD_T}{N\rho_0} p_{owc}, \tag{6}$$

where *K* depends on turbine parameters, following (8), D_T is the turbine diameter and *N* is the turbine rotation velocity.

Substituting in equation (2), and multiplying by ρ_0, Q_{owc} is cleared up:

$$Q_{owc} = \frac{KD_T}{N\rho_2} p_{owc} + \frac{V_{owc}}{C_s^2 \rho_2}(\frac{dp_{owc}}{dt}), \tag{7}$$

where C_s is the speed of sound in air.

The continuity reads:

$$\boxed{Q_{owc} = \frac{KD_T}{N\rho_2} p_{owc}}, \tag{8}$$

with Q_{owc} and p_{owc} defined as real quantities.

In the classic problem, the air flow inside the OWC depends linearly on the pressure difference.

b. Real gas properties

In the classic OWC problem, air is considered as a perfect gas bounded to a compression/exhaust adiabatic process inside the chamber and through the turbine. A more complete description of the process consist of supposing that there exists a mix of dry air and water vapour inside the chamber, so the displaced fluid does not fit the ideal gas model. Some characteristics of the air–water vapour mixture are deduced from the properties of the vapour fraction. Using the Clapeyron-Clausius law (9), the saturation vapour pressure e_s is defined as:

$$e_s = e_0 . exp[\frac{L}{R_v}(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T})], \tag{9}$$

where $e_0 = 0.611\, kPa$ is the partial saturation pressure at $T_0 = 273\, K$; L is the latent vaporisation heat; $R_v = 461\, J/K.kg$ is the water vapour constant, and $L/R_v = 5423\, K$.

However, the vapour pressure at any temperature —any non–equilibrium state— is determined from a given value of relative humidity (RH), expressed as the vapour concentration in dry air referred to the vapour concentration at equilibrium:

$$RH = \frac{e}{e_s}, \tag{10}$$

The real gas density is corrected from the dry air density using the mixing ratio r, defined as the ratio between the masses of vapour and dry air

$$r = \frac{m_v}{m_a} = \frac{\epsilon e}{p}, \tag{11}$$

where $\epsilon = \frac{R_a}{R_v} = \frac{28607}{461} = 0.622$. The moist air density is expressed as:

$$\boxed{\rho_m = \rho_a \frac{1+r}{1+r/\epsilon} = \rho_a \frac{1+r}{1+1.608r}}\,. \tag{12}$$

c. Real gas model for the OWC

We start from the equation of state for N mols of an ideal gas:

$$pV = NR_0T, \tag{13}$$

The real gas is expected to deviate from the ideal law, with the appearance of several interactions between different thermodynamic variables. To deal with the real gas, we start defining the compressibility factor per gas mole, $\mathbb{Z}$, (Biel Gayé, 1986), (Prausnitz, 1999), as:

$$\mathbb{Z} = \frac{pV}{R_0T}, \tag{14}$$

where $\mathrm{R}_0$is the universal gas constant. For an ideal gas, $\mathbb{Z} = 1$.

The specific heat and the enthalpy for the real gas, as deviations from the ideal gas values, (Yang & Su, 2004):

$$C_{pg} = C_p + \delta C_p p \ , \tag{15}$$

and:

$$H_g = H + \delta H p \ , \tag{16}$$

where the deviations of specific heat and enthalpy are:

$$\delta C_p = -\frac{R_g T_r}{p_c}\frac{d^2}{dT_r^2}(f_0 + \chi_{mol} f_2) \quad , \tag{17}$$

and:

$$\delta H = \frac{R_g T_c}{p_c}(f_0 + \chi_{mol} f_2) - T_r \frac{d}{dT_r}(f_0 + \chi_{mol} f_2) \quad . \tag{18}$$

Following the methodology proposed by Yang & Su (2004) in a simplified way and making use of equations (15) to (18), the conservation of enthalpy is applied between turbine inlet and outlet, with known values of local temperature, pressure and humidity at the inlet. Recalling that the enthalpy for the ideal gas is expressed as:

$$H = C_p T + \frac{1}{2}U^2 \quad , \tag{19}$$

The velocity at the turbine outlet is computed from equations (15) and (19) for the real gas:

$$U_{out} = \sqrt{2(H_g - C_p T_{out} - \delta H p_{out})} \quad , \tag{20}$$

Here the temperature $\mathrm{T_{out}}$ should not be evaluated through the adiabatic process equation $T_{out}^{ad} = T_{in}(p_{out}/p_{in})^{(\gamma-1/\gamma)}$, because strictly speaking this last expression is only valid for ideal gas. Instead of using this last equation, a new value of $\mathrm{T_{out}} \neq T_{out}^{ad}$ is supposed until the continuity condition is satisfied:

$$\rho_g U S_{in} = \rho_g U S_{out} \quad . \tag{21}$$

The iterative procedure, in which the effect of moisture is implemented through the density and the real gas constant ρ_g, outcomes new pressure and temperature values for the real gas. Applying this methodology, we will observe differences between the ideal and real gas models.

d. Turbine dynamics

The OWC uses a power take off system for transformation of pneumatic energy into electricity to be supplied to the grid. Usually, it uses a turbine to accomplish with that purpose.

The primary input for the design of a turbine is the pneumatic power based upon the pressure amplitude (P) and the volume flow rate Q at turbine inlet. The performance indicators are the pressure drop, power and efficiency, and their variation with the flow rate. The aerodynamic design and consequent performance is a function of several variables that have been listed by Raghunathan (1995).

In general terms, the turbine performance is described by the following non-dimensional coefficients:

- Flow coefficient: $\Phi = \frac{V_x}{U}$, (22)
- Pressure drop: $P^* = \frac{\Delta P}{\rho_2 \omega^2 D_t^2}$, (23)
- Solidity: $\sigma = \frac{A_a}{\pi(\frac{D_t}{2})^2}$, (24)

where $\mathrm{V_x}$ is the axial velocity, $U = N\mathrm{D_t}/2$ is the blade circumferential velocity, ω is the relative incoming velocity, $\mathrm{A_a}$ is the whole blades area.

The non dimensional power input is expressed as:

$$\boxed{W^* = P^* . \Phi} \quad . \tag{25}$$

3.2. Experimental set up

We describe in this section the methodology used to conduct tests in a wind tunnel. The turbine performance has been tested with a total of three different environmental conditions: so called "dry air" (non-forced humidity, environmental conditions, 35% relative humidity), humid air with minimum humidity (50% relative humidity) and humid air with maximum humidity (70% relative humidity).

a. Wind tunnel

The wind tunnel is a poly-methylmethacrylate (PMMA) structure with a test section that is 3m in length with a 360mm x 430mm cross-section. The wind speed, up to 20m/s, is controlled by a variable frequency converter controlling an electric fan at the downstream end with a maximum power of 2.2 kW.

First of all, the wind tunnel calibration was made. This tunnel is controlled by an inverter *Siemens Micromaster 420*. An input voltage is introduced to the inverter, and this transforms it to a valid voltage for the wind tunnel engine. With the calibration, it is desirable to know the relation between input voltage and wind velocity.

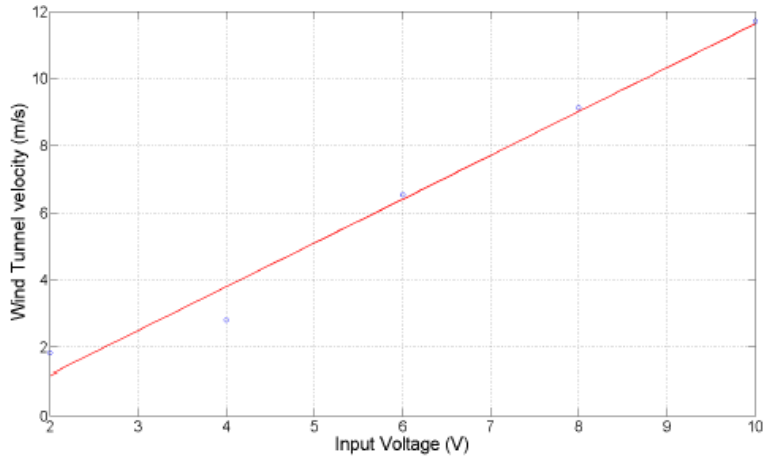
The calibration has been made in dry tests, so the measure is not affected by humidity. The measure was done with a Prandtl tube. This takes total (P_T) and static (P_S) pressure data, and with these, it is calculated the velocity as:

$$v = \sqrt{\frac{2(P_T - P_S)}{\rho}} \quad . \tag{26}$$

where ρ is the fluid density.

The calibration curve obtained is depicted in figure 3, finding a linear response with the input voltage, with a linear regression coefficient $R = 0.9979$. The maximum input voltage, 10V, is equivalent to a wind velocity of $11.7 m/s$ for the used configuration in the inverter.

Figure 3: Wind tunnel calibration.



b. Turbine

It has been used a turbine of diameter $D_t = 0.025m$.

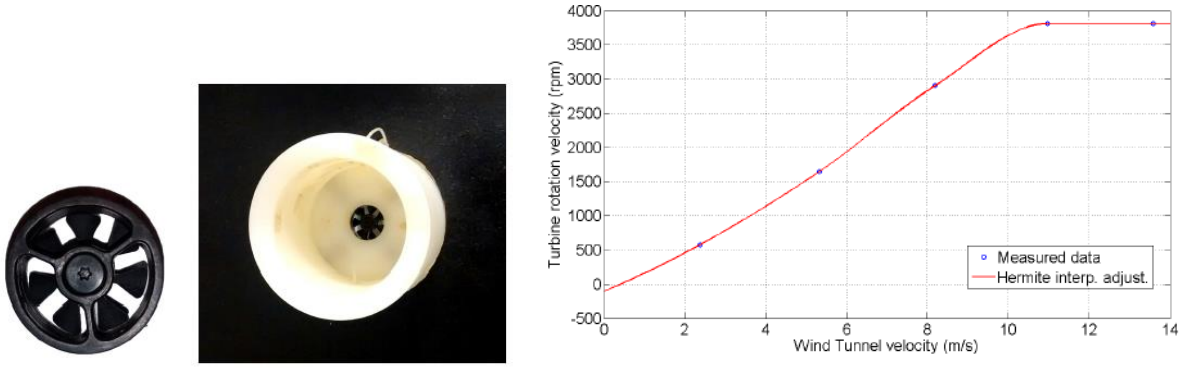
The turbine frontal area is $A_t = 3.5906 . 10^{-4} m^2$, and the turbine blades area is $A_a = 2.4271 . 10^{-4} m^2$. The turbine solidity, required for equation (24), has a constant value of $s = 0.3434$.

This turbine, shown in figure 4, has been assembled on a nylon structure which simulates an OWC (see figure 4).

Turbine calibration

The rotation velocity of the used turbine was calibrated. As shown in figure 4, the relation between rotation speed and wind tunnel air velocity is linear until the turbine reaches its terminal velocity.

Figure 4: Image of the turbine and the nylon structure, and turbine calibration.

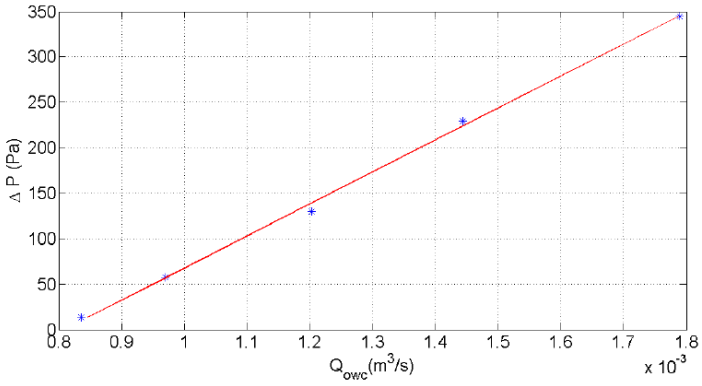


c. Experimental model scope and restrictions

The turbine is not a Wells turbine strictly speaking, so the one used in this study does not rotates in the same direction independently of the air flow, as the real Wells turbine does.

These two turbines have the same behaviour, as the relation between air flow and pressure is linear, see figure 5.

Figure 5: Air flow and pressure drop in turbine.



This fact allows focusing on the humidity change and its effect in flow and turbine rotation. Additionally, in these tests there is an important fact to be considered: the forced environmental conditions inside wind tunnel (humidity and temperature) are unique. The repeatability of the experiments is almost null, as the moist measurement depends on a high number of other

factors: external temperature, time of the day, season and wind tunnel location. There is a high level of humidity in the laboratory, so it is a really influencing condition on wind tunnel moisture.

d. Water spray gun

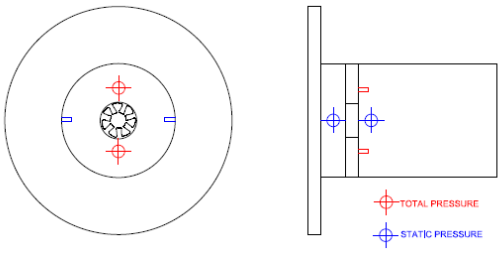
A paint spray gun is used with water to seed the wind tunnel with small water particles. The gun is situated in front of the wind tunnel entrance, so the engine in the other end of the tunnel sucks the air and water particles out, generating and humid air circulation. The nozzle aperture is controlled with a faucet in the bottom of the gun. In the measurements presented in this work, the maximum and the minimum apertures have been tested to allow us maximum and minimum humidity conditions inside the tunnel, respectively.

e. Measurement instruments

Pressure

The pressure measurements have been conducted with the pressure system *DTC Initium* by *Measurement Specialties INC*. It consists of a number of pressure taps (up to 64 channels per scanner). These work at a sampling period of $0.0016\ s$. Six pressure taps have been located around the turbine: two of them in the flow direction to measure total pressure, and the rest four samples perpendicular to the flow direction, for the static pressure measurement (see figure 6). There are two static pressure taps and two total pressure taps place upstream the turbine, and two static pressure taps placed downstream.

Figure 6: Pressure taps distribution.



Air flow velocity

The wind velocity has been measured with a *Laser Doppler Velocimeter (LDV)* by *TSI*. This is an extremely precise technique, and as a seeding, it is used the water particles in the wind tunnel. Hence it is obtained a complete velocity profile in every point needed. In this case, it has been measured the velocity upstream and downstream turbine.

Turbine rotation

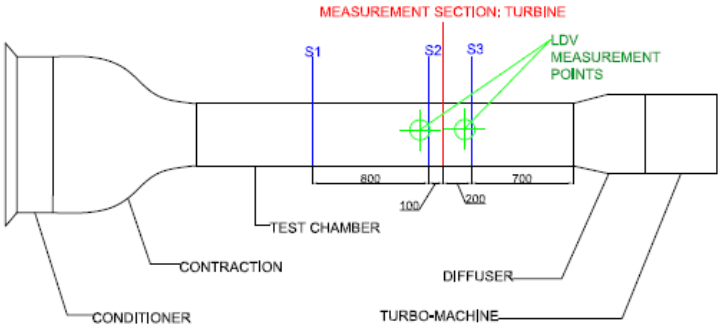
The turbine rotation has been measured with a *Laser Distance Measurement Device Selcom SLS5000*. The main objective of this device is measuring distances. Thus, every time a blade passes through the laser, its signal changes. Obviously, if the blade remains at the same distance, the laser gives an identical signal for every single blade of the turbine. With a spectral analysis of the signal, the average rotation frequency is obtained.

Humidity and temperature

The measurement of humidity and temperature has been done with a weather station *Oregon Scientific BAR908HG*. This can support a maximum of five thermo-hygrometer remote sensors. In this case, it have been used three remote sensors, using in addition the sensor inside the station to measure the external temperature and humidity. The three remote sensors were located at three representative sections inside the wind tunnel (S1, S2 and S3), as shown in figure 8. The first one is placed near the entrance to control the input humidity. The second one is situated upstream the turbine, near it, and the third one, downstream.

Figure 7: Wind tunnel.

Figure 8: Final set up.



At first instance, some equilibrium humidity tests were performed to analyse how humidity changes with time. In the final tests and in order to obtain accurate results, it was required experimentally to have a humidity level as constant as possible.

The final set up, with the thermo-hygrometer sensors and the *LDV* measurement points is shown in figure 8.

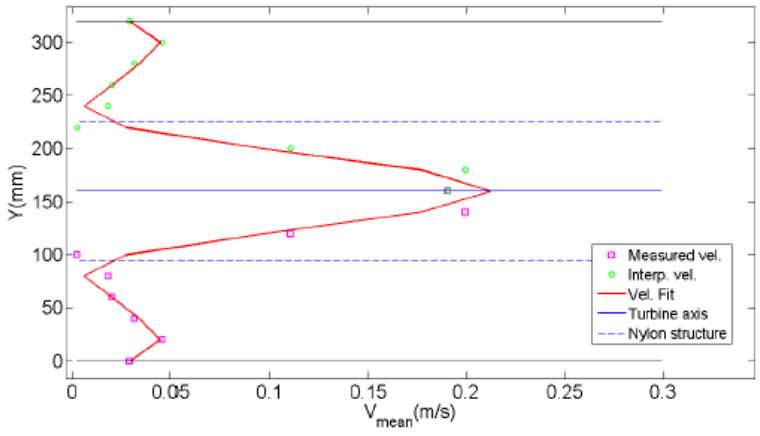
4. RESULTS

In this section, experimental results are presented alongside the theoretical prediction through the real gas model shown in previous sections.

4.1. Upstream velocity profile

In the experimental set up, the OWC nylon structure pit is an obstacle to the air flow, enhancing the formation of stagnation points in the edges of the structure. To quantify this aspect, some velocity measurements have been carried out by using LDV in the inlet region of the structure.

Figure 9: Velocity profile. LDV. Turbine inlet.

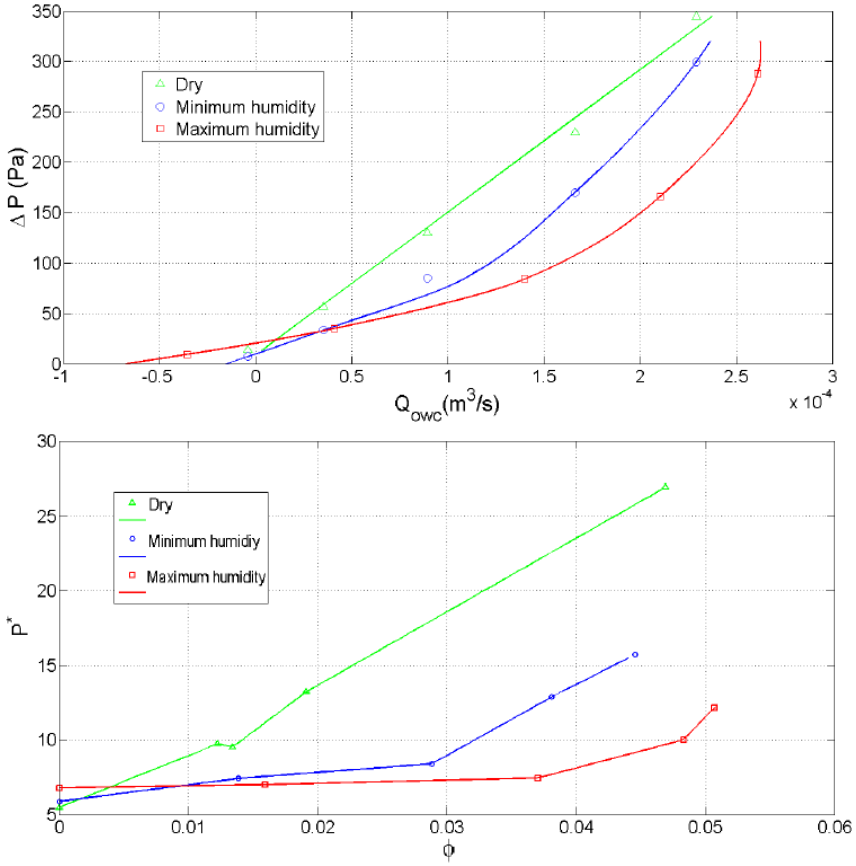


The velocity profile grows around the turbine orifice, with a minimum in the intersection with the nylon structure. The values are lower than in the downstream because of the energy conservation: a decrease in pressure implies an increase in velocity.

4.2. Pressure drop and air flow

The pressure difference between upstream and downstream was measured for every test. It is shown in figure 10 that the pressure—flow rate curves for humid air present a different behaviour in comparison to the dry air one. In addition, as humidity increases, the curve moves away from the dry air one. In other words, it is necessary greater flow rates to obtain the same pressure drop as humidity increases. Consequently, humid air brings less power to the turbine, as shown in following sections.

Figure 10: Pressure drop and air flow. Dimensional (up) and non-dimensional (down).



4.3. Non-dimensional pressure drop and air flow

As presented in equations (22) and (23), in the classic turbines literature, the turbine performance is described by some non-dimensional coefficients. In our case, a representation of the pressure drop and the air flow in terms of non-dimensional coefficients is useful for later comparison with future tests.

The results are depicted in figure 10. Dry air curve exists in a different non-dimensional pressure range than the humidity cases. For $\Phi \geq 0.02$, when the flow starts to be significant, and non–linear effects are neglected, the curves with humidity start to diverge with respect to the air flow. The behaviour of dry air curve with respect to the other two humidity curves is different. For the two humidity curves, the pressure range is the same. As well as in the

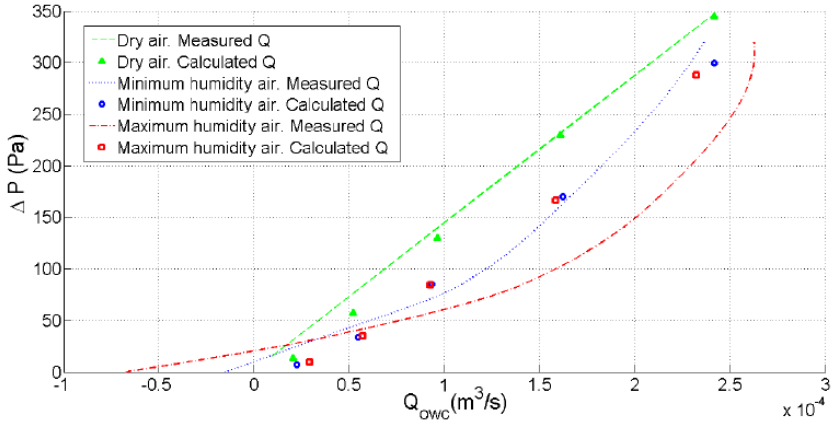
dimensional case, with greater humidity, to obtain the same pressure a higher flow coefficient is necessary.

4.4. Density correction by the air–vapour mixture

We have seen in previous sections that the form of the curves $\Delta P - Q$ is different depending on the humidity content of the air flow. A first attempt in predicting the turbine response under moist air condition, is performed by substituting moist air densities calculated by equation (12) in the classic continuity equation (8). But in this case, the classic formulation does not allow to predict successfully the turbine response under moist condition, as depicted in figure 11.

The turbine response for dry conditions is fairly well predicted with the classic formulation. However, the moist conditions do not match the experimental results. That way, the classic continuity expression might result incomplete for the prediction of the turbine performance with humid air, even if the actual turbine also offers a linear response in dry air.

Figure 11: New humidity curves. Corrected density.

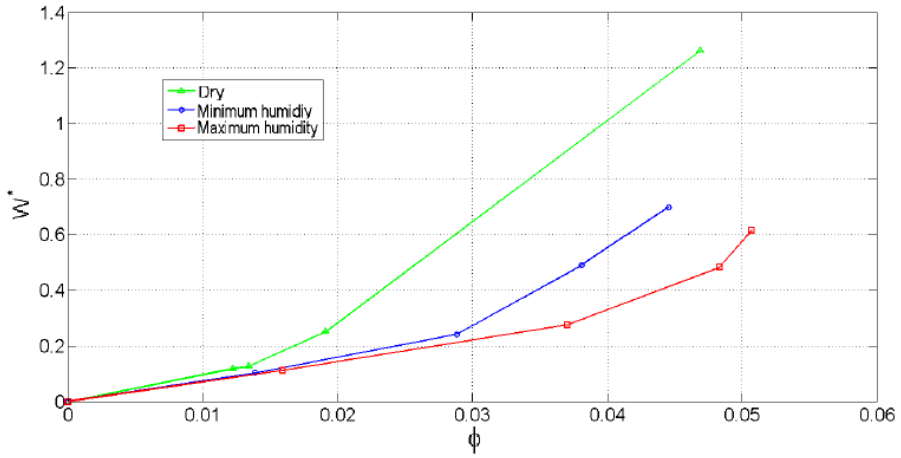


4.5. Power input

Power input is calculated as shown in equation (23). The results obtained are presented in figure 12.

Following the same argument of previous results, the power input decreases as humidity increases, for a constant flow rate. In other words, to obtain the same power input it is necessary greater flow rates with greater values of humidity.

Figure 12: Non dimensional power input and air flow.



5. CONCLUSIONS

Throughout the development of this work it has been shown the behaviour of moist air on the operation of an air turbine. In particular, the results presented after the application of the theoretical model of real gas are intended to be further applied to improve the performance of OWC devices.

The relation between pressure drop and air flow in classic theory is linear, and the hypothesis of dry air and ideal gas are assumed. With these experimental tests it has been observed that this relation is not linear with moist air. Furthermore, it has been justified for the air–water vapour mixture, that linear curve decreases towards the experimentally observed values when moisture exists.

It has been found that the flow through the turbine does not address the ideal gas law, hence the adiabatic equation for the ideal gas is not fully applicable. For the conservation of mass flow and enthalpy to be fulfilled, a real gas model has to be applied. In that sense, it has been verified that the real gas temperature output differs from the ideal gas adiabatic prediction. Moreover, as humidity increases the difference between adiabatic temperature and flow conservation temperature grows. The compressibility factor is close to 1, but does not take exactly that value. The real gas differs slightly from the ideal model. The state equation for the real gas differs from the ideal case, and therefore its behaviour keeps away from the ideal adiabatic description of the process.

It has been found that power input decreases when moisture increases. The difference between expected power output values and real power obtained in operating OWC plants may be revised under these considerations.

REFERENCES

Biel Gayé, J. (1986). *Formalismo y método de la termodinámica. Teoría general, aplicaciones y ejercicios resueltos. Apuntes de clase.* Universidad de Granada.

Evans, D. (1982). Wave-power absorption by systems of oscillating surface pressure distributions. Journal of Fluid Mechanics, 114, 481–499.

Evans, D. & Porter, R. (1995). Hydrodynamic characteristics of an oscillating water column device. Applied Ocean Research, 17, 155–164.

Martins-Rivas, H. & Mei, C. (2009). Wave power extraction from an oscillating water column at the tip of a breakwater. J. Fluid Mechanics, 626, 395–414.

Power-technology (2014). Internet article, available at: http://www.power-technology.com/projects/mutriku-wave/.

Prausnitz, J., Lichtenthaler, R., & de Azevedo, E. G. (1999). *Molecular Thermo-Dynamics of Fluid–Phase Equilibria*. Prentice–Hall.

Raghunathan, S. (1995). The wells air turbine for wave energy conversion. Prog. Aerospace Sci., 31, 335–386.

Sarmento, A., Gato, L., & Falcao, A. (1990). Turbine-controlled wave energy absorption by oscillating water column devices. Ocean Engineering, 17(5), 481–497.

Singh, S. & Kumar, R. (2012). Ambient air temperature effect on power plant performance. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), 4(8), 3916–3923.

Tsonopoulos, C. & Heidman, J. (1990). From the virial to the cubic equation of state. Fluid Phase Equilibria, 57, 261–276.

Yang, W. & Su, M. (2004). Influence of moist combustion gas on performance of a sub-critical turbine. Energy Conversion & Management, 46, 821–832.

05-002

AGEING MODEL FOR RE-USED ELECTRIC VEHICLE BATTERIES IN SECOND LIFE STATIONARY APPLICATIONS.

Canals Casals, Lluc; Amante García, Beatriz; González Benítez, Maria Margarita
UPC

Renewable energies, Microgrids and distributed energy generation are gaining relevance in the energy generation and distribution services worldwide, being batteries more and more studied to support them. Electric vehicle batteries are considered not useful for automotive applications when they have lost a 20% of its capacity. Since then, many other applications appear where these batteries can be re-used providing a second life opportunity. Ageing factors such as temperature, state of charge, depth of discharge and C-rate have been widely studied during the first life in the vehicles but not much further. An electric equivalent battery model will be used for the ageing simulation, incorporating some degradation parameters obtained from experimental results all along the first and second life. The battery ageing evolution will be analyzed in five use cases with different energy and power requirements: Fast charge for electric vehicles with batteries; Self consumption; island applications; area regulation and uninterruptible power systems. This study cases will be the inputs used in the Matlab model to determine the rest of useful life of the batteries, ensure the optimal sizing and find out the better conditions and the economic feasibility of these second life applications.

Keywords: *Batteries; Second life; reuse; model; ageing*

MODELO DE ENVEJECIMIENTO DE BATERÍAS DE VEHÍCULO ELÉCTRICO REUTILIZADAS PARA APLICACIONES ESTACIONARIAS

Las energías renovables, las microredes y la generación distribuida van teniendo cada vez más peso en la producción y gestión de la energía eléctrica mundial, siendo las baterías un elemento cada vez más estudiado para darles apoyo. Se considera que las baterías de vehículo eléctrico no son aptas para aplicaciones de tracción cuando han perdido cerca de un 20% de su capacidad. Es entonces cuando pueden ser utilizadas para otras aplicaciones estacionarias dándoles una segunda vida. Los factores que afectan al envejecimiento de las baterías, como son la temperatura, el estado de carga, la profundidad y velocidad de descarga han sido estudiados para la vida en vehículo, pero no más allá. Partiendo de un modelo eléctrico equivalente de batería, se implementarán los parámetros de envejecimiento partiendo de resultados experimentales, analizando el envejecimiento en cinco casos de uso: Carga rápida de vehículo eléctrico; autoconsumo; aplicaciones aisladas; regulación de área y descargas de emergencia. Estos casos serán los inputs del modelo presentado en este artículo que simulará su uso mediante MATLAB para determinar la vida útil de las baterías en segunda vida, asegurar el óptimo dimensionamiento, conocer las condiciones más favorables y la viabilidad económica de dichas aplicaciones con precisión.

Palabras clave: *Baterías; segunda vida; reuso; modelo; envejecimiento*

Correspondencia: Lluc Canals Casals lluc.canals@upc.edu

Agradecimientos: Agradecemos el apoyo de la UPC y la SEAT que nos permite investigar en aspectos emergente del mundo de la electromobilidad y del aprovechamiento de los recursos.

1. Introducción

Los vehículo eléctricos (VE) que entran en el mercado de la automoción están mayormente equipados con baterías de ión de litio para el almacenamiento de energía (Gil-Agusti, Zubizarreta, Fuster, & Quijano, 2014). Igual que ocurre con los ordenadores y otros equipos electrónicos, las baterías de estos vehículos se degradan con el tiempo y el uso (Broussely et al., 2005). En el mundo de la automoción, se considera que una batería no es apta cuando esta ha perdido entre un 20 y un 30% de su capacidad. Este es el fin de su primera vida y es, también, el punto donde finalizan la mayoría de estudios sobre pérdida de capacidad (Guenther, Schott, Hennings, Waldowski, & Danzer, 2013).

El VE es poco rentable sin los incentivos fiscales (Mock & Yang, 2014) debido principalmente a los elevados precios de las baterías, que rondan los 700 €/kWh. Para intentar favorecer su venta y sabiendo que la implantación de sistemas de almacenamiento de energía para dar servicio a la red están siendo cada vez más estudiados (D. Rastler, 2010) (Lymperopoulos, 2014), los fabricantes de vehículos se plantearon la posibilidad de aprovechar y revender dichas baterías una vez estas han alcanzado el final de su primera vida útil. De hecho, ya han aparecido diferentes proyectos como el EVEREST y el Second Life Batteries Project entre otros; así como trabajos analizando la viabilidad económica (Gladwin, Gould, Stone, & Foster, 2013), (Viswanathan & Kintner-Meyer, 2011) y hasta se han creado empresas que fomentan esta práctica, como es el caso de 4r-energy.

Todos estos proyectos pretenden demostrar la viabilidad técnica de utilizar baterías de VE como almacenamiento de energía, al mismo tiempo que pretenden determinar el resto de vida útil (RUL en inglés) de esas baterías en esta segunda vida para poder ofrecer ciertas garantías. Esta última parte, la determinación del RUL en una segunda vida, es lo que se aborda en el presente estudio mediante el uso de un modelo eléctrico equivalente de la batería.

Los modelos dinámicos de una batería han sido extensamente desarrollados por muchos autores. Hay desde modelos simples con una resistencia (R) y una pareja resistencia condensador (RC) en paralelo (Zhang & Lee, 2011) (Cho et al., 2012), hasta modelos más complejos donde se introducen elementos de cambio de fase y bobinas (Osaka, Momma, Mukoyama, & Nara, 2012), (Liu, Delacourt, Forgez, & Pelissier, 2011). La base de todos ellos es mayormente la misma: ir colocando estos elementos en serie incorporando particularidades y afinando cada vez más el comportamiento eléctrico de la batería (Guenther, Barillas, Stumpp, & Danzer, 2012).

Este modelo se completa añadiendo los efectos del envejecimiento para poder determinar el RUL. Los principales factores que afectan y aceleran los mecanismos de envejecimiento de las baterías son: la temperatura (T), la profundidad de descarga (DOD), el estado de carga (SOC) y la velocidad de descarga (C-rate) (Barré et al., 2013), (Eddahech, 2013) (Vetter et al., 2005).

Las baterías envejecen tanto cuando están paradas (*Calendar ageing)* como cuando están ciclando (*Cycling Ageing*). En el primer caso, a parte del propio paso del tiempo, hay principalmente dos factores que intervienen en el envejecimiento: la temperatura y el SOC. La temperatura afecta según una relación exponencial que se explica por la ecuación de Arrhenius mientras que el SOC, que también puede expresarse mediante el voltaje de la batería, lo hace de forma lineal (Schmalstieg, Käbitz, Ecker, & Sauer, 2014), (Delaille, Grolleau, & Duclaud, 2013).

Por otro lado, en el envejecimiento debido al ciclado intervienen también el DOD y el C-rate (Guena & Leblanc, 2006). El primero lo hace mediante una relación logarítmica mientras que

el C-rate lo hace mediante un polinomio de segundo grado (Sarasketa-Zabala et al., 2013) (Lam, 2011).

En términos prácticos, estos efectos se traducen en 2 repercusiones: Un aumento de la resistencia interna de la batería (R_0) y una pérdida de capacidad (Niehoff, Kraemer, & Winter, 2013). Aunque también existen efectos sobre los elementos RC, estos solamente actúan sobre la respuesta instantánea de la batería a cambios bruscos del corriente, con lo que no se tendrán en cuenta en nuestro análisis.

Como la experimentación empírica del envejecimiento en baterías en cada posible aplicación requiere de mucho tiempo y dinero, se procede a simular, en base al modelo eléctrico equivalente descrito. Dichos modelos se elaboran a partir de medidas empíricas realizadas en laboratorios. El comportamiento de una batería en distintos casos de uso en aplicaciones estacionarias se verá aplicando este modelo matemático de envejecimiento. El resultado de las simulaciones permitirá obtener datos orientativos de la duración de las baterías en dichas instalaciones de forma rápida y económica.

2. Objetivos

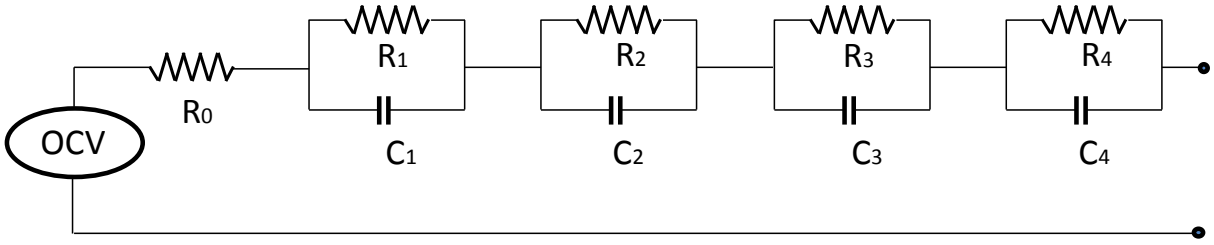
El principal objetivo es el de determinar, mediante un modelo matemático, la duración estimada de las baterías en segunda vida dependiendo de las distintas aplicaciones estacionarias o servicios a ofrecer. Estas aplicaciones serán clasificadas en cuatro grupos según las características y solicitaciones de la batería.

Con estos valores se podrá analizar la frecuencia de recambio de baterías y el coste que esto implica para calcular las rentabilidades y amortizaciones de los modelos de negocio.

3. Metodología

En este estudio se utiliza un modelo con una R más 4 elementos RC en serie tal como muestra la figura 1. El elemento OCV (*Open Circuit Voltage*) representa una fuente de tensión que relaciona el voltaje en circuito abierto y el SOC de la batería. Estos datos se obtienen a partir de las informaciones aportadas por del fabricante de las celdas.

Figura 1: Modelo eléctrico equivalente de la batería en estudio



Las funciones (1) y (2) describen las dependencias de los factores de envejecimiento por calendario o ciclado respectivamente sobre la pérdida de capacidad.

$$C_{loss_cal} = f(V, T, t) \quad (1)$$

$$C_{loss_cyc} = f(I, V, DOD, T, t) \quad (2)$$

En el caso de la pérdida de capacidad por calendario, los efectos de la temperatura (T), el voltaje o SOC (V) y el paso del tiempo (t) se ven traducidos matemáticamente por la

ecuación 3, dónde se puede percibir que el tiempo tiene una relación radical mientras que la temperatura la tiene exponencial y el voltaje lineal.

$$C_{loss_cal} = (\beta_1 + \beta_2 \cdot V) \cdot 10^6 \cdot e^{\frac{\beta_3}{T}} \cdot \sqrt{t} \quad (3)$$

Por otro lado, la pérdida de capacidad debida al ciclado de la celda tiene, además, los factores de la intensidad (C-rate o I) y de la DOD. El modelo utilizado toma como degradación base aquella correspondiente a ciclados continuos a 1C (siendo 1C la descarga completa de la celda en 1h), 273 ºK, un SOC medio del 50 % y una DOD del 100 %. A esta base se le aplicarán los efectos basados en los modelos mencionados en la introducción, que mediante las ecuaciones (4), (5), (6) y (7) ajustan el envejecimiento debido al ciclado.

$$I_{ef} = \theta_1 \cdot I^2 + \theta_2 \cdot I + \theta_3 \quad (4)$$

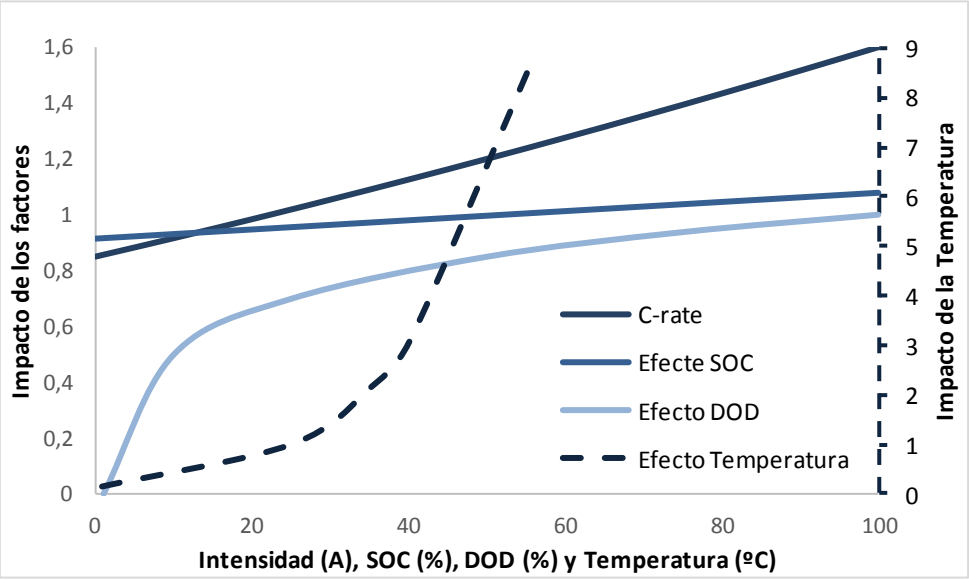
$$V_{ef} = \theta_4 \cdot V + \theta_5 \quad (5)$$

$$DOD_{ef} = \frac{Log_{10}(DOD)}{2} \quad (6)$$

$$T_{ef} = \frac{e^{\frac{\theta_6}{T}}}{e^{\frac{\theta_6}{298}}} \quad (7)$$

Donde los parámetros β_1, β_2, β_3, θ_1, θ_2, θ_3, θ_4, θ_5 y θ_6 deben ser determinados para cada tipo de batería. Para el caso de estudio, estas relaciones se pueden observar gráficamente en la Figura 2:

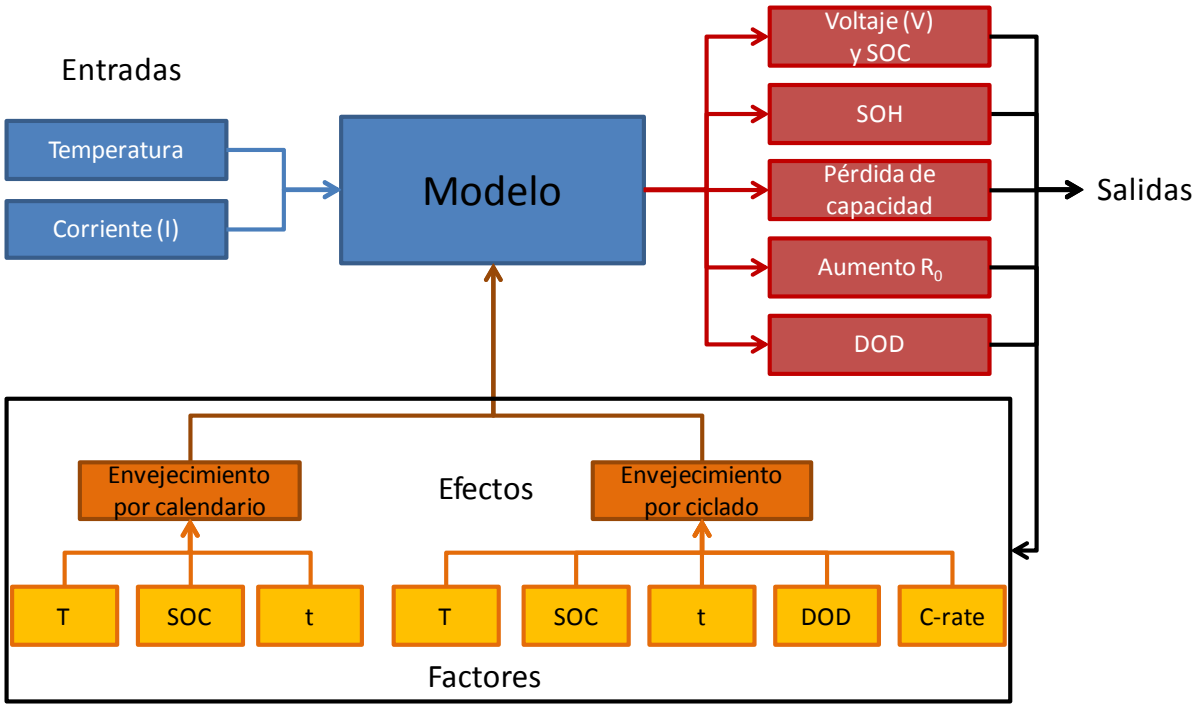
Figura 2: Efectos de los distintos factores que afectan al envejecimiento de la batería sobre la base a 25ºC, 1C y 100% DOD.



El modelo eléctrico de batería ha sido desarrollado con *Matlab* y las herramientas de *Simulink* tal y como se muestra, en un esquema de bloques, en la Figura 3. Las entradas del sistema son la temperatura de trabajo de las baterías y la corriente que las atraviesa, tanto en procesos de carga como de descarga. Estas vienen definidas por los casos de uso en segunda vida del sistema. Al entrar en el modelo, este calcula, la respuesta eléctrica instantánea de la batería, dando como respuestas o salidas: el voltaje (V), la variación en el SOC y DOD, las pérdidas de capacidad, el SOH y el aumento de la Resistencia (R_0). Estos

datos de salida vuelven a entrar al sistema para la siguiente iteración, creando un bucle que permite proseguir de forma precisa con los cálculos de respuesta y envejecimiento de la batería.

Figura 3: Esquema de bloques del modelo de envejecimiento



Habiendo visto que una de las consecuencias más visibles del envejecimiento de la batería es la pérdida de capacidad, el estado de salud de una batería (SOH) se mide como el cociente entre la capacidad actual (Cap) de la batería y la capacidad inicial (Cap_{ini}) según la ecuación (8). Esta nos servirá para determinar el límite de funcionamiento, es decir, es el parámetro que define el fin de vida de una batería en cada aplicación (Nuhic, Terzimehic, Soczka-Guth, Buchholz, & Dietmayer, 2013)(Zou, Hu, Ma, & Li, 2015).

$$SOH = Cap/Cap_{ini} \quad (8)$$

Asimismo, de resultados empíricos en pruebas de laboratorio, se obtuvo el polinomio de segundo grado (9), que relaciona el SOH con el valor de la resistencia interna (Dai, Wei, & Sun, 2009), o lo que es equivalente, el valor de R_0 del modelo definido en la figura 1.

$$R_0 = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot SOH + \alpha_3 SOH^2 \quad (9)$$

Este valor (R_0) se utiliza para determinar la eficiencia o las pérdidas por el calor (efecto Joule) de la batería (Q en la ecuación 10). Se visibiliza así que una batería tiene más pérdidas cuando mayor es la intensidad (I) que la atraviesa.

$$Q = R_0 \cdot I^2 \quad (10)$$

Al simular el funcionamiento de las baterías en los distintos casos de uso con este modelo, se determinará el momento en que estas no pueden ofrecer toda la cantidad de energía que la aplicación precisa. Dichas aplicaciones se han identificado como:

- Autoconsumo en residencias o centros comerciales: Estos sistemas se basan en el “peak shaving”. Se trata de almacenar energía en horas valle para ofrecerlas en las horas pico,

reduciendo el factor de potencia contratado y comprando energía cuando es más económica. También puede utilizarse para almacenar energía sobrante en los momentos de máxima producción de sistemas de generación de energía renovable instalados en azoteas y tejados. El sistema equivale a cargas y descargas completas de la batería diariamente y se consideró que la energía a almacenar era la media anual por hogar en España, es decir, 10 kWh/día).

- Sistemas aislados: En este caso, al estar desconectado de la red, el sistema de almacenamiento tiene que proveer energía durante todas las horas en las que no hay generación energética y tener, además, un almacén de energía para asegurar el abastecimiento durante dos o tres días al final de su vida útil. Considerando el mismo consumo diario que en el caso del autoconsumo, la cantidad de energía que debe poder almacenar la batería es de 50kWh. En este caso, las cargas y descargas equivalen a un tercio de la capacidad de la batería.

- Carga rápida de VE: La carga rápida de un VE requiere de niveles de potencia cercanos a los 50 kW. Cuando un vehículo se pone a cargar, la red local se ve sometida a sobrecargas importantes. Para eliminar este efecto y para ahorrarse la instalación de un sistema con estos niveles infrecuentes de potencia, se analiza la posibilidad de utilizar la batería de segunda vida para ir cargándose lentamente y descargar, de forma rápida, toda la energía acumulada al VE. La capacidad de la batería en segunda vida será la misma que la del VE, sin ningún cambio ni modificación, es decir, 20 kWh. Se asumen que se realizarán 2 descargas diariamente.

- Sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) o alimentación en emergencias: Esto equivale a ofrecer energía durante unos 15 minutos hasta que se restablece la red o se ponen en marcha sistemas alternativos de generación de energía. Se utiliza mucho en centros de telecomunicaciones, donde las paradas del sistema no son admisibles. En estos casos, las baterías están casi siempre cargadas y solamente se descargan de vez en cuando, que en el caso de este estudio, será una vez cada 10 días. Aunque la capacidad de las baterías para estas aplicaciones puede variar enormemente, para el presente estudio se han considerado 10kWh.

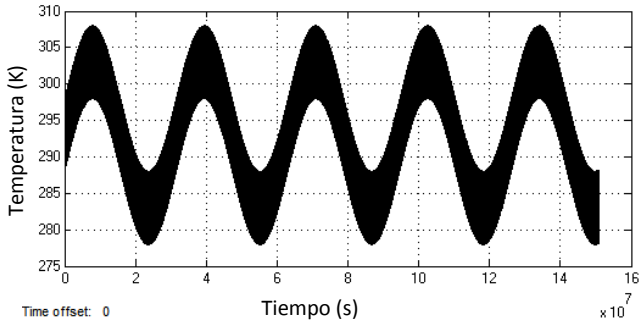
La tabla 1 resume las características principales de cada una de las aplicaciones con las que se han lanzado las simulaciones. Conviene resaltar, por un lado, que todas las aplicaciones alcanzan el final de 2ª vida cuando las baterías alcanzaron un 60% del SOH excepto la de autoconsumo que lo hace cuando llega al 40% de SOH. Esto es debido a que, en este caso, la pérdida de capacidad repercute solamente en unas menores prestaciones de la batería y no tiene criticidad funcional como ocurre con las demás aplicaciones. Por otro lado, la profundidad de descarga máxima es del 85% ya que las baterías de VE tienen su rango de trabajo limitado por cuestiones de seguridad. Asimismo, el DOD de las aplicaciones aisladas es del 30% al tener que asegurar una energía almacenada mínima de 3 días.

Tabla 1. Márgenes de la Página

Aplicaciones	SOH inicial	SOH final	DOD inicial	C-rate	SOC medio
Autoconsumo	80%	40%	85%	C/20	50%
Aislada	80%	60%	30%	C/75	85%
Carga rápida	80%	60%	85%	1,5C	82%
UPS	80%	60%	85%	2C	90%

Para el presente estudio, se consideró que las baterías están ubicadas en entornos cerrados y controlados, con lo que los cambios de temperatura no son muy bruscos, es decir, que trabajaran lejos de las situaciones extremas que podrían envejecer de forma acelerada las baterías. Así, este estudio se realizó a temperatura constante a 25ºC (298 K) y, también, con un ciclo térmico que va de 10 a 30ºC (283 a 303 K) a lo largo del año con una variación diaria de ±5ºC (Figura 4), para simular las dos posibles situaciones que se están estudiando actualmente: Controlar la temperatura con sistemas de refrigeración activos para alargar al máximo la vida útil de las baterías; o no utilizarlos y ver si el cambio en la RUL es relevante. Esto permitirá justificar el uso de sistemas de refrigeración, pues consumen energía e incrementan, también, el coste de la instalación, con lo que es preferible evitarlos.

Figura 4: Ciclo anual de temperaturas de 283 a 303 K con ±5 K cada día.



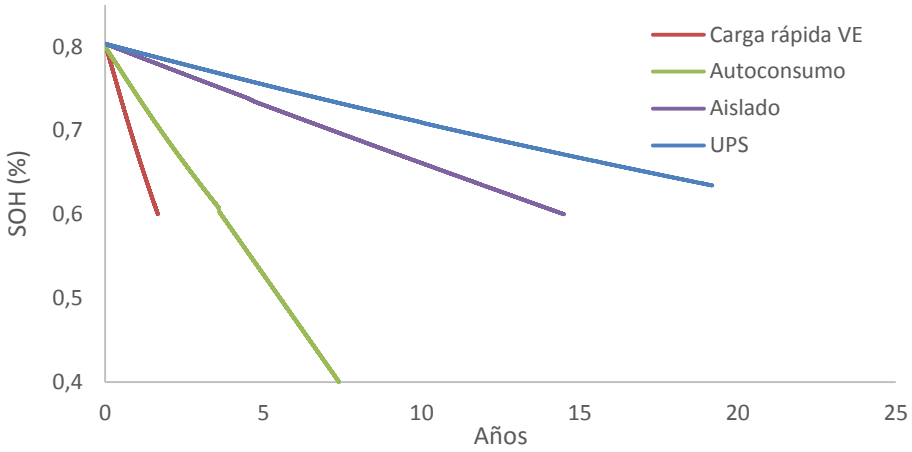
En la vertiente económica, de los artículos (Neubauer, Pesaran, Williams, Ferry, & Eyer, 2012) y (Canals Casals, González Benítez, & Amante García, 2014) se estima un precio de adquisición de baterías en segunda vida de 100 €/kWh. Así, multiplicando este precio por el tamaño o capacidad de la batería (kWh) que requiere cada aplicación, se obtiene el coste completo de la batería en segunda vida. Con ello y con los resultados obtenidos de duración de las baterías de cada aplicación, se procederá a calcular las amortizaciones mínimas para la reposición de baterías.

4. Resultados

Se analiza, en primera instancia, la evolución del SOH de las baterías según la aplicación en segunda vida con temperatura constante a 25ºC. El SOH de partida es del 80%, pues se considera que la batería llega en estas condiciones de su primer uso en los VEs. La figura 5 muestra cómo, efectivamente, aquellas aplicaciones con descargas más exigentes y más frecuentes, cómo la carga rápida de VE, se deterioran más rápidamente. De hecho, con la carga rápida de VE, la duración de la batería alcanza solamente 1,7 años, mientras que el caso del uso como UPS, dónde la batería pasa gran parte del tiempo inactiva, el RUL supera los 24 años. Asimismo, la segunda aplicación más duradera es la del uso en

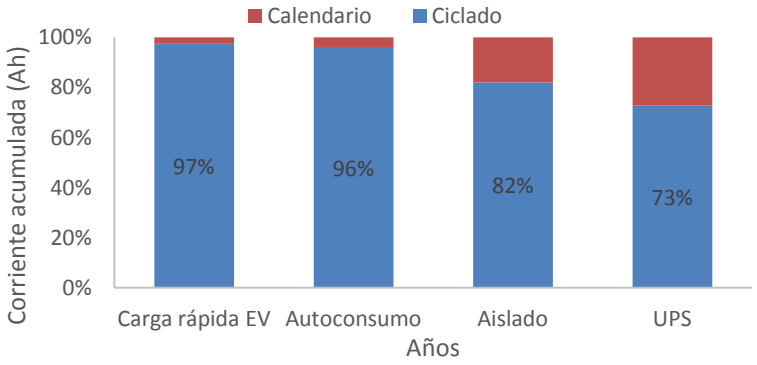
sistemas aislados, que es también la que tiene picos de corriente más suaves. Se debe notar que, para el caso de las aplicaciones de autoconsumo, al poder alcanzar un SOH final del 40%, su RUL casi se duplica con respecto a un final de vida al 60% del SOH.

Figura 5: Evolución del SOH de las baterías según la aplicación a una temperatura fija de 25 ºC



Los resultados nos permiten observar, como se muestra en la figura 6, que los porcentajes de degradación de la batería por calendario y ciclado no son constantes, teniendo variaciones según su uso. Así, en las aplicaciones de UPS y sistemas aislados, que tienen mayor RUL, el efecto del envejecimiento por calendario tiene más influencia, llegando a impactar en un 27% y 18% respectivamente. Por otro lado, en las aplicaciones con duraciones menores, este efecto es menos relevante, siendo inferior al 5% del envejecimiento total debido al paso del tiempo.

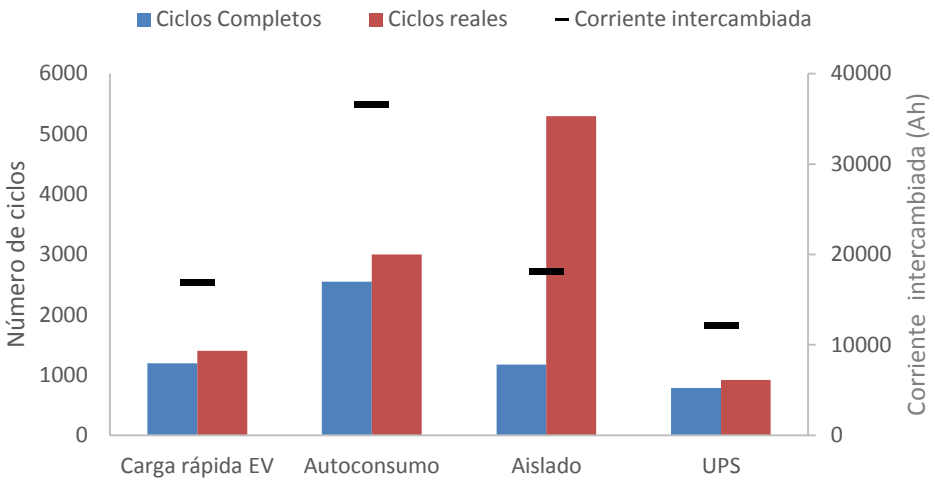
Figura 6: Reparto del impacto sobre el envejecimiento de calendario y de ciclados



Los resultados que se muestran en la figura 7 permiten verificar el impacto del C-rate y el DOD sobre la cantidad de ciclos que realiza la batería y la cantidad total de corriente intercambiada (Ah). Se puede observar (línea negra en la figura 7) cómo el caso con más intercambio energético es el del autoconsumo. Debemos recordar que este caso tenía un final de vida con un SOH del 40% mientras que los demás lo tenían al 60%. Además, es el caso más cercano a la base del modelo. La aplicación UPS es las que menos ciclos realiza y, aunque sea la aplicación con mayor duración, también es la que menos energía puede intercambiar. Esto se debe básicamente a que trabaja solamente un 1,5% del tiempo, después está la batería cargada y lista para ser utilizada. Además, cuando finalmente se descarga, lo hace con la mayor de las exigencias estudiadas. La figura 7 también muestra la cantidad de ciclos que pueden realizar las baterías en estas segundas aplicaciones. Si nos fijamos en los ciclos completos equivalentes (que se refieren a los ciclos equivalentes con

descargas del 100 DOD), se puede observar que la aplicación en autoconsumo es las que más ciclos realiza, con 2551 ciclos, mientras que las demás no alcanzan los 1200 ciclos y la de UPS se queda tan solo con 785 ciclos.

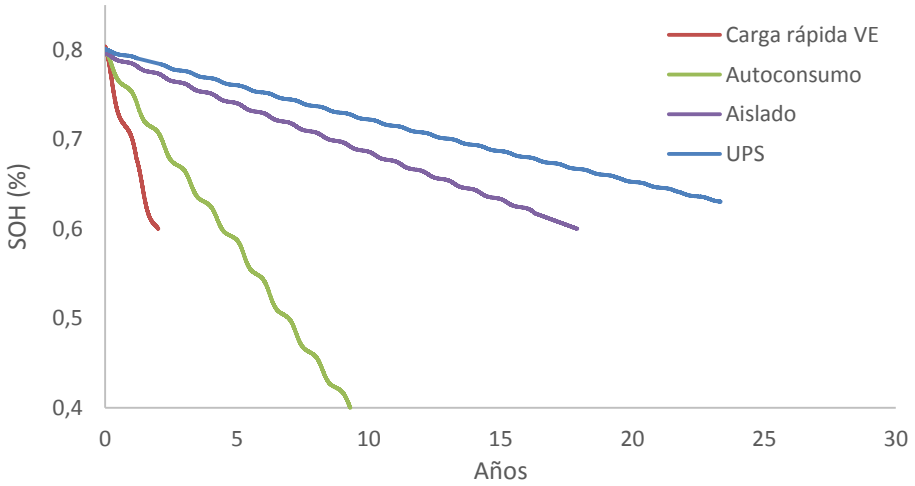
Figura 7: Número de ciclos de la batería y cantidad total de corriente intercambiada por cada aplicación en segunda vida.



Asimismo, según la ecuación (9), la evolución de la R_0 indica que, al final de la vida útil, esta ha aumentado un 74%, lo que repercute en una disminución de la eficiencia de la batería.

Al aplicar el ciclo de temperatura variable nos encontramos con que el RUL aumenta en todos los casos alrededor de un 20% y que la evolución del SOH tiene una forma sinusoidal, tal como se puede observar en la figura 8. Esta forma sigue exactamente el ciclo anual de la temperatura (la variación diaria es inapreciable), dónde las zonas de mayor pendiente son aquellas en las que la temperatura es más elevada. Este aumento en el RUL se debe, básicamente, a que la temperatura media de trabajo se encuentra por debajo del límite de 25 ºC utilizado para el cálculo del RUL a temperatura constante durante 2/3 del tiempo. Evidentemente, si estas premisas varían, también lo hacen los resultados.

Figura 8: Evolución del SOH de las baterías según la aplicación con temperatura variable



Este aumento en la duración de la vida de la batería repercute directamente en los costes de mantenimiento de la instalación y, por ende, en la velocidad de amortización de inversiones.

La tabla 2 refleja el impacto económico según el RUL obtenido en cada aplicación. Así por ejemplo, para aplicaciones de carga rápida de VE con temperatura controlada, se obtiene que es necesario amortizar la compra de baterías en 2 años o menos, lo que implica que el negocio tiene que asegurar cerca de 1200 € al año en concepto de amortizaciones para poder pagar las baterías de remplazo que permitan seguir con el negocio. Asimismo, también se muestra el peso de la amortización respecto a los kWh de baterías instalados, para poder evaluar los costes por unidad de energía almacenable.

Tabla 2. Resumen de costes

A 25 ºC				
	Carga rápida VE	Autoconsumo	Aislado	UPS
Duración (años)	1,7	7,4	14,5	24,0
Capacidad mínima de la batería (kWh)	20	10	50	10*
Coste batería (€)	2000	1000	5000	1000
Amortización mínima por año (€)	1199	135	345	42
Amortización mínima por kWh (€/kWh)	60	14	7	4
Sin control de temperatura				
Duración (años)	2,0	9,3	17,9	28,6
Capacidad mínima de la batería (kWh)	20	10	50	10
Coste batería (€)	2000	1000	5000	1000
Amortización mínima por año (€)	994	107	279	35
Amortización mínima por kWh (€/kWh)	50	11	6	4
Reducción	**17%**	**20%**	**19%**	**16%**

* A diferencia de las otras aplicaciones, las aplicaciones UPS tienen una gran variabilidad de capacidad, que van de unos poco kWh a MWh. Se ha tomado 10 kWh para estar en el mismo orden de magnitud.

Además, la tabla 2 permite comparar los resultados obtenidos con y sin control de temperatura. De este modo, considerando las amortizaciones a lo largo de la vida de las baterías, se puede apreciar una suavización de las amortizaciones por el hecho de alargarles la vida trabajando con un ciclo de temperaturas de entre 10 y 30 ºC. En efecto, se consiguen reducciones de hasta un 20% para el remplazo de baterías.

5. Conclusiones

La viabilidad económica del uso de baterías para aplicaciones de almacenamiento de energía depende enormemente del precio y de la duración de la batería. El uso de baterías en segunda vida permite reducir el primer punto, siendo necesario valorar la durabilidad de dichas baterías en aplicaciones estacionarias. En este artículo se ha mostrado cómo la duración de la batería no solamente depende del número de ciclos que realiza a lo largo de la segunda vida, sino que también depende de las características del modo de trabajo. Así, la vida de las baterías puede ir desde los 1,7 años en el caso de aplicaciones de carga rápida de VE hasta casi 29 en aplicaciones en sistemas de alimentación ininterrumpida.

Uno de los factores clave en la duración de la batería es el efecto de la temperatura. De este modo, se ha valorado que la vida de las baterías se alarga cerca de un 20% si la

temperatura de trabajo oscila entre los 10 y los 30 ºC en vez de estar controlada y fija a 25ºC mediante sistemas de climatización.

Consecuentemente, se concluye que no es necesario añadir sistemas de climatización activos en el lugar donde se ubique el sistema de almacenamiento de energía. Esto revierte en una importante reducción de las inversiones y de los costes de funcionamiento al no consumir energía para la climatización. Es más, no controlar térmicamente la instalación repercute en una reducción de entre un 15 y un 20% sobre el impacto de las amortizaciones para la reposición de baterías debido al alargamiento de su vida útil.

Estos costes de amortización oscilan entre los 1200 y 994 € al año para las aplicaciones de carga rápida de VE llegando hasta unos 42-35 €/año para aplicaciones en UPS. Asimismo, las aplicaciones de autoconsumo y en sistemas aislados de la red requerirían de amortizaciones anuales cercanas a los 120 y 300 € respectivamente.

Finalmente, las aplicaciones con condiciones de descarga más exigentes tienen menor duración o menos cantidad de ciclos. Así, si se quieren mejorar estos resultados, se debe estudiar qué ocurriría sobredimensionando el sistema de almacenaje de manera que las descargas sean con C-rates menores y encontrar el punto óptimo en el que el envejecimiento por calendario no sobrepasa el efecto de la intensidad de descarga.

Este modelo de envejecimiento de baterías permite valorar, en poco tiempo y de forma precisa, la esperanza de vida de las baterías bajo cualquier modo de trabajo, lo que es imprescindible para evaluar correctamente los posibles modelos de negocio derivados del almacenamiento de energía.

6. Bibliografía

Barré, A., Deguilhem, B., Grolleau, S., Gérard, M., Suard, F., & Riu, D. (2013). A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications. *Journal of Power Sources*, *241*, 680–689. doi:10.1016/j.jpowsour.2013.05.040

Broussely, M., Biensan, P., Bonhomme, F., Blanchard, P., Herreyre, S., Nechev, K., & Staniewicz, R. J. (2005). Main aging mechanisms in Li ion batteries. *Journal of Power Sources*, *146*(1-2), 90–96. doi:10.1016/j.jpowsour.2005.03.172

Canals Casals, L., González Benítez, M., & Amante García, B. (2014). A cost analysis of electric vehicel battery second life businesses. In *XVIII International congress on project management and engineering* (pp. 0946–0958). Alcañiz. doi:http://aeipro.com/aplic/tree_congresos/detalle_remository_aeipro.php?file=4236

Cho, S., Jeong, H., Han, C., Jin, S., Lim, J. H., & Oh, J. (2012). State-of-charge estimation for lithium-ion batteries under various operating conditions using an equivalent circuit model. *Computers & Chemical Engineering*, *41*, 1–9. doi:10.1016/j.compchemeng.2012.02.003

D. Rastler. (2010). *Electricity Energy Storage Technology Options*. doi:EPRI 1020676

Dai, H., Wei, X., & Sun, Z. (2009). A new SOH prediction concept for the power lithium-ion battery used on HEVs. *5th IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC '09*, 1649–1653. doi:10.1109/VPPC.2009.5289654

Delaille, A., Grolleau, S., & Duclaud, F. (2013). SIMCAL Project: calendar aging results obtained on a panel of 6 commercial Li-ion cells. In *Electrochemical Energy Summit de l'Electrochemical Society* (Vol. 101). doi:hal-00920366

Eddahech, A. (2013). *Modelisation du vieillissement et determination de l'etat de sante de batteries lithium-ion pour application vehicule electrique et hybride*. Université Sciences et Technologies - Bordeaux. Retrieved from https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00957678

Gil-Agusti, M., Zubizarreta, L., Fuster, V., & Quijano, A. (2014). Baterias: Estado actual y futuras tendéncias (1ª parte). *DYNA Ingeniería E Industria*, *89*(6), 584–589. doi:http://dx.doi.org/10.6036/7298

Gladwin, D. T., Gould, C. R., Stone, D. A., & Foster, M. P. (2013). Viability of "second-life" use of electric and hybridelectric vehicle battery packs. In *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 1922–1927). IEEE. doi:10.1109/IECON.2013.6699425

Guena, T., & Leblanc, P. (2006). How Depth of Discharge Affects the Cycle Life of Lithium-Metal-Polymer Batteries. *INTELEC 06 - Twenty-Eighth International Telecommunications Energy Conference*, 1–8. doi:10.1109/INTLEC.2006.251641

Guenther, C., Barillas, J. K., Stumpp, S., & Danzer, M. a. (2012). A dynamic battery model for simulation of battery-to-grid applications. *2012 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe)*, 1–7. doi:10.1109/ISGTEurope.2012.6465855

Guenther, C., Schott, B., Hennings, W., Waldowski, P., & Danzer, M. A. (2013). Model-based investigation of electric vehicle battery aging by means of vehicle-to-grid scenario simulations. *Journal of Power Sources*, *239*, 604–610. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775313003066

Lam, L. (2011). *A Practical Circuit based Model for State of Health Estimation of Li ion Battery Cells in Electric Vehicles Master of Science Thesis*. University of Technology Delft.

Liu, W., Delacourt, C., Forgez, C., & Pelissier, S. (2011). Study of graphite / NCA Li-ion Cell Degradation During Accelerated Aging Tests - Data Analysis of the SimStock Project, 1–6. doi:978-1-61284-247-9/11

Lymperopoulos, N. (2014). *Commercialization of Energy Storage in Europe*. Retrieved from http://www.energystorageforum.com/europe/free-white-paper

Mock, P., & Yang, Z. (2014). *Driving Electrification: A global comparison of fiscal incentive policy for electric vehicles*. Retrieved from http://www.theicct.org/

Neubauer, J., Pesaran, A., Williams, B., Ferry, M., & Eyer, J. (2012). *A Techno-economic analysis of PEV battery second use_ repurposed battery selling price and commercial and industrial end_user value*. doi:10.4271/2012-01-0349

Niehoff, P., Kraemer, E., & Winter, M. (2013). Parametrisation of the influence of different cycling conditions on the capacity fade and the internal resistance increase for lithium

nickel manganese cobalt oxide/graphite cells. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, *707*, 110–116. doi:10.1016/j.jelechem.2013.08.032

Nuhic, A., Terzimehic, T., Soczka-Guth, T., Buchholz, M., & Dietmayer, K. (2013). Health diagnosis and remaining useful life prognostics of lithium-ion batteries using data-driven methods. *Journal of Power Sources*, *239*, 680–688. doi:10.1016/j.jpowsour.2012.11.146

Osaka, T., Momma, T., Mukoyama, D., & Nara, H. (2012). Proposal of novel equivalent circuit for electrochemical impedance analysis of commercially available lithium ion battery. *Journal of Power Sources*, *205*, 483–486. doi:10.1016/j.jpowsour.2012.01.070

Sarasketa-Zabala, E., Laresgoiti, I., Alava, I., Rivas, M., Villarreal, I., & Blanco, F. (2013). Validation of the methodology for lithium-ion batteries lifetime prognosis. In *EVS27 Electric vehicle symposium* (pp. 1–12). doi:10.1109/EVS.2013.6914730

Schmalstieg, J., Käbitz, S., Ecker, M., & Sauer, D. U. (2014). A holistic aging model for Li(NiMnCo)O2 based 18650 lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, *257*, 325–334. doi:10.1016/j.jpowsour.2014.02.012

Vetter, J., Nov, P., Wagner, M. R. R., Veit, C., Novák, P., Möller, K.-C., … Hammouche, A. (2005). Ageing mechanisms in lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, *147*(1-2), 269–281. doi:10.1016/j.jpowsour.2005.01.006

Viswanathan, V. V., & Kintner-Meyer, M. (2011). Second Use of Transportation Batteries: Maximizing the Value of Batteries for Transportation and Grid Services. In *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (Vol. 60, pp. 2963–2970). doi:10.1109/TVT.2011.2160378

Zhang, J., & Lee, J. (2011). A review on prognostics and health monitoring of Li-ion battery. *Journal of Power Sources*, *196*(15), 6007–6014. doi:10.1016/j.jpowsour.2011.03.101

Zou, Y., Hu, X., Ma, H., & Li, S. E. (2015). Combined State of Charge and State of Health estimation over lithium-ion battery cell cycle lifespan for electric vehicles. *Journal of Power Sources*, *273*, 793–803. doi:10.1016/j.jpowsour.2014.09.146

05-003

TURBOEXPANDERS APPLICATION TO POWER GENERATION

Delgado Calin, Gines; Nieto Morote, Ana
UPCT

This article presents an application to produce electrical power using the expansion of natural gas through a turboexpanders coupled to a generator. To get used to this technique we have reviewed all type of references (articles, journals, books) showing this application of turboexpanders for power generation. We have reviewed also the list of facilities founded and information from manufacturers.

Keywords: *efficiency; generation; feasibility; power ;projects*

APLICACIÓN DE LOS TURBOEXPANSORES PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA

Esta ponencia presenta una revisión de la aplicación de generación eléctrica mediante la expansión de gas natural en turbinas de expansión al que se acopla un generador. Para profundizar en la técnica se ha realizado un estudio de las referencias (artículos, revistas, libros) sobre esta aplicación. También se han revisado la información encontrada sobre instalaciones y sobre los fabricantes de esta tecnología.

Palabras clave: *eficiencia;generación;eléctrica;proyectos;viabilidad;*

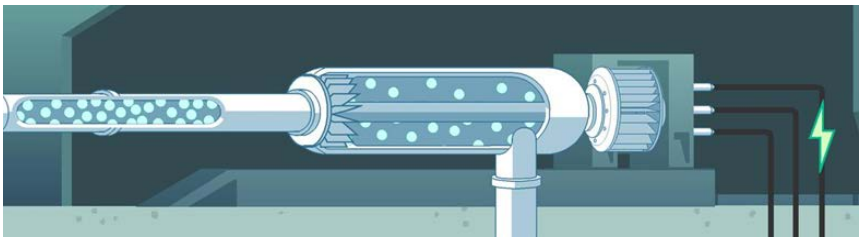
Correspondencia: Ginés Delgado gines.delgado@upct.es

1. Introducción

Una turboexpander o turbina de expansión, es una turbina radial o axial a través de la cual un gas a alta presión se expande para producir trabajo (Bloch & Soares, 2001). Este tipo de trabajo puede usarse para distintas aplicaciones, según la máquina a la que esté acoplada el equipo, pudiendo ser esta máquina un compresor, un freno o un generador eléctrico. Estos equipos se utilizan en diferentes aplicaciones industriales, habitualmente en procesos de productos petroquímicos, y posteriormente se ha ampliado su uso para la industria de generación eléctrica tanto en las aplicaciones geotérmicas como en la recuperación de energía en los gaseoductos (New Turboexpanders, n. d).

Como se muestra en la figura 1, el principio de funcionamiento de estos equipos para obtener energía eléctrica es la expansión de un fluido en los álabes que componen el rotor, que permite arrastrar un eje que a su vez mueve un generador.

Figura 1: Instalación de un turboexpander con generador acoplado



El turboexpander por tanto es una máquina que puede realizar la misma función que las válvulas de control, es decir, la regulación de presión de un fluido gaseoso pero aprovechando la energía de dicho salto de presión.

Es importante destacar las diferencias que presenta la reducción de presión utilizando reguladores frente a turboexpander. En la tabla 1 se muestran estos valores según Dariusz Kowala (2009):

Tabla 1: Comparación regulador con turboexpander

	Regulador	Turboexpander
Producción de trabajo	No	Si
Exergía del gas	Destruida	Utilizada
Descenso de la temperatura	≈5 k/mpa	≈20 k/mpa
Fuerzas que causan la caída de presión	Fricción	Turbina

Para mostrar numéricamente la aplicación del turboexpander para generación eléctrica sirva como ejemplo el modelo de Turboexpander ETG 190 MS-3 del fabricante Atlas Kopco, que puede manejar una presión de entrada de 51 bares, con una temperatura de entrada de 170ºC y un caudal de gas natural de 60.582 Nm³/h. Con estos valores es capaz de producir una potencia de 4.526 kW.

El objetivo de este trabajo es revisar la aplicación de los turboexpanders para la generación eléctrica de forma distribuida, aprovechando los saltos de presión en el transporte por gaseoducto del gas natural para poder evaluar el potencial que esta aplicación tendría a nivel mundial.

2. Aplicaciones de los turboexpanders para generación eléctrica en la expansión del gas natural

Durante los últimos años hemos analizado las referencias que mencionan la palabra turboexpander, extrayendo de ellas las relacionadas con la aplicación de generación eléctrica por la expansión del gas natural. La mayoría de las publicaciones abordaron el problema desde el punto de vista teórico pero también son interesantes para nuestro trabajo las referencias que aportan datos técnicos de fabricantes que han implementado esta tecnología.

En 2008, la INGAA (Asociación Americana de Transporte de Gas Natural Interestatal) encargó un informe a una consultora para revisar las oportunidades de recuperación energética en el transporte del gas natural para hacerlo de forma más eficiente (Hedman, 2008). Este informe incluyó que los turboexpanders era una de las tres técnicas que podrían contribuir a este objetivo. Sin embargo, en ese momento concluyó que no había suficientes proyectos o instalaciones comerciales en las estaciones de regulación a las puertas de las grandes ciudades de Estados Unidos como para recomendarla a los asociados. Además señalaba que había una serie de variables que ponían en peligro la viabilidad de futuros proyectos que involucraran la generación eléctrica por expansión del gas natural. Estos factores eran económicos y técnicos; de los económicos destacaban el alto coste de la inversión inicial y el bajo precio de venta de la electricidad y entre los técnicos, la dificultad de encontrar localizaciones donde el caudal y el salto de presión fueran constantes a lo largo del año para poder predecir con fiabilidad el rendimiento de la turbina seleccionada.

Uno de los motivos del alto coste inicial, lo justificaba por la necesidad de pre o post calentar el gas para evitar la formación de condensaciones o hidratos de los componentes pesados que arrastra el gas natural. La turbina de expansión al expandir el gas natural consigue muy bajas temperaturas, a diferencia de las válvulas de regulación de presión que apenas bajan la temperatura 0,5ºC por cada 1 bar de bajada de presión. Esto puede conllevar la instalación de calderas de gas que además de tener un coste de instalación también reducen los beneficios a largo plazo, pues en el coste de operación y mantenimiento habría que sumar el consumo de combustible.

Este informe menciona como desde los años 70 se comenzaba a plantear esta aplicación en la industria del gas, siendo en los años 80 cuando, en Estados Unidos, se instalaron en San Diego (California), Memphis (Tennessee) en 1983; Stockbridge (Georgia) en 1984 y Hamilton (New Jersey) en 1987, todas ellas en las estaciones de regulación a la entrada de la ciudad en paralelo a las clásicas válvulas de control de presión. Desde esa época, solo tiene constancia de unos 20 proyectos a nivel mundial y todos ellos subvencionados, es decir, proyectos piloto para demostración de la aplicación más que proyectos privados y comerciales.

Además, de los costes de inversión entre 600 y 2,300 $/kw, en este informe se destaca el hecho de que cada proyecto necesitaría de una labor de ingeniería y diseño a medida porque no disponían los fabricantes de soluciones estándar que tuviera la suficiente flexibilidad operacional que suponen las variaciones de consumo del gas natural a lo largo del año.

En 2004 en Bangladesh y con el objetivo de reducir al mínimo la dependencia del petróleo, se postula la idea de aprovechar el salto de presión en las estaciones de regulación de gas natural para generar energía eléctrica (Mansoor, 2004). Se destaca el bajo impacto medioambiental de este nuevo tipo de generación de energía eléctrica, ya que no se necesita la combustión de un gas adicional, y por lo tanto se reducen notablemente las emisiones de CO_2 . Además, se señala como ventaja la alta flexibilidad operacional al estar disponibles maquinas que manejan ratios de salto de presión desde 2:1 a 16:1. Se señala

también como característica positiva la alta disponibilidad de 350 días al año y se estima un mínimo de 30 años de vida. Como datos experimentales y de forma teórica, se exponen parámetros de presión y potencia eléctrica generables a partir de distintos caudales de gas natural, y por otro lado, usando datos reales de estaciones de regulación de presión cercanos a la ciudad de Dhaka. La previsión costes es de 800 $/Kw para una instalación de 100 Kw y menos de 300 $/kW para una instalación de 1.500 Kw.

En 2010, Mahabubur Rahman (2010), también de Bangladesh, profundiza más en la revisión de la aplicación del turboexpander para generar electricidad y destaca que en la mayoría de los casos, se da la necesidad de precalentar el gas natural antes de ser sometido a la expansión en la turbina, debido a la presencia de impurezas y agua en el gas natural. Además de estudiar los saltos de presión en la estaciones de regulación, lo hace también para los yacimientos. En este país, revisa su aplicación en 30 yacimientos calculándoles un potencial de generación de 9 Mwh y revisa los datos de caudal y salto de presión de 28 estaciones de regulación de las ciudades principales que supondrían otros 11 Mwh. Las potencias de los yacimientos oscilan en un rango desde 150 Kw a 500 kw, es decir, instalaciones de pequeño y mediano tamaño, sin embargo las estaciones de regulación son más variables en tamaño, desde 200 Kw a 5 Mw.

En esta revisión, los fabricantes ya son capaces de suministrar los equipos en las llamadas unidades paquete o skids lo que supone un gran avance en la estandarización de las máquinas para ciertos rangos de operación.

Estos autores de Bangladesh (Rahman, 2010 y Mansoor, 2004) hacen referencias a los proyectos de 2,2 Mw en Toronto, Canadá del 2008 y también los estudios de Mirandola y Mica en Italia, del prototipo que se instaló en Ravena en 1987, así como las revisiones similares que hicieron de esta aplicación en Irán.

En 2009, en Irán, Ardali y Heybatian (2009) presentan los resultados obtenidos usando un simulador de la oportunidad de producir 1,8 Mw en la estación de regulación de la ciudad de Shahrekord.

También en Irán, en 2010, Seresht y Jalalabadi (2010) realizan un estudio similar usando el software Thermoflow1 en la ciudad de Teherán, donde se podrían haber generado 170 Gwh anuales. Estos autores mencionan estudios similares realizados por Pozivill (2004), que empleo para su análisis el software comercial AspenTech's HYSIS.

En Polonia, Kowala (2009) y Kostowski, (2010), ambos usan técnicas de simulación y modelos exergéticos para calcular los balances de energía generables en los saltos de presión así como su viabilidad económica.

Clifford Robert Howard (2009) estimó para Canadá un potencial de generación eléctrica de 172 Mwh, lo cual supondría unos 1,5 Gwh anuales basándose en los datos obtenidos del proyecto piloto mencionado de Toronto desarrollado por las empresas Enbridge y Fuel Cell Energy que resolvían de una forma original el problema del precalentamiento .

3. Instalaciones de turboexpander a nivel mundial

Además de las referencias bibliográficas revisadas, son numerosos los fabricantes internacionales que actualmente disponen de catálogos e información técnica y comercial que en este caso nos aporta suficiente información para poder evaluar la viabilidad comercial de esta tecnología y en esta aplicación tan concreta. Esta revisión nos ha permitido realizar un listado que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Fabricantes de turboexpanders

	VOITH TURBO BHS GETRIEBE, MAN DISEL&TURBO, RMG GROUP, SIEMENS
	AIRCO,ELLIOT GROUP, EMERALD POWER, LA TURBINE,LANGSON, MAFI-TRENCH
	CRYOSTAR
	ATLAS KOPCO
	TURBOGAZ, ENERGY
OTHER	HONEYWELL, TRICONEX,GELIYMASH,TRANSPACIFIC ENVIROENERGY,

Para la aplicación en cada país habría que analizar la idoneidad de unos fabricantes u otros. Por ejemplo, en España sería más razonable abordar los proyectos con turboexpanders con suministradores que tengan servicio técnico y fábrica en Europa, como son Atlas Kopco, Siemens y GE.

Existen más de 1.000 proyectos de turboexpanders desde el año 1988, mencionadas en la información de los fabricantes, sin embargo, la aplicación más común del turboexpander es tener acoplado un compresor en vez de un generador eléctrico (turboexpanders.com).

En el informe Hedman del 2008 se conocían poco más de 20 instalaciones, sin embargo nosotros hemos podido identificar en las páginas web de los fabricantes más de 40 instalaciones de turboexpanders en estaciones de regulación de presión de gas natural que sumarían unos 120 Mw. Los grandes gaseoductos que cruzan Ucrania trayendo el gas desde Rusia a Europa y el de Canadá hacia EEUU son dos localizaciones donde el turboexpander aparece frecuentemente alimentando de electricidad a las poblaciones cercanas al trazado del gaseoducto. También se encuentran en Irán y Turquía, en Europa países como Alemania, Italia, Bélgica, Holanda y Suiza son las referencias más frecuentes. (Energy, Bernie Watson (2004): Drew Robb (2007) y Nadav, 2010).

En Europa, la empresa Cryostar ha instalado 7,7 Mw en Italia, 7,8 Mw en Alemania y 5,3 Mw en Holanda. En Canada, en 2012, se realizó el proyecto Sakatoon que incluyó un turboexpander de 1 Mw. (Cryostar)

En Inglaterra, una empresa llamada 2OC incluye en sus proyectos el uso de turboexpanders Como ejemplo, un proyecto en Londres con 3,5 Mwh de potencia. Esta empresa estima que de las 12.500 estaciones de regulación existentes en Reino Unido, en 2.000 localizaciones podrían ser viables los turboexpanders (Mercer, 2010)

4. Resultados

Una vez revisadas las referencias bibliográficas y comerciales de esta tecnología, hemos podido calcular el potencial para la instalación de esta tecnología a nivel mundial. Estos cálculos se han realizado teniendo en cuenta los datos de consumo de gas natural del año 2012 publicados por la Agencia Internacional de la Energía (IEA). Aplicando la regla de que por cada 30.000 Nm^3/h y existiendo un salto de presión mínimo de 2:1 se puede generar 1 Mw con un turboexpander disponible comercialmente (Mansor, 2004). Realizando estos cálculos, se estima que se podrían llegar a producir 124 Twh/año como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3: Consumo de gas natural y generación eléctrica con turboexpanders (TEX)

	Billones m^3	Twh/año con TEX
Mundial	3.719.026	**124,0**
America del Norte	990.269	33,0
Eurasia	676.716	22,6
Europa	675.833	22,5
Asia & Oceanía	653.906	21,8
Oriente Medio	440.845	14,7
America Central y Sur	154.764	5,2
Africa	126.692	4,2

Para entender la magnitud de esta cifra, la podemos comparar con la energía eléctrica producida a nivel mundial en los años 2012, 21.531 Twh y 2013, 22.668 Twh. Es decir, representaría un 0.6% de toda la generación mundial con cero emisiones de CO_2. Este porcentaje podría parecer pequeño, pero si lo comparamos con la energía consumida por un país como España en 2012, 280 Twh supondría el 50% del consumo anual de un país desarrollado sin CO_2 acumulado.

La IEA (IEA, 2012) nos indica que las medias de eficiencia aportan un 38% de reducción de las emisiones, mientras que las energías renovables solo contribuyen un 30% y el almacenamiento del CO_2 en un 14%.

La tecnología de los turboexpanders hay que considerarla en el largo plazo, es decir, la IEA, la ONU y diversas agencias internacionales (Europa, 2012) predicen en distintos escenarios de necesidades futuras de energía que el gas natural en todos los escenarios posibles crece su consumo mundialmente. Este incremento se ve distribuido por regiones, pero es especialmente acusado en China y EEUU debido a la disponibilidad del gas no convencional (shale gas o fracking). (IEA, 2012)

En 1973 se consumían 1.227 bcm a nivel mundial, en 2013 ya se consumen 3.479 bcm. Las predicciones de la IEA establecen que solo China llegará a consumir 545 bcm en 2035 (en 2011 consumió 130 bcm).

Estos grandes volúmenes de gas natural hay que extraerlos, transportarlos y consumirlos y en ese proceso el turboexpander para generación eléctrica puede sin duda llegar a tener un papel importante para contribuir a mejorar la eficiencia del sector de la energía.

Hay que añadir la ventaja que el consumo de agua asociado a la generación eléctrica también se vería reducido, y esto en un planeta en el que al incrementar su población en los próximos años la presión sobre el recurso del agua dulce será más importante no es menospreciable.

En la tabla 4, se listan los principales países donde la implantación de la tecnología de los turboexpanders podría ser más interesante en base a su consumo anual de gas natural.

Tabla 4: Países con gran potencial para la instalación de Turboexpanders

Grupo 1 : 74 Twh/año		Grupo 2: 31,6 Twh/año	
Paises	Twh/año	Paises	Twh/año
EEUU	27,0	México	2,5
Rusia	15,9	UAE	2,5
Irán	5,9	India	2,2
Japón	4,3	Holanda	2,0
China	3,7	Francia	2,0
U.K.	3,7	Ucrania	2,0
Alemania	3,6	Uzbekistán	1,9
Canadá	3,5	Egipto	1,8
Arabia Saudí	3,3	Argentina	1,8
Italia	3,2	Tailandia	1,6
10 paises	**74,0**	Pakistán	1,6
		Indonesia	1,6
		ESPAÑA	1,5
		Turquía	1,5
		Corea del Sur	1,4
		Australia	1,4
		Malasia	1,3
		Argelia	1,2
		18 paises	**31,8**
	Subtotal	**105,8**	

Para poder co-generar estos 124 TWh año, se necesitaría instalar turboexpanders distribuidos por estos países sumando una potencia de unos 14.151 Mw. Esto supone la misma cantidad de proyectos y de inversión, ya que actualmente el coste medio de esta tecnología es de 1 MM€/ Mw.

La generación distribuida aporta una ventaja adicional, y es la reducción en las pérdidas de transporte de la electricidad ya que el centro consumidor estaría obligadamente cerca de la instalación generadora.

La reducción de emisiones de CO_2 anuales se estima en unos 40 MM de toneladas por año.

5. Conclusiones

El aprovechamiento de los saltos de presión para la generación eléctrica ha sido un área de de interés en diversos países a lo largo de los últimos años. Se han conseguido éxitos puntuales de implantación cuando las condiciones de caudal, presión y viabilidad económica lo han permitido, sin embargo, no es una tecnología muy conocida y requiere un estudio profundo tanto desde el punto de vista técnico como económico. No obstante, tiene un futuro prometedor ya que la eficiencia energética necesaria para un desarrollo sostenible y el uso masivo de gas natural provocarán la necesidad de abrir nuevos campos en el ámbito de la generación eléctrica. El desarrollo de esta tecnología así como la ejecución de proyectos

basados en la misma permitirá reducir los costes unitarios de modo que se reducirá el plazo de amortización de las mismas.

En los últimos tres años se ha conseguido identificar más de 40 instalaciones que suman unos 120 Mw instalados contando con la experiencia y solvencia de hasta 22 fabricantes internacionales de estos equipos.

La tendencia creciente en el interés por esta aplicación se debe a diversos factores entre los que destacan:

- Tecnología “sencilla”, fiable y con poco coste de operación y mantenimiento
- Produce energía limpia
- Es una tecnología que va asociada al desarrollo de los gaseoductos
- Ocupa poco espacio
- No necesita una gran inversión (alrededor de 1000 €/Kw)

En definitiva, los turboexpanders son una tecnología no muy implantada pero que aportaría eficiencia en el sector energético, constituyendo una herramienta a considerar en proyectos de instalaciones industriales asociadas al gran consumo de gas natural.

Dependiendo de la aplicación puede aportar unos ingresos económicos por la venta de la electricidad generada, siendo muy recomendable esta forma de producir electricidad sin aumentar las emisiones de CO_2 que tanto preocupan a largo plazo.

6. Referencias

Ardali E.K. & Heybatian E. (2.009). Energy regeneration in natural gas pressure reduction stations by use of gas turbo expander; evaluation of available potential in Iran www.igu.org National Iranian Gas Company.Obtenido el 28 de octubre de 2014 desde http://www.kgu.or.kr/download.php?tb=bbs_017&fn=wgcFinal00399.pdf&rn=wgcFinal00399.pdf.

Bernie Watson, Dresser (2.004); *Pressure into power*; disponible en Web GasNet; http://www.gasnet.com.br/conteudo/2578

Bloch H, Soares C. (2001). *Turboexpanders and process applications*. Boston: Gulf Professional Publishing

Cryostar; disponible en http://www.cryostar.com/web/green-energy-system.php

Drew Robb; (2007) *Harvesting pipeline energy to produce electricity*-Power Engineering; PennEnergy

Energy company web; EXPANDER-GENERATOR SET WITH A RATING OF 5.000 KW Disponible en http://www.energia.com.ua/endga5000.html

Europa. EU2050 *Energy Roadmap* (2012) Disponible en http://ec.europa.eu/energy/en/studies

Hedman, Bruce A. (2.008) *Waste energy recovery opportunities for Interstate natural gas pipelines*; Gulf Coast Clean Energy; Interstate Natural Gas Association of America

Howard C.R. (2.009) Hybrid turboexpander and fuel cell system for power recovery at natural gas pressure reduction stations; Queen’s University (Kingston, Ontario, Canada)

IEA (2012). *Golden Rules for a Golden Age of Gas*. World Energy Outlook.Special Report

on Unconventional Gas. International Energy Agency .Disponible en: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2012/goldenrules/weo2012_goldenrulesreport.pdf

Kowala D. (2.009). *Using the gas pressure potential for electricity generation at pressure reduction stations*. Silesian University of Technology (SUT)

Kostowski W. (2010) *The possibility of energy generation within the conventional natural gas transport system*. Strojarstvo.

Mansoor A. (2.004). Power generation opportunities in Bangladesh from gas pressure reducing stations, 3rd ICECE, International Conference on Electrical and Computer Engineering, Dhaka, Bangladesh

Mercer, Andrew (2.010); *Under pressure: how one company is harvesting clean energy from gas pipes.*

Nadav Enbar y Sam Jaffe, (2.010) B*est practices: Enbridge's approach to greening the natural gas t&d network via hybrid fuel cells*

New Turboexpanders. (n.d.). Obtenido el 23 de octubre de 2014 desde http://www.turboexpanders.com

Poživil, J. (2.004). Use of expansion turbines in natural gas pressure reduction stations. Acta Montanistica Slovaca, Volume 9 (2004), Number 3, pp 258-260.

Rahman M. M. (2.010). Power generation from pressure reduction in the natural gas supply chain in Bangladesh" Journal of Mechanical Engineering, Vol. ME 41, No. 2 Transaction of the Mech. Eng. Div., The Institution of Engineers, Bangladesh, pp 89-95

Seresht R. T., Jalalabadi H.K., Farayand Y. (2010); Retrofit of Tehran city gate station, (C.G.S., NO.2) by using turboexpander. ASME Power Conference, 207-212, 2010

05-004

ENERGY EFFICIENCY PROJECTS : EVALUATION OF TURBOEXPANDERS APPLICATION FOR POWER GENERATION IN SPAIN

Delgado Calin, Gines; Nieto Morote,
Ana UPCT

Spain, over the last 20 years, has progressed economically and has developed a remarkable natural gas transport and distribution system and at the same time a power grid. More than 27.000 Mw of combined cycle power plants were installed. Nowadays, it is time to improve efficiency and yield of industrial installations. Turboexpander with an electrical generator is a proven technology that can be installed at locations with large pressure drops to produce power. This paper shows preliminary feasibility analysis of such application in Spain.

Keywords: *efficiency; generation; feasibility; power plants;projects;*

PROYECTOS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: APLICACIONES DE LOS TURBOEXPANDERS EN ESPAÑA PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA

España, en los últimos 20 años, y en paralelo a su desarrollo económico ha ido implementando un sistema gasista y un parque eléctrico donde se han instalado más de 27.000 Mw en ciclos combinados. Se trata ahora de mejorar la eficiencia y los rendimientos de estas instalaciones. El turboexpander acoplado a un generador eléctrico es una tecnología que puede aprovechar los saltos de presión que se producen en el transporte y distribución de la red gasista. Esta ponencia muestra un análisis inicial de la viabilidad de esta aplicación en España.

Palabras clave: *eficiencia; proyectos; viabilidad; generación; centrales eléctricas*

Correspondencia: Ginés Delgado gines.delgado@upct.es

1. Introducción

El objetivo de este trabajo es mostrar la viabilidad de la aplicación de turbinas de expansión o turboexpanders para la recuperación de la energía del transporte del gas natural en energía eléctrica aprovechando los saltos de presión que se producen en el sistema.

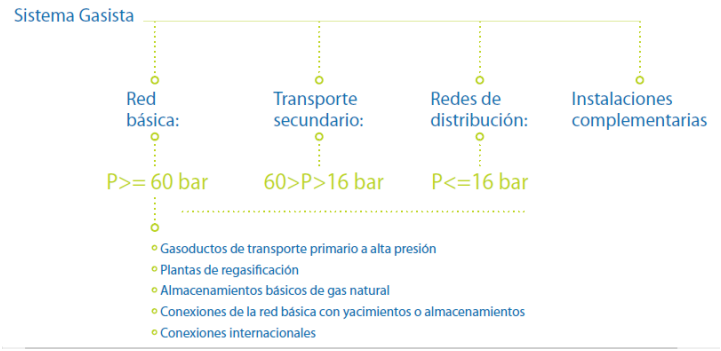
La cadena del suministro de gas natural abarca desde la extracción hasta su transporte (en barcos o gaseoductos) y distribución. El sistema de transporte de gas natural en España se ilustra en la Figura 1.

Figura 1: Infraestructuras de gas natural. Fuente: Enagás

El gas natural entra a España por conexiones internacionales de gaseoductos o bien por plantas regasificadoras en puertos donde descargan los buques metaneros. El gas natural es transportado por todo el territorio nacional mediante tubería en condiciones de alta presión. Las infraestructuras en cifras suponen 9.540 km de gaseoductos de alta presión, 7 plantas de regasificación, 3 almacenamientos subterráneos, 4 conexiones internacionales (Portugal, Francia m Marruecos y Argelia) y 1 centro principal de control desde donde se coordina el funcionamiento del sistema gasista español. En esta red nacional, la empresa Enagás opera y mantiene unas 18 estaciones de compresión y dispone de unas 433 Estaciones de Regulación y/o Medida.

El rango de presiones típicos en un gasoducto de transporte es superior a 60 bares en la red básica, de 60 a 16 bares en la red de transporte secundario, y por debajo de 16 bar en la red de distribución, tal y como se muestra en la Figura 2; con una disposición simplificada de una red de transporte y distribución de gas natural.

Figura 2: Red de transporte y distribución del gas natural. Fuente Enagás



Los saltos de presión en la red de transporte del gas natural se producen normalmente en las estaciones de regulación mediante válvulas que tienen como función reducir y estabilizar la presión de suministro. El turboexpander instalado en paralelo a estas válvulas puede realizar la misma función de regulación de presión, pero aprovechando parte de la energía que contiene el gas precisamente por tener una presión y un caudal (Bloch & Soares, 2001).

La generación de electricidad tanto en grandes como en pequeños saltos de presión del gas natural ha ido acumulando cierto éxito internacional y se han conseguido instalaciones fiables con potencias que alcanzan hasta los 15 Mw (Navid et al, 2012)

Los primeros ejemplos que más frecuentemente se mencionan son los de Italia (Mirandola y Macor, 1988), y EEUU (Hedman, 2008) se instalaron en San Diego (California), Memphis (Tennessee) en 1983; Stockbridge (Georgia) en 1984 y Hamilton (New Jersey) en 1987. La de California, un turboexpander instalado en una estación de regulación a puertas de la ciudad de San Diego, generaba 260 kW a partir de un caudal de 13.000 m^3/h, en la ciudad de Hamilton, New Jersey, generan 2.800 kW funcionando con un caudal de 42.400 m^3/h.

Hemos revisado otras referencias como son los proyectos en Canadá (Howard, 2009) y Bangladesh (Mahbubur, 2010) que nos han permitido adquirir los conocimientos para realizar los cálculos necesarios. La potencia generable en un turboexpander es proporcional al caudal multiplicado por la diferencia de las entalpias de entrada y salida del gas natural. Estas entalpias dependerán de la presión y temperatura del gas en su proceso de expansión.

2.- Casos de estudio de aplicación de los turboexpanders

Para abordar sistemáticamente la evaluación de esta aplicación en España debemos inicialmente comprender los distintos escenarios donde se podrían situar estas máquinas. Para ello revisamos primero los distintos casos donde dependiendo del salto de presión y del caudal (cantidad y estabilidad) nos permite hacer una primera estimación de la potencia eléctrica que se puede generar.

Vistos los antecedentes de la aplicación y las posibles disposiciones, la aplicación de los turboexpanders en España sería viable técnicamente en 2 escenarios: en las estaciones de regulación a puertas de ciudades y en instalaciones industriales. Las ciudades pueden ser de caudal muy variable, y ejemplo de industrias consumidoras de gran volumen de gas natural son la siderurgia, la cerámica y los ciclos combinados.

Escenario 1: Estación de regulación y medida a puertas de ciudades

En la tabla 1, de elaboración propia, se muestran los datos más significativos de las posibles estaciones de regulación y medida que podríamos encontrar a puertas de una ciudad.

Tabla 1. Cálculo de energía eléctrica en función de caudales de gas

	Ciudades	
	Gran caudal	Caudal medio
Presión de entrada (bares)	72	
Presión de salida (bares)	16	
Caudal de diseño (Nm3/h)	30.260	11.050
Caudal medio (Nm3/h)	15.932	5.818
Potencia eléctrica (kW)	636	232
Operación (horas)	8.760	
Generación (Mwh/año)	5.571	2.032

El tiempo de operación de este tipo de estación abarca todas las horas de un año, sin embargo, el consumo instantáneo de gas para uso doméstico es muy variable, teniendo lógicamente más demanda en calefacción en los meses fríos, así como picos horarios debidos los hábitos familiares y comerciales (cocina, agua caliente...).
Como cabía de esperar, para un gran caudal, un gran salto de presión y una disponibilidad absoluta de la instalación la electricidad que podemos generar a partir de una turbina de expansión es muy elevada. Turbinas de este tipo funcionando en instalaciones de estas características se pueden encontrar en países como Ucrania, Rusia, Estados Unidos y Canadá.

Escenario 2: Industrias: Siderurgia, Cerámica y Ciclo Combinado

Para el caso de instalaciones industriales, en la tabla 4 se muestran las datos característicos de las posibles estaciones de regulación y medida que hay instaladas.

Tabla 2. Cálculo de energía eléctrica en función de caudales de gas de industrias

	Industrias			
	Siderurgia	Cerámica	Ciclo Combinado 20%	Ciclo Combinado 80%
Presión de entrada (bares)	72	16	72	72
Presión de salida (bares)	16	0.4	35	35
Caudal de diseño (Nm^3/h)	7.465	591	50.000	50.000
Potencia eléctrica (kW)	387	25	1.000	1.000
Operación (horas)	6.264	6.936	1.752	7.008
Generación (Mwh/año)	2.424	173	1.752	7.008

La siderurgia es un tipo de industria que demanda un caudal de gas medio, por lo que se abastece de un gasoducto de transporte, para alimentar los hornos de fundición en la fabricación de productos básicos de hierro, acero y ferroaleaciones. Además, la demanda permanece constante a lo largo de toda la jornada laboral, lo que permite la selección de una turbina ajustada en el punto óptimo de funcionamiento para asegurar así un rendimiento máximo del sistema. La operación típica de la fábrica es de 24 horas durante 5 días a la semana. Este tipo de instalación es una buena opción ya que suele tener también una acometida eléctrica de media o de alta tensión donde poder conectar el generador eléctrico acoplado al turboexpander, no solo para consumo interno, sino para la venta de electricidad a la red.

En la industria cerámica, el caudal demandado es significativamente menor que una siderurgia, pero la demanda se mantiene constante, por lo que la acometida de gas natural parte de un gasoducto de distribución a baja presión. Para un salto de presión y caudal menor que el anterior, aun con unas horas de operación elevadas, no resulta muy atractivo en este tipo de industria el uso individualizado de turbinas de expansión de gas natural.

En el ciclo combinado, el salto de presión y un caudal muy elevado hacen que la energía extraída del gas para generación de electricidad sea muy elevada. En cambio, la baja operación anual hace que disminuya el cómputo de la electricidad generada a lo largo de un año. Sin embargo, en los casos en que la central incremente su régimen de operación, es evidentemente el escenario más interesante. En este tipo de centrales, se dispone de instalaciones (eléctricas, gasistas y auxiliares) que pueden reducir bastante los gastos de inversión inicial. La disponibilidad de equipo de operación y mantenimiento ya incorporado en la central, hace que los costes de explotación sea marginales comparados con otras aplicaciones industriales.

Hay otros escenarios industriales interesantes de estudio como pueden ser las refinerías y todos aquellos complejos petroquímicos que sean grandes consumidores de gas natural y se conecten a la red de transporte y distribución. De todas formas, serían equivalentes en caudales y presión a los presentados anteriormente

3.- Estudios de viabilidad económica de algunas aplicaciones de turboexpanders en regulación de presión de gas natural

De los escenarios tipo evaluados, hemos realizado estudios preliminares de viabilidad económica en el caso de una industria siderúrgica y de un ciclo combinado.

Caso A: Empresa siderúrgica

Con unos ingresos por venta de electricidad calculados de 121.200 €/año; producto de vender la electricidad a 50 €/MWh, con una generación de unos 387 kWh durante 6.264 horas al año.

Los costes de operación principales (OPEX) serán los correspondientes al consumo de gas natural y el mantenimiento. Se han estimado en unos 70.000 €/año.

La inversión inicial corresponde al grupo turbina-generador, la caldera para el precalentamiento de gas, y las instalaciones necesarias para la evacuación de la electricidad generada, según el presupuesto calculado asciende a 415.000 €.

El VAN se hace cero una vez han trascurrido 8 años y medio de la puesta en servicio de la instalación, esta es la fecha en la cual hemos recuperado toda la inversión realizada. Siendo la Tasa Interna de Rentabilidad (T.I.R.) a 10 años de un 7,4%.

Caso B: Ciclos combinados

En función del tamaño de la instalación: 400 MW, 800 MW y 1200 MW. El coste de la inversión inicial seria de 1, 2 y 2,5 MM € respectivamente para una potencia de producción de 1, 2 y 3 Mw.

Tabla 3: Ingresos en Ciclos Combinados de 400,800 y 1200 Mw

	400 Mw	**800 Mw**	**1200 Mw**
MES	Ingresos (€)	Ingresos (€)	Ingresos (€)
Julio	18.195,60	36.391,20	54.586,80
Agosto	20.817,37	41.634,74	62.452,11
Diciembre	19.632,87	39.265,74	58.898,61
Enero	20.149,29	40.298,58	60.447,87
Febrero	20.502,50	41.005,00	61.507,50
Total	**99.297,63**	**198.595,26**	**297.892,89**

En los tres casos resumidos en la tabla 3, hemos supuesto una generación baja siguiendo la tendencia de los últimos 2 años publicada por REE para los ciclos combinados en España, con una producción eficiente de 5 meses al año, 3 en invierno y 2 de verano, con un total de un 20% de las horas del año y un precio medio de 50 €/ Mwh consiguiendo las siguientes retornos:

-Instalación de 400 Mw: Es capaz de producir 1 MWh y generaría un beneficio de unos 100.000 € / año, y se recuperaría la inversión en 9 años.
-Instalación de 800 Mw: Para una producción de 2 MWh el beneficio total sería de unos 200.000 €/año, la inversión se recuperaría en 8 años.

-Instalación de 1200 Mw: Para una producción de 3 MWh el beneficio total sería de unos 300.000 €/año, la recuperación de la inversión ocurre en 7 años.

Lógicamente, para precisar mejor el retorno de la inversión habría que estudiar cada caso en detalle viendo el perfil horario de generación y realizar el estudio a largo plazo con una actualización de la previsión de generación en los próximos años. También sería necesario usar una previsión de precios de venta de la electricidad. Al disponer España actualmente de más de 27.000 Mw en ciclos combinados y pudiendo generarse 1 Mw por cada 400 Mw instalados, teóricamente disponemos en España de la posibilidad de realizar aproximadamente unos 60 proyectos de instalación de turboexpander en ciclos combinados que los haría todavía más eficientes al no desperdiciar el salto de presión del gas desde el gaseoducto a las turbinas.

4 .- Conclusiones

En base a los resultados que hemos obtenido, podemos decir que los factores más importantes para la viabilidad económica de una aplicación de generación eléctrica con turboexpander son los siguientes:

Costes de capital
Los equipos principales son el turboexpansor y el generador y suponen el 80% de los costes totales. También deben tenerse en cuenta la necesidad de equipos auxiliares como una pequeña caldera de agua como precalentador, intercambiador de calor, tuberías, controles, así como los gastos generales de ingeniería, instalación y mantenimiento. Dependiendo del caso, el coste puede oscilar entre los 400€ a 1.800€ por kW instalado. El menor coste por kW se da para las instalaciones de mayor potencia eléctrica generada. El coste de la ingeniería no es despreciable puesto que las instalaciones son muy específicas y cada caso exige un esfuerzo de diseño significativo.

Costes de funcionamiento
Las instalaciones de turboexpanders para generación de electricidad a puertas de la ciudad tendrán un coste significativamente más alto que los costes de operación de las estaciones reguladoras. El coste más alto es el combustible requerido para el precalentamiento del gas a la entrada de la turbina de expansión. También se puede aceptar la suposición que los costes de operación y mantenimiento de estos sistemas serían similares a los costes de operación y mantenimiento de los sistemas de las estaciones de compresión, sobre una base de 0,001 a 0,005 por kWh. Sin embargo en un ciclo combinado, estos costes no son relevantes pues los absorbe el equipo de operación y mantenimiento de la central.

Ingresos por venta de energía
El precio de venta futuro del mercado eléctrico es el factor más importante y más difícil de predecir con precisión para determinar la rentabilidad del proyecto. El ingreso total también dependerá de la cantidad de energía generada que a su vez depende de varios factores: velocidad de flujo y relación de presión. Las horas de funcionamiento anual que multiplican cada par de datos de presión y caudal, dependerán del régimen de producción de la instalación que es muy distinto de un caso a otro y depende del perfil de consumo del gas natural.

Relación de presión
El potencial de recuperación de energía es proporcional a la relación de presión de entrada y salida. Dependiendo del fabricante, se necesita un salto de presión mínimo y máximo que influirá en la selección del diseño de la turbina.

Caudal

La potencia de salida también depende del caudal. En las estaciones de regulación de las ciudades, el caudal puede oscilar mucho debido por ejemplo a los cambios de temperatura por el uso en calefacción. Pero incluso en el mismo día puede oscilar y presentar horas valle y horas pico debido a la fluctuación en la demanda diaria y horaria que generan el uso doméstico y comercial. En este caso, lo más sensato será instalar turboexpanders en paralelo que vayan absorbiendo distintos rangos de caudal.

Disponibilidad de la instalación

La disponibilidad de la instalación es uno de los factores determinantes para determinar la rentabilidad de la inversión. Ya que cuanto mayor sea la disponibilidad de funcionamiento del turboexpander, mayor energía generara produciendo por consiguiente unos mayores ingresos por electricidad. Instalaciones con grandes potencias de generación pueden ser menos rentables, incluso inviables, que otras con menor potencia de generación pero que estén disponibles un mayor número de horas anualmente.

5. - Bibliografía.

Bloch H, Soares C. (2001). *Turboexpanders and process applications*. Boston: Gulf Professional Publishing

Cryostar; disponible en http://www.cryostar.com/web/green-energy-system.php

Howard Clifford, Robert. (2009) “Hybrid turboexpander and fuel cell system for power recovery at natural gas pressure reduction stations.” Queen’s University Kingston, Ontario, Canadá

Hedman, Bruce A. (2.008) *Waste energy recovery opportunities for Interstate natural gas pipelines*; Gulf Coast Clean Energy; Interstate Natural Gas Association of America

Navid Zehtabiyan, Rezaie y Majid Saffar-Avval.(2012) *Feasibility study of turbo expander Installation in city gate station*. The 25th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization and Simulation of Energy Conversion Systems and Processes. Perugia, Italia. Volumen 4 Pág. 47-55. Firenze University Press.

Mahbubur Rahmanm, Mohammed. (2010) *Power generation pressure reduction in the natural gas supply chain in Bangladesh.* Journal of Mechanical Engineering, Vol. ME 41, No. 2, Transaction of the Mech. Eng. Div., The Institution of Engineers, Bangladesh

Mirandola, A. y Macor,A (1988) *Experimental Analysis of an Energy recovery Plant by expansion of Natural Gas*, Proc. Of the 23rd Intersociety Energy Conversion Enginneering Conference. Vol 4, pp33-38, Denver -Colorado

05-005

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC PLANT WITH USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Ferrero Bermejo, Jesús; Gómez Fernández, Juan Francisco; Crespo Márquez, Adolfo
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla, Universidad de Sevilla

The scope of this project is obtaining an ideal electrical power generation model based on artificial neural networks with back-propagation, of a 6,1 MWp photovoltaic power plant located in Cordoba (Spain) operating since september of 2008. The aforementioned model is used with several objectives focusing in efficient energy improvement. With this aim in mind, a critical analysis and warning settlement policy in a SCADA system are developed, in a way that it is possible to anticipate the failure event, comparing the output of the model with the actual power generation. It has been tested the methodology on an specific failure mode to analyze the goodness of the model, reaching a 1,8 % improvement in electrical power production.

Keywords: *energy Efficiency; renewable energy; neural Networks*

MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA PLANTA FOTOVOLTÁICA CON EL USO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES.

El objeto del presente Proyecto consiste en la obtención del modelo ideal de Producción de una Planta (en ausencia de Fallos) Fotovoltaica de 6,1 MW en Producción desde Septiembre del 2008, ubicada en la provincia de Córdoba. Para la Obtención del Modelo Ideal de Producción nos basamos en la utilización de Redes Neuronales Artificiales, en concreto la Red Backpropagation con variables meteorológicas y variables que controlan los activos. Dicho modelo es utilizado para la obtención de diversos objetivos, de los cuáles nos centramos en la mejora de la eficiencia energética de la instalación objeto de estudio. Para ello definimos un análisis de criticidad y una condición de alarma a implementar en el Sistema de Monitorización de la Planta, de modo que nos permita anticiparnos al fallo con la detección temprana de la degradación en la producción, a través de la comparación del Modelo Ideal obtenido con la producción real. Definimos una metodología para la obtención de fallos con ciertas premisas, con la que finalmente verificamos a través de un fallo particular su eficacia, obteniendo en este caso concreto una mejora estimada en la producción de un 1,8% que dado el volumen de inversión es una cantidad muy considerable.

Palabras clave: *Eficiencia Energética; Energías Renovables; Redes Neuronales*

Correspondencia: Jesús Ferrero Bermejo jesus.ferrero@magtel.es

Agradecimientos: A mi familia. A mis tutores.

1. Contenido.

1.1 Introducción.

El mantenimiento de cualquier equipo cada día cobra más importancia en las empresas, pues todas ellas están orientadas a ofrecer servicios a clientes. No solo es importante el hecho de que un activo tenga una larga durabilidad para amortizar su inversión, sino que cobra mucha más importancia el hecho de que no se produzcan averías y que funcionen a pleno rendimiento en todo momento.

Ello nos lleva a considerar no solo los mantenimientos clásicos de equipos sino que asume una especial relevancia el prevenir fallos, de ahí el auge dentro del mantenimiento del uso de técnicas predictivas que eviten este tipo de paradas o cortes de servicios tan costosos. Por tanto sería muy interesante el poder conocer la predicción futura de producción de dicha empresa sea el producto final que sea. En el presente trabajo pretendemos conocer la predicción de producción de Energía Eléctrica de una planta fotovoltaica de 6,1 Mw ubicada en el término municipal de Fuente Palmera, provincia de Córdoba.

El Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) es la metodología más utilizada para estudiar los programas de mantenimientos de activos en un contexto operacional dado (Moubray 1997), la cuantificación de los riesgos (Rausand y Hoyland 2004, Wilson 1986) y la evaluación de las medidas correctivas para detectar, evitar o prevenir fallos (Campbell y Jardine 2001). Atribuibles a las condiciones de funcionamiento son las condiciones del contorno y los factores ambientales junto con los de la propia operación. Igualmente inciden en los posibles fallos los defectos propios ocultos de los activos (Crespo 2007; Pham y Wang, 1996).

Para la resolución del problema inicialmente se plantean dos posibles escenarios.

El primero de ellos consiste en la predicción de la producción a través de un modelo tradicional de regresión estadística, el cual nos proporcionaría una ecuación matemática. Dicho método es descartado al no existir relación entre las variables de entrada y salida del modelo planteado.

El segundo de ellos consiste en la resolución del problema a través del uso de Redes Neuronales Artificiales. Esta es la técnica seleccionada para la resolución del caso en la presente comunicación. La arquitectura de las RNA está compuesta por diferentes capas (entrada, ocultas y salida) cuya principal característica es la capacidad de procesar la información en entornos no lineales, con la capacidad de aprendizaje y generalización (Basheer y Hajmeer 2000; Zhang et al 1998). Por ello, las RNA son muy adecuadas para la resolución de problemas de difícil solución con falta de suficientes datos para ello (Malcolm et al. 1999, Curry et al. 2000, Kuo 2011). La aplicación de estas técnicas de utilización de RNA en el sector de las energías renovables, y más en concretos en el sector de los sistemas fotovoltaicos han estado desarrollándose continuamente en los últimos años (Mellit y Kalogirou 2008; Kalogirou 2001):

- Meteorological data forecasting (Mellit et al. 2005; Yacef 2012).
- PV systems modelling, simulation and control (Hiyama 1997).

1.2 Caso de Estudio

El grupo de empresas Magtel al cual pertenezco, es propietario entre otras de una Instalación Fotovoltaica de 6,1Mw de potencia nominal ubicada en el término municipal de Fuente Palmera, provincia de Córdoba. Dicha instalación se encuentra a pleno rendimiento desde Septiembre del año 2008, lo que implica que disponemos de suficiente información y datos recogidos para poder tener capacidad de analizarlos. Esta es la base fundamental para poder realizar el estudio objeto del presente trabajo. Toda la información recogida queda registrada en el Scada de la Instalación Fotovoltaica, del que hemos obtenido todos los datos necesarios de las variables analizadas.

Figura 1. Imagen Aérea Instalación Fotovoltaica objeto de Estudio.

La Instalación Fotovoltaica tal y como hemos indicado tiene una potencia nominal de 6,1 Mw que se encuentran repartidos en huertos solares de 100 Kw. La planta dispone de un total de 37.180 paneles fotovoltaicos de diferentes potencias configurados en función de cada uno de dichos huertos.

Cada uno de estos huertos solares está configurado en torno a un inversor, el cual convierte la corriente continua en alterna para finalmente poder verter la energía generada en un centro de transformación que en este caso ya sería propiedad de la compañía eléctrica y es en el que se mide la energía generada con contadores por cada uno de los huertos solares. Un centro de transformación recoge la energía de un máximo de 5 inversores, siendo la configuración estándar de uno de esos centros de transformación la que se describe a continuación:

Tabla 1: Configuración Estándar de un Centro de Transformación

CT	ID	KWh	Ref Módulo	Nº Módulos	Nº String	Módulos x String
15	A8-1	100	IS-220	528	44	12
	A8-2	100	IS-220	528	44	12
	A8-3	100	IS-220	528	44	12
	A8-4	100	IS-220	528	44	12
	A8-5	100	IS-220	528	44	12

Dichos huertos fotovoltaicos generan anualmente (datos del año 2012) una media de 210.000 Kwh/año según radiación solar de la zona en la que se encuentra y considerando la degradación de dichas instalaciones. El precio de venta de un Kwh es de 0.4886 € (como dato de referencia para el estudio pues la prima depende del año), lo que supone una generación económica anual de cada uno de estos huertos de 100 Kw de 102.606 €, lo que multiplicado por 61 instalaciones de esta Planta en concreto supone una generación en venta de energía anual de 6.258.966 €.

1.3 Objetivos.

El Objetivo general del estudio es del PREDECIR LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA, obteniendo un modelo ideal de producción. El modelo ideal de producción será obtenido utilizando como datos para el aprendizaje de la Red Neuronal Artificial seleccionada los datos históricos de producción de la planta. Existen trabajos previos a este trabajo en los que se intenta pronosticar la producción de la energía eléctrica generada por una instalación fotovoltaica a través de RNA (Ashraf y Chandra 2004; Mellit y Shaari 2009), sin embargo en este Proyecto se describe un nuevo algoritmo para la detección temprana de fallos.

Para ello centraremos el estudio en un huerto solar de 100 kw tipo en el que existen sensores instalados, que nos han permitido obtener en el Scada todos los valores de las variables de entrada del modelo que posteriormente definiremos. El modelo de producción obtenido se considera ideal debido a que es un modelo de producción en ausencia de fallo.

El objetivo específico es la utilización del Modelo Ideal de Producción para la obtención de conclusiones particulares que permitan obtener mejoras en la producción de la planta fotovoltaica. En sí la búsqueda de dichos objetivos es la parte más interesante, en el sentido de que es una nueva aportación al conocimiento a través del uso de técnicas novedosas.

Algunos de los objetivos específicos que podríamos obtener a través del conocimiento del Modelo Ideal de Producción son los siguientes: Mejora de la Eficiencia Energética, Generalización a cualquier Instalación Fotovoltaica, Generalización del Modelo a multitud de procesos industriales, Creación de Algoritmo para la detección de Fallos con degradación en la producción previa a la detección del fallo por el Scada, Aplicación en la mejora del Mantenimiento, Mejora del Modelo de Negocio con la previsión de resultados económicos según el modelo Ideal de Producción, Mejora económica al obtener mayor producción, Anticipación a fallos, Validación de la detección de alarmas del sistema de monitorización de la Planta.

Puesto que los objetivos específicos son muchos, nos vamos a centrar en uno de ellos a través del cual se pueden deducir otros de los considerados. El Objetivo específico en el que nos vamos a centrar es en el de la MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA PLANTA. Para ello compararemos el Modelo Ideal de Producción obtenido con la producción real lo que nos permitirá detectar desviaciones significativas en la producción para poder anticiparnos a fallos en la planta, con la generación de alarmas que activarán al personal de mantenimiento para la resolución de dicho fallo. Ello evitará la pérdida de producción en un número determinado de horas según el fallo lo que redundará en una mayor generación económica.

Finalmente, podremos modelar fallos y en concreto nos centraremos en uno de ellos a modo de ejemplo genérico, obteniendo datos concretos sobre ganancia en la producción con la implantación de este método.

La detección temprana de fallos supondrá un adelanto en la detección del fallo sobre la alarma que produce el sistema de monitorización de la planta. Por ello todo fallo detectado en el mismo momento por el Scada y por nuestro sistema es descartado para el estudio, puesto que no supondría ventaja alguna sobre el sistema utilizado en la actualidad. La dificultad de este apartado radica por tanto en poder detectar algún fallo que produzca pérdida en la producción de al menos un Huerto Solar (100 Kw) sin que por ello se produzca la alarma en el Scada hasta pasado al menos algún tiempo considerable (en nuestro caso consideramos dicho período como un mínimo de 24 horas de anticipación), de modo que efectivamente con la detección temprana de dicha caída en la producción detectemos anomalías y por tanto podamos reparar con la ganancia de tiempo y producción.

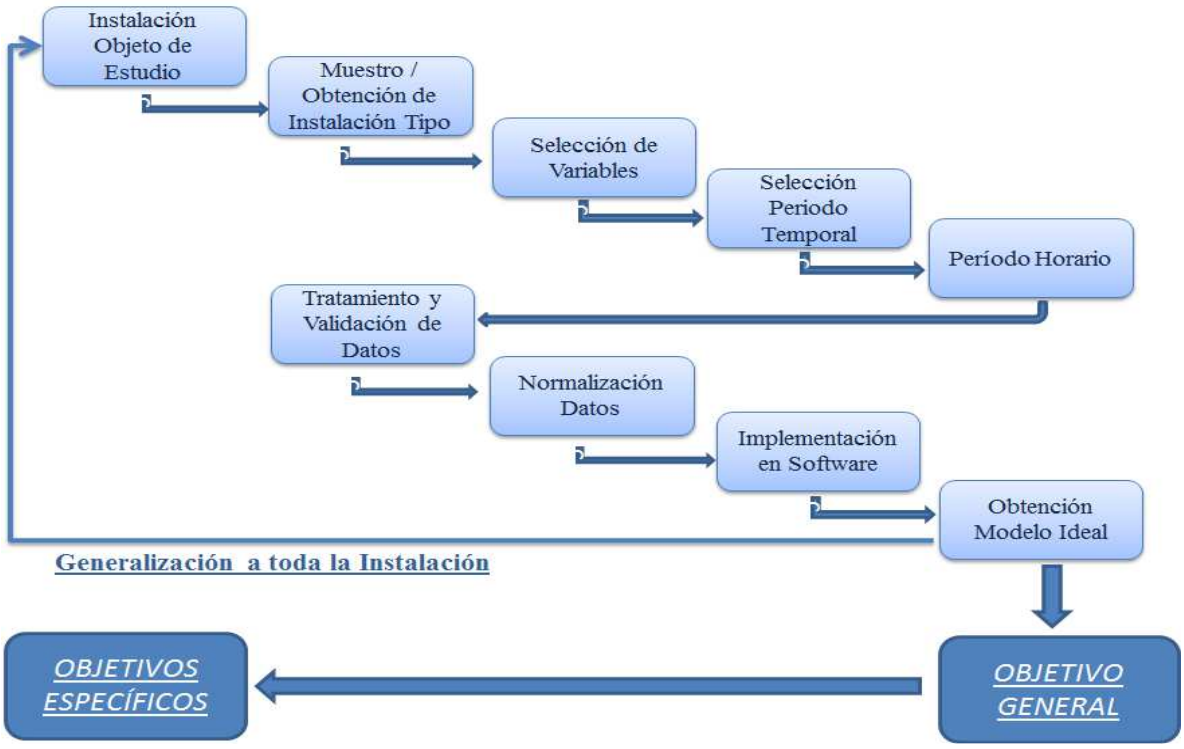
El fallo no sólo debe ser seleccionado sino que además para darlo como válido tendrá que producirse en diversos inversores y en diferentes ocasiones puesto que un fallo puntual no volverá a repetirse y por tanto tampoco podrá volver a ser detectado. Se trata de que la conclusión obtenida sea implantada de modo real en la Instalación Fotovoltaica con objeto de que una vez probado en dicha Instalación y verificada su validez el estudio sea ampliado a todas las plantas que actualmente son mantenidas por la empresa.

Seleccionado al menos uno de esos fallos podremos modelarlo, de modo que suponga para nuestro sistema una mejora en la eficiencia de la producción. Finalmente con el sistema de alarma que definiremos, de producirse la alarma y su correspondiente resolución de la avería a través de los técnicos de mantenimiento, podremos garantizar que se mejora la producción al adelantarnos al fallo pero no podremos concluir que sea un fallo determinado el que iba a producirse con la alarma producida con el sistema implantado

1.4 Metodología.

En la siguiente figura expresamos la metodología empleada, incluyendo todos los pasos necesarios para la obtención de los objetivos planteados.

Figura 2.Metodología



Una vez obtenidos los datos y tratados, la implementación en el software para la obtención del modelo ideal de producción se realiza utilizando Las Redes Neuronales Artificiales, las cuales se adaptan bien a ciertos patrones de comportamiento que no son modelables por otras técnicas matemáticas debido a la variación existente entre las variables de entrada y las variables de salida. Además son modelos adaptables en función del entrenamiento que hace que la red mejore y se adapte mucho mejor, y en nuestro caso particular muy aplicable como veremos en los resultados obtenidos, entre otros porque tenemos un importante histórico de datos filtrados que permite a la red disponer de una importante entrada de valores para que esté bien entrenada.

Dentro del conjunto de RNA existentes, la red seleccionada e implementada en el software es la Red Backpropagation (Hastie et al 2001; Rutkowski 2008; Lapedes y Farber 1987) debido a que es la red más adecuada para la predicción de valores en función de datos históricos conocidos, no siendo más que un mecanismo de aprendizaje de una Red Perceptron Multicapa (Wervos 1974; Rumelhart et al 1986;).

Una vez seleccionada la red es entrenada con el conjunto de datos seleccionados y tratados. Se pretende que el valor o salida obtenida con la red sea lo más cercana posible a la salida real o deseada, por lo que dichas diferencias son las que marcan la parada del algoritmo de entrenamiento, ya que los métodos utilizados son heurísticos al no existir uno óptimo. El método utilizado para la minimización del Error Cuadrático Medio es el método de Cuasi_Newton al que le incluiremos un sumando de penalización para evitar el sobreajuste.

$$\text{ECM} + \text{Penalización} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(T_k - Z_k)^2 + \gamma\sum_{i=1}^{M} w_i^2 \qquad (1)$$

Siendo T_k la salida real o deseada, Z_k la salida calculada y w_{ji}^0 el peso de la unión de la neurona i-ésima de la red neuronal con la neurona j-ésima.

Se dice que existe sobreajuste en la red cuando el ajuste es tan bueno que perdemos capacidad de generalización. Este fenómeno ocurre habitualmente cuando estamos intentando simular un patrón de comportamiento con muy pocos valores, por lo que la red lo que intenta es ajustar tanto que se aprende de memoria el patrón repitiendo los valores en las circunstancias futuras análogas. De ahí el perder generalización y el incluir el factor de penalización.

En el caso de que el conjunto de datos del que dispongamos para entrenar la red sea lo suficientemente grande y la variabilidad entre los resultados o salidas sea lo suficientemente importante, lo lógico es que el factor de penalización sea cero a la hora de resolver el problema puesto que dicho patrón no es posible memorizarlo al existir disparidad de resultados. En el caso particular de estudio es lo que sucederá como veremos más adelante. Existen varios métodos para la minimización del ECM, ninguno de ellos obtiene con garantías el mínimo global por lo que dentro de los más reconocidos el motivo por el cual he seleccionado este método no es otro que el que utiliza el software elegido para la resolución del algoritmo. Es decir, utilizamos el método de Cuasi-Newton con factor de penalización y software R.

Con la Red Neuronal Backpropagation y el algoritmo de minimización del error cuadrático medio de cuasi-newton al que aplicaremos en el software R un coeficiente de penalización para evitar los sobreajustes, vamos a entrenar la red en ausencia de fallos obteniendo un modelo ideal de producción. Dicho modelo Ideal es el Objetivo General que pretendíamos alcanzar en el presente estudio, modelo que utilizaremos en la siguiente fase con objeto de mejorar la eficiencia en la producción de la planta, como el principal de los objetivos específicos que pretendemos alcanzar. El modelo ideal de producción vendrá determinado por la Red Neuronal Artificial, la cual

contendrá exactamente un número de células concreto en la capa oculta así como conoceremos los pesos de todas las conexiones existentes entre todas las neuronas de las diferentes capas que configurarán la red. Dicho modelo quedará almacenado para posteriormente predecir valores de producción en función de los valores de entrada que le demos a la red.

1.5 Datos.

Expuesta la metodología para la solución del problema planteado, a continuación aportamos los datos considerados para el entrenamiento de la red.

Instalación Objeto de Estudio: Planta Fotovoltaica 6.1 Mw en la provincia de Córdoba.

Instalación Tipo para Estudio: Inversor 5 del Centro de Transformación 15.

Variables de Entrada: Radiación Global Horizontal, Temperatura Ambiente, Temperatura Interna del Inversor (control de activos), Horas de Funcionamiento acumuladas (control de la degradación).

Periodo Temporal: datos de producción de Junio del 2011 a Julio de 2012. Es decir, tratamos 395 días para disponer de un ciclo completo de producción repitiendo el primer mes del siguiente año. Lo que supone que para el entrenamiento de la red disponemos de 3950 valores por cada variable de entrada, valor suficientemente importante para que la red esté muy bien entrenada. Nos aporta garantía a la hora de obtener el modelo ideal de producción, aunque el manejo y tratamiento de datos es muy considerable y pesado de inicio.

Periodo Horario: datos de producción horaria desde las 8:00 h hasta las 17:00 h. Es decir, por cada variable de entrada en la red disponemos de 10 valores diarios. Se ha considerado dicho horario con objeto de disponer de una producción importante en todas las horas independientemente de la época del año. No tendría sentido por ejemplo considerar las 20:00 h puesto que lo lógico es que en el periodo estival la producción sea 0. El esfuerzo del proyecto va encaminado en optimizar la producción, esfuerzo muy importante que no sería acorde para la mejora de un número menor de Kw.

De dichos datos consideramos el 75% de la red para entrenamiento y el 25% para testeo.

Posteriormente los datos son tratados, validados y finalmente normalizados directamente en el software implementado para la obtención del modelo ideal de producción, que en nuestro caso particular el software utilizado ha sido R.

El periodo para la comparación debido al conocimiento de la existencia del fallo de estudio, ha sido Septiembre y Octubre del 2012. De ahí que el entrenamiento se haya realizado en fechas previas para que la red esté entrenada según el modelo más adaptado o próximo a la fecha de estudio. Lo ideal de la red es tenerla entrenada del modo más continuo posible, algo que con la implementación creada es muy sencillo de realizar.

Los datos seleccionados son en un comportamiento normal de la planta y por tanto en ausencia de fallos. Debido a que han existido fallos en el período considerado, se ha realizado un filtrado previo de todos los datos de estudio. Caso de existir un fallo se ha sustituido por un valor en condiciones normales considerando la media de producción entre los dos días anteriores y los dos días posteriores a dicha producción.

Para la obtención de los valores de las temperaturas se obtienen cuatro valores cada hora, considerando en el estudio la media horaria de dichos valores.

La escala para la temperatura son grados Kelvin. Se ha realizado el entrenamiento y comparación con grados centígrados obteniendo peores resultados. Al ser valores

mayores existe mayor diferencia y por tanto mayor sensibilidad detectada en los cambios.

1.5 Resultados.

El primero de los objetivos planteados ha sido el de la obtención del Modelo Ideal de Producción, el cual viene determinado tras el entrenamiento de la Red Neuronal por una topología óptima y unos valores de los pesos que unen las diferentes neuronas de las diferentes capas. A continuación exponemos los datos obtenidos con las técnicas empleadas así como la arquitectura óptima de la red seleccionada y un gráfico del entrenamiento de la red que denota la proximidad de los valores obtenidos con los valores deseados.

Técnica de Resolución: RNA

Red: Backpropatgation

Algoritmo de Minimización del ECM: Cuasi_Newton con Penalización.

Software: R

Iteraciones para el Entrenamiento: 1000

Valores para el Entrenamiento: 75% del conjunto

Valores para el Testeo: 25%

ECM: 75.21266. (Error Cuadrático Medio)

R2: 0.905068 (Coeficiente de correlación o bondad del ajuste)

Coeficiente de Penalización: 0

Variables de Entrada: 4

Variables de Salida: 1

Número de Células de la Capa Oculta: 10

Periodo de Estudio: Junio 2011 – Julio 2012

Horario de Producción estudiado: desde las 8:00 hasta las 17:00

Figura 3. Arquitectura Seleccionada de la Red Óptima

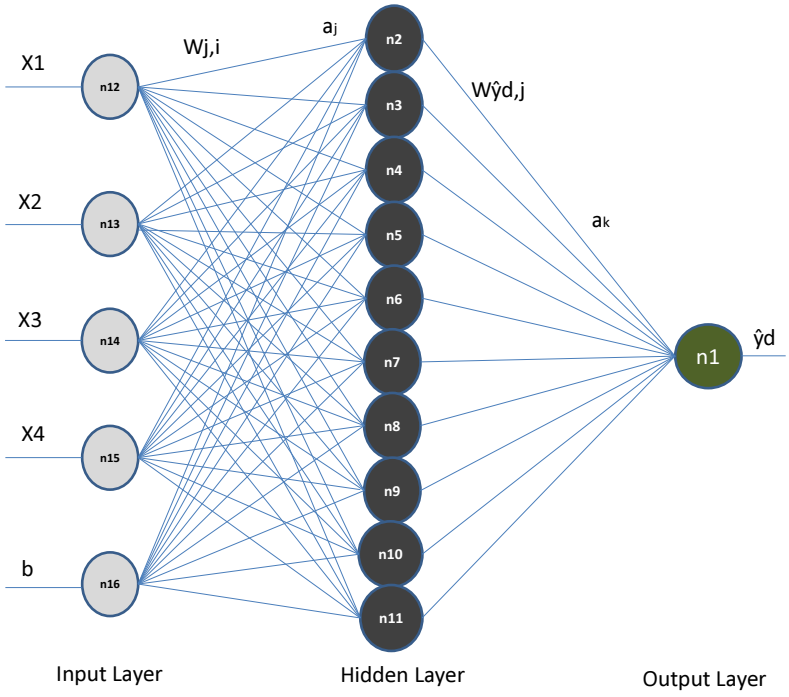
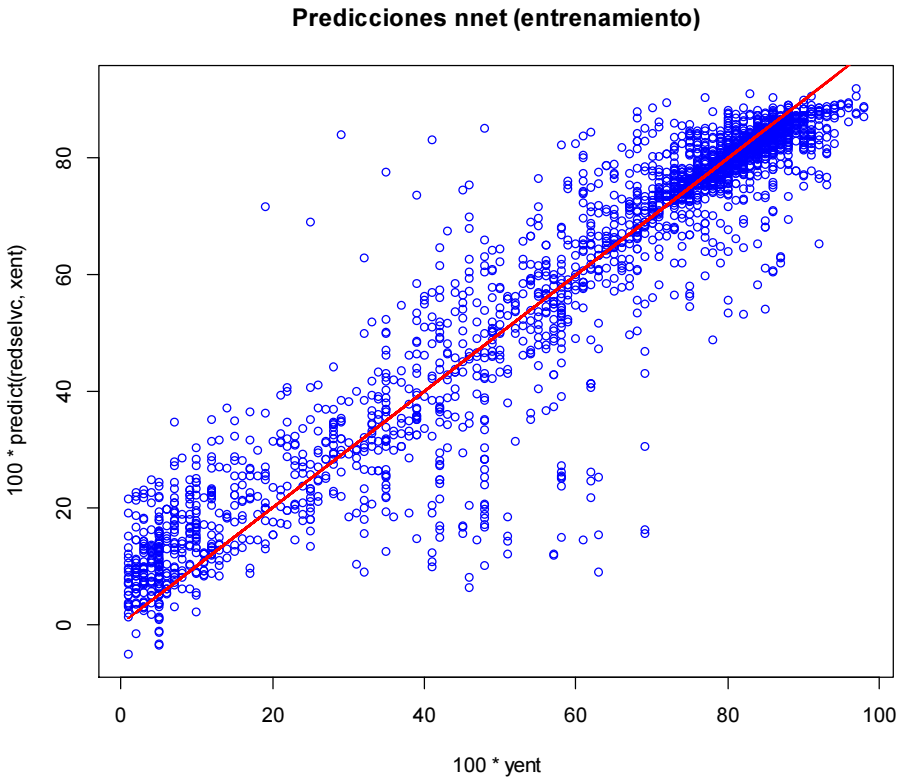


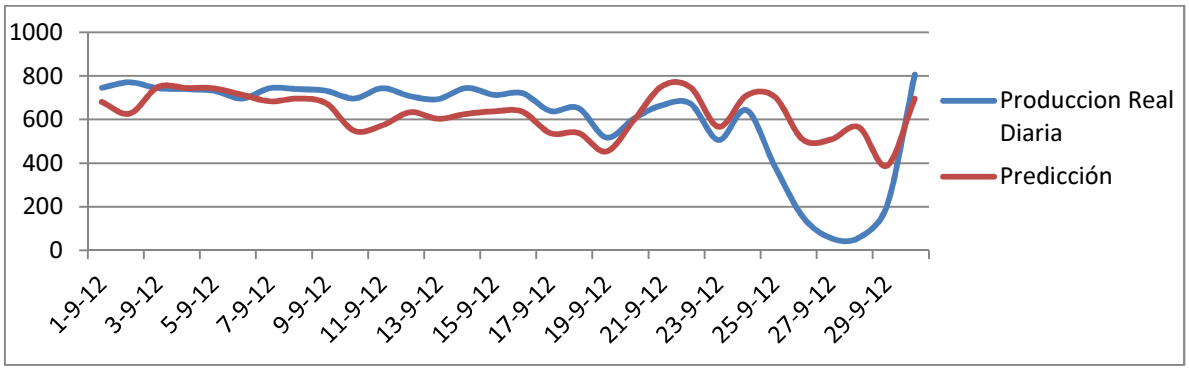
Figura 4. Nube de Puntos frente a la recta de valores reales del entrenamiento.



1.6 Conclusiones.

Una vez obtenido como resultado el modelo ideal de producción, éste es utilizado para obtener conclusiones más específicas. En este caso en particular nos hemos centrado en la Mejora de la Eficiencia Energética de la Instalación Fotovoltaica con la detección temprana de Fallos. Para ello comparamos la predicción obtenida con el modelo ideal de producción con la producción real, siendo el siguiente gráfico una comparativa de ello.

Figura 5. Comparación Predicción Modelo Ideal con Producción Real Diaria.



La mejora en la producción la obtenemos con la anticipación al fallo, mediante la definición de una condición de alarma. Dicha alarma es activada si la producción real horaria en una instalación tipo de 100 Kw es inferior al 40% a la predicción del Modelo Ideal de Producción manteniéndose esta condición de modo consecutivo durante 4 horas.
El fallo objeto de estudio que ha permitido la detección temprana de dicho error, ha sido el Fallo de Aislamiento estudiado sobre la instalación tipo seleccionada. Este fallo provocado por corrosiones de ciertos materiales a la intemperie en época de lluvia es la causa de degradaciones en la producción, durante al menos 48 horas previas, al fallo detectado por el Sistema de Monitorización, con las importantes pérdidas de producción que ello suponía.
La anticipación de un solo fallo de este tipo nos permite generar una media de 1400kw/h más, o lo que es lo mismo con ello ganamos 600 € de más al año en la producción. Extrapolando a una media real ocurrida de 3 fallos/año por cada una de las 61 instalaciones tipo de la Planta objeto de estudio, implica que el implantar este tipo de técnicas nos aportaría (contando sólo este modo de fallo) al año una ganancia de 256.200 Kw/h suponiendo un importe anual superior a los 110.000 €, o lo que es lo mismo un incremento en la producción de un 1.8%.

2. Referencias.

Ashraf , I. & Chandra, A. (2004) Artificial neural network based models for forecasting electricity generation of grid connected solar PV power plant. International journal of global energy issues, 21, 119-130.

Basheer, I. A. & Hajmeer, M. (2000) Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. Journal of Microbiological Methods, 43, 3-31.

Benghanem, M. & Mellit, A. (2010) Radial Basis Function Network-based prediction of global solar radiation data: Application for sizing of a stand-alone photovoltaic system at Al-Madinah, Saudi Arabia. Energy, 35, 3751-3762.

Campbell, J. & Jardine, A. Maintenance Excellence: Optimising Equipment Life-cycle Decisions, 2001. Marcel Dekker: New York, NY.

Crespo Márquez, A. (2007) The maintenance management framework: models and methods for complex systems maintenance. Springer Verlag, London.

Curry, B., Morgan, P. & Beynon, M. (2000) Neural networks and flexible approximations. IMA Journal of Management Mathematics, 11, 19-35.

Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. (2001) The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Series: Springer Series in Statistics. XVI, 536 p. ISBN 978-0-387-21606-5.

Hiyama, T. (1997) Neural network based estimation of maximum power generation from PV module using environmental information - Discussion. Ieee Transactions on Energy Conversion, 12, 247-247.

Kalogirou, S. A. (2001) Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 5, 373-401.

Kuo, C. (2011) Cost efficiency estimations and the equity returns for the US public solar energy firms in 1990–2008. IMA Journal of Management Mathematics, 22, 307-321.

Lapedes, A. & Farber, R. (1987) Nonlinear signal processing using neural networks.

Malcolm, B., Bruce, C. & Morgan, P. (1999) Neural networks and finite-order approximations. IMA Journal of Management Mathematics, 10, 225-244.

Mellit, A., Benghanem, M., Arab, A. H. & Guessonum, A. (2005a) An adaptive artificial neural network model for sizing stand-alone photovoltaic systems: application for isolated sites in Algeria. Renewable Energy, 30, 1501-1524.

Mellit, A., Benghanem, M., Arab, A. H., Guessoum, A. & IEEE (2003) Modelling of sizing the photovoltaic system parameters using artificial neural network.

Mellit, A., Benghanem, M., Bendekhis, M. & IEEE (2005b) Artificial neural network model for prediction solar radiation data: Application for sizing, stand-alone photovoltaic power system. 2005 Ieee Power Engineering Society General Meeting, Vols, 1-3.

Mellit, A., Benghanem, M., Hadj Arab, A., Guessoum, A. & IEEE (2004) An adaptive wavenet model for sizing of stand-alone photovoltaic systems.

Mellit, A. & Kalogirou, S. A. (2008) Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: A review. Progress in Energy and Combustion Science, 34, 574-632.

Mellit, A. & Shaari, S. (2009) Recurrent neural network-based forecasting of the daily electricity generation of a Photovoltaic power system. Ecological Vehicle and Renewable Energy (EVER), Monaco, March, 26-29.

Moubray, J. (1997) Reliability-centered maintenance. Industrial Press Inc.

Pham, H. & Wang, H. (1996) Imperfect maintenance. European journal of operational research, 94, 425-438.

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., & Williams, R. J. (1986) Learning internal representations by error propagation. In Rumelhart, D. E., McClelland, J. L., and the PDP Research Group, editors, Paralled Distributed Processing. Explorations in the Microstructure of Cognition. Volume 1: Foundations, pages 318-362. The MIT Press, Cambridge, MA.

Rausand, M. & Hoyland, A. (2004) System reliability theory: models, statistical methods, and applications, vol. 396. John Wiley & Sons.

Rutkwski, Leszek (2008) Computational Intelligence: Methods and Techniques. Original Polish edition published by Polish Scientific Publishers. ISBN 978-3-540-76288-1

Werbos, P. J. (1994) The roots of backpropagation: from ordered derivatives to neural networks and political forecasting, vol. 1. John Wiley & Sons.

Wilson, R. L. (1986) Operations and support cost model for new product concept development. Computers & Industrial Engineering, 11, 128-131.

Yacef, R., Benghanem, M. & Mellit, A. (2012) Prediction of daily global solar irradiation data using Bayesian neural network: A comparative study. Renewable Energy, 48, 146-154.

Zhang, G. Q., Patuwo, B. E. & HU, M. Y. (1998) Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. International Journal of Forecasting, 14, 35-62.

05-009

ASSESSMENT MODEL OF ENERGY CONSUMPTION BY OPTIMIZING THE BUILDING SHAPE

Pacheco Torres, Rosalía; Ordóñez García, Javier; Martínez Montes, Germán Universidad de Granada

The use of efficient design parameters in the initial stages of the life cycle of a building project helps to reduce the final energy demand. On the other hand, photovoltaic energy is the renewable resource that has recently undergone the most significant development. Because of its modular structure and its ability to be integrated in the building, photovoltaic energy is one of the renewable resources with the most promising domestic development. To assess the efficacy of this sort of actions, it is necessary the development of assessment tools adapted to sustainable design techniques and new ways of energy supply. In this research, it is proposed an assessment model of the energy demand reduction of residential buildings, by analyzing the building height and the integration of photovoltaic systems to supply a fraction of the energy demand. The results highlight the importance of those dimensional parameters that define optimal building shape from an energy-efficiency perspective. These results are interest to those agents that act on the design process of buildings and urban planning, with the target of reducing the energy consumption in the cities and for promoting the sustainable design of urban areas.

Keywords: *Building shape; Energy efficiency; Energy simulation; Building-integrated photovoltaics (BIPV)*

MODELO DE EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO MEDIANTE OPTIMIZACIÓN DE LA FORMA DEL EDIFICIO

La aplicación de parámetros de diseño eficientes durante las etapas iniciales del ciclo de vida de un edificio, ha mostrado ser una herramienta eficaz para reducir la demanda energética final. Por otra parte, la energía solar fotovoltaica ha sido la fuente de energía renovable que ha experimentado una mayor expansión recientemente. Al ser un sistema modular y fácilmente integrable, es una de las energías renovables que permite un mayor desarrollo a nivel doméstico. Para valorar la eficacia de este tipo de medidas de forma conjunta, es preciso el desarrollo de herramientas de evaluación adaptadas a técnicas de diseño sostenible y nuevas formas de suministro de energía. Se propone un modelo de evaluación de la reducción de la demanda energética final en edificios residenciales, mediante una optimización de la altura del edificio junto con la instalación de sistemas de producción de energía solar fotovoltaica en el propio inmueble. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la importancia de la forma del edificio desde el punto de vista de la eficiencia energética. Estos resultados resultan de interés para aquellos agentes intervinientes en el proceso de diseño de edificios y planificación urbanística, con el objetivo de promover el diseño sostenible en las zonas urbanas.

Palabras clave: *Forma del edificio; eficiencia energética; simulación energética; sistemas fotovoltaicos integrados;*

Correspondencia: Rosalía Pacheco Torres rosapt@ugr.es

1. Introducción

Los edificios representan más de un tercio del consumo energético mundial y se prevé una tasa de crecimiento mayor que el resto de sectores (U.S. Energy Information Administration, 2013). En España el sector residencial representa el 17% del consumo final total y el 25% de la demanda de energía eléctrica (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2011a), lo que supone un consumo final de 16.924 ktep (kilo tonelada equivalente de petróleo).

Debido al alto consumo energético del sector residencial, cualquier acción sobre este sector tendrá un impacto importante en el cumplimiento de los objetivos de reducción del consumo y las emisiones de carbono (López, et al., 2012).

El actual modelo de consumo energético de la Unión Europea, difiere del que debería de ser para cumplir con los objetivos fijados en la Estrategia Europea 2020 (Comisión Europea, 2010). En España, un tercio de los productos del petróleo y el gas que se consumen debe ser importado de otros países (Eurostat, 2014), generando una situación de dependencia energética del exterior que influye en los precios del mercado.

Para mitigar el impacto medioambiental del uso y explotación de los edificios, debe reducirse el consumo de energía. Son diversas las estrategias de eficiencia energética que se pueden llevar a cabo para disminuir el impacto ambiental del uso de los edificios residenciales, tales como la implantación de medidas pasivas o la mejora de la eficacia de los sistemas. Por otra parte, el uso de fuentes de energía renovables contribuye a mitigar el impacto ambiental derivado del consumo energético de los edificios.

Conocer las características del consumo de energía en los edificios permite implantar medidas para reducirlo y conseguir un uso más eficiente de los recursos. Los modelos de estimación de la demanda energética son herramientas que permiten calcular el consumo de edificios, tanto en fase de proyecto como en fase de uso. Permiten además, evaluar la eficacia de las estrategias para la reducción del consumo antes, durante y después de su implantación.

El modelo propuesto en esta investigación combina el diseño eficiente de los edificios, mediante un estudio de la altura ideal para reducir la demanda, con la integración de sistemas de producción de energía solar fotovoltaica.

2. Metodología.

2.1. Diseño de la muestra de estudio

La muestra de estudio de esta investigación, está formada por un conjunto de arquetipos que representan el sector residencial en España. En la metodología del arquetipo, se realiza una clasificación de los edificios existentes para desarrollar unos diseños representativos de las tipologías posibles y emplearlos como datos de entrada para construir el modelo energético. Este método es muy empleado para representar el consumo energético del stock residencial.

Para la definición de los modelos, se tomó como base de estudio los datos estadísticos recogidos por la Dirección General de Programación Económica de la Secretaría de Estado de Infraestructuras, dependiente del Ministerio de Fomento, y publicados en el informe “Construcción de edificios 2003-2007, licencias municipales de obras” (Ministerio de Fomento, 2008). En estos datos, se realiza una distinción entre los siguientes tipos de edificios residenciales: edificios de vivienda familiar; edificios de residencia colectiva permanente y edificios de residencia colectiva eventual. En la metodología presentada en esta comunicación, se estudió la tipología de vivienda residencial familiar, clasificada en

viviendas unifamiliares (asiladas y adosadas) y bloques plurifamiliares de viviendas. En la tabla 1 se muestra el promedio de superficie media útil por vivienda para la comunidad autónoma de Andalucía, calculado como la media ponderada del número de viviendas y la superficie media por tipología y provincia.

Tabla 1. Número de viviendas y superficie media útil por tipología de vivienda (m^2).

Tipología	Tipología		
	Unifamiliar		Plurifamiliar
	Aislada	Adosada	
Superficie media útil [m^2]	151,5	124,5	73,3

Analizados estos datos, se decide que las tres tipologías de edificios residenciales que se van a considerar en nuestra investigación son:

- Edificio unifamiliar de vivienda aislada.
- Edificio unifamiliar de vivienda adosada.
- Edificio plurifamiliar de dos o más viviendas.

2.2. Construcción del modelo de zonas térmicas

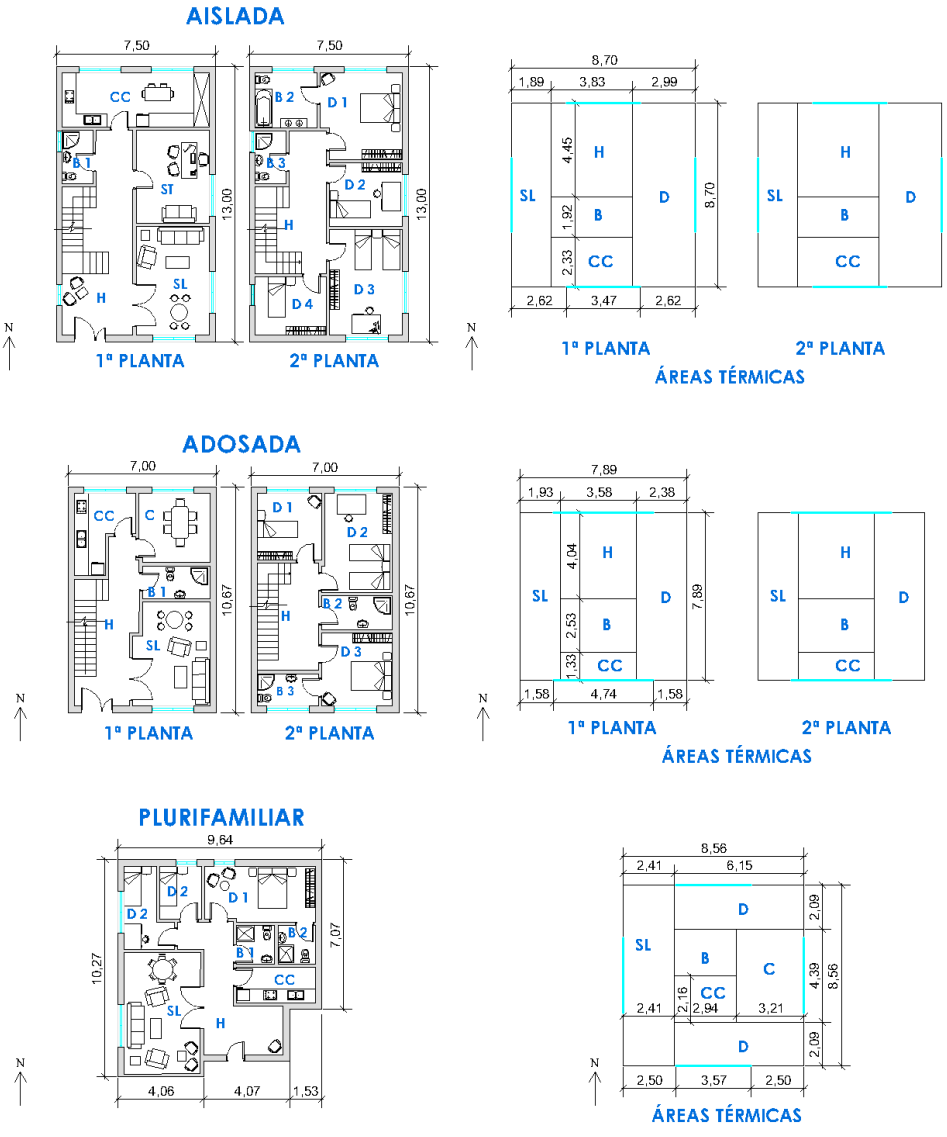
Calculados los metros cuadrados por tipología de vivienda (tabla 1), se obtiene más información acerca de la distribución interior de los espacios. De acuerdo con la referencia consultada (Ministerio de Fomento, 2008), el número medio de estancias en las viviendas unifamiliares aisladas es de 6 habitaciones y 3 baños. Para el caso de viviendas adosadas, es de 6 habitaciones y 2 baños y en las viviendas plurifamiliares es de 4 habitaciones y 2 baños. El informe de datos indica que la altura sobre rasante de las viviendas unifamiliares y aisladas es de dos plantas. Respecto a la tipología de edificio plurifamiliar de viviendas, la altura será el factor de estudio y por tanto su valor será considerado como variable.

Conocidas las superficies que caracterizan las tres tipologías de viviendas estudiadas (tabla 3.4.) y el número medio de estancias, se propone un modelo arquitectónico de distribución para cada vivienda (figura 1 izquierda). Los planos de distribución que definen este modelo han sido confeccionados siguiendo las pautas de distribución comúnmente empleadas y comprobando el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (Minsiterio de Fomento, 2006).

Adoptando el criterio de Ordenes et al., y con el objetivo de reducir el tiempo de cálculo, el modelo arquitectónico de cada prototipo de vivienda ha sido traducido a un modelo de zonas térmicas (Ordenes, et al., 2007). Cada zona térmica engloba la superficie de aquellos espacios que tienen un mismo uso y similar nivel de ocupación, equipamiento y tipo y potencia de iluminación. La distribución inicial se simplifica en cuatro zonas térmicas: salón, dormitorio, cocina y baño.

Los modelos de zonas térmicas se representan a la derecha de la figura 1.La superficie total útil de cada modelo de zonas térmicas es la misma que en el modelo arquitectónico. En esta adaptación se han mantenido los mismos parámetros de temperatura interior, nivel de ocupación, potencia del equipamiento, nivel de ganancias internas, horarios de ocupación y uso que en el modelo arquitectónico.

Figura 1. Planos de distribución de los arquetipos de viviendas (izda.) y equivalentes en zonas térmicas (dcha.) Nota: D: dormitorio, SL: salón, B: baño, CC: cocina, H: hall, ST: estudio, C: comedor.



El área de cada zona térmica para las tres tipologías de vivienda estudiadas se detalla en la tabla 2. La superficie total útil de cada vivienda se corresponde con la obtenida en la tabla 1.

Tabla 2. Características geométricas de zonas térmicas por tipología de vivienda.

Tipología de vivienda	Zona térmica	Superficie útil [m^2]	Volumen [m^3]
Aislada	Salón	32,88	98,64
	Zona de paso	34,00	102,00
	Cocina	17,86	53,58
	Dormitorio	51,98	155,94
	Baño	14,78	44,34
	Total	*151,50*	*454,50*
Adosada	Salón	30,44	91,32
	Zona de paso	28,92	86,76
	Cocina	9,52	28,54
	Dormitorio	37,52	112,56
	Baño	18,12	54,34
	Total	*124,52*	*373,52*
Bloque plurifamiliar	Salón	20,67	62,01
	Zona de paso	14,67	44,01
	Cocina	6,36	19,08
	Dormitorio	25,07	75,21
	Baño	6,53	19,59
	Total	*73,30*	*219,90*

2.3. Sistemas constructivos, acabados, materiales y valores de transmisión térmica

Identificadas las tipologías de edificios residenciales representativos, se procedió a definir el resto de propiedades que caracterizarán los arquetipos.

Con el fin de desarrollar unos modelos acordes con las viviendas existentes en el parque residencial, se escogieron los acabados constructivos más comunes en las obras de edificación de planta nueva, según los datos estadísticos analizados. En la tabla 3 se recogen las características de los sistemas constructivos y los materiales que caracterizan los arquetipos del estudio.

Tabla 3. Propiedades térmicas de los sistemas constructivos y materiales empleados.

Elemento	U [W/m^2K]	Capa	Espesor [cm]
Losa de cimentación	0,21	Baldosa cerámica	3,0
		Mortero de cemento	2,0
		Lana mineral	5,0
		Hormigón armado	50,0
		Hormigón en masa	5,0
		Arena y grava	10,0
Forjado intermedio	2,30	Baldosa cerámica	3,0
		Mortero de cemento	2,0

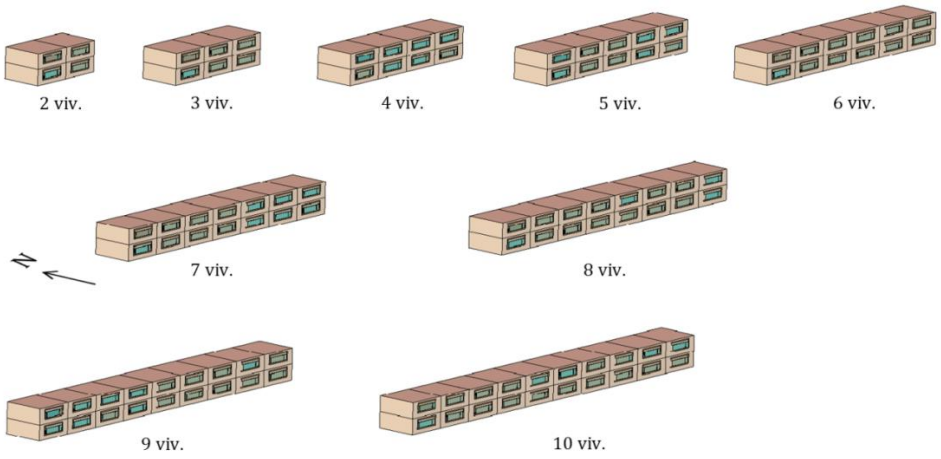
		Forjado unidireccional de hormigón armado	30,0
		Enlucido de yeso	1,5
Cubierta	0,37	Plaqueta cerámica	1,0
		Mortero de cemento	4,0
		Lámina asfáltica	1,0
		Lana mineral	8,0
		Lámina asfáltica	1,0
		Hormigón de arcilla expandida	10,0
		Forjado unidireccional	30,0
		Enlucido de yeso	1,5
Fachada	0,68	Mortero de cemento	1,5
		½ pie ladrillo perforado	11,5
		Poliestireno expandido	3,0
		Cámara de aire	2,0
		Tabicón de LH doble	7,0
		Enlucido de yeso	1,5
Partición interior	2,60	Enlucido de yeso	1,5
		Tabicón de LH doble	7,0
		Enlucido de yeso	1,5
Ventana	3,43	Acristalamiento doble con cámara de aire	0,6 + 0,6 + 0,4
		Carpintería de aluminio	-

Una vez caracterizados los arquetipos más representativos del sector residencial, se diseñó la muestra de estudio. Para ello, se definió la variable de estudio.

La presente investigación profundiza en el estudio de la relación entre la compacidad del edificio y la demanda energética del mismo para climas cálidos. Partiendo de las tres tipologías edificatorias, se diseñó una muestra de estudio formada por un total de 85 elementos en los que la compacidad es la variable de estudio. Para el caso de la tipología edificio de vivienda unifamiliar aislada, la muestra está compuesta por un solo elemento formado por un edificio que alberga una sola vivienda. Según los datos analizados de construcción de viviendas, en los edificios de viviendas unifamiliares aisladas la altura media es de dos plantas. Se diseña un edificio aislado de dos plantas de altura y cuya superficie útil y distribución de las zonas térmicas se corresponde con las de la figura 1.

Para el caso de la tipología de vivienda unifamiliar adosada, se diseña una muestra de estudio que alberga desde un caso formado por dos viviendas adosadas hasta un caso formado por diez viviendas dispuestas en hilera. La superficie útil de cada caso de estudio se corresponde con el resultado de multiplicar la superficie útil de la tipología de vivienda de la tabla 2 con el número de elementos considerados, que va desde dos hasta diez. La altura es de dos plantas y permanece constante en todos los casos de estudio. La figura 2 reproduce esquemáticamente los edificios de viviendas adosadas estudiados.

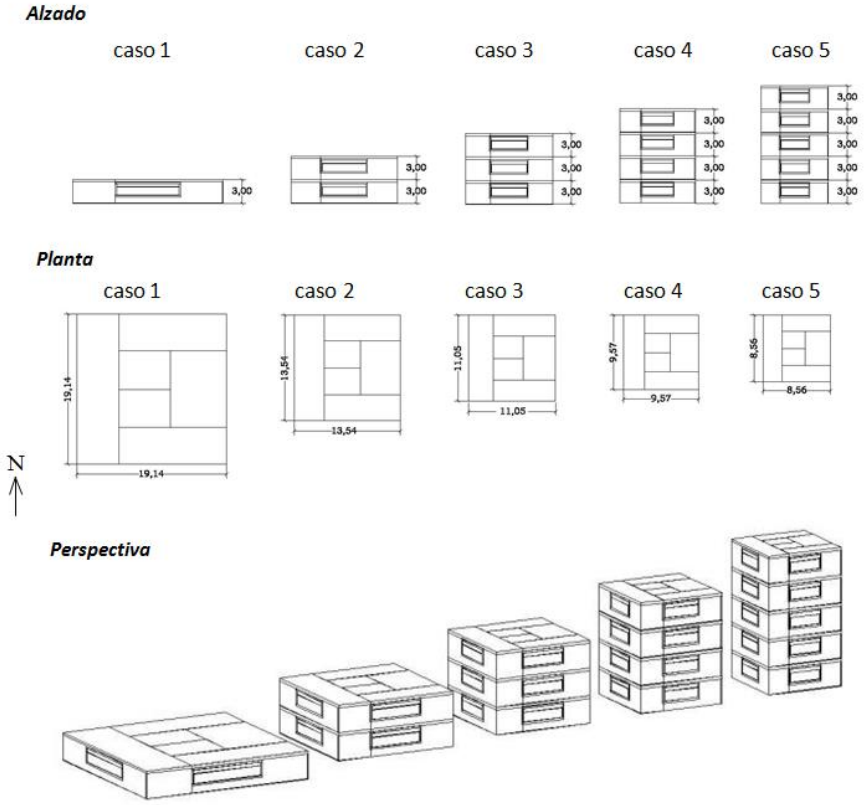
Figura 2. Definición de los grupos de viviendas adosadas estudiadas, desde 2 hasta 10 viviendas.



En el caso de la tipología de vivienda en bloque plurifamiliar, y con el fin de obtener unos resultados extrapolables a edificios de diferentes dimensiones, se estudiaron diferentes superficies totales de edificios distribuidas en bloques de altura variable.

Se definieron 5 casos de estudio en los que la superficie total útil se corresponde a la de 5, 10, 15, 20 y 25 viviendas. Cada caso de estudio está formado a su vez por un conjunto de edificios cuya altura va desde una planta hasta un número de plantas igual al número de viviendas que representa. De esta forma, cada edificio tiene un índice de compacidad diferente. A modo de ejemplo, en el caso de estudio de 5 viviendas en bloque, la superficie total útil es de 366.50 m^2 (ilustrado en la figura 3). Nótese que en cada edificio, la superficie total útil es la misma pero la altura varía. La superficie en planta del edificio también varía.

Figura 3. Casos de estudio de un edificio que alberga un total de cinco viviendas.



2.4. Simulación energética de los casos de estudio

Caracterizada la muestra de estudio y sus propiedades constructivas, se procede a diseñar el modelo de cálculo de la demanda energética. Este modelo se compone de dos fases diferenciadas. En la primera fase, se estima la demanda inicial mediante simulación dinámica. En la segunda fase, se procede al cálculo de la capacidad de autogeneración de energía mediante sistemas fotovoltaicos.

Para el cálculo de la demanda energética de los edificios que componen la muestra de estudio, se empleó el software de simulación energética de edificios EnergyPlus™ (U.S. Department of Energy, 2012). Este programa de análisis de la energía térmica y de simulación de carga realiza una simulación integrada, resolviendo de forma simultánea los cálculos con respecto al edificio y los materiales y sistemas que lo componen, en vez de realizar un cálculo secuencial como lo hacían los programas antecesores. EnergyPlus™ emplea datos climáticos horarios para el cálculo de las cargas térmicas y permite obtener el consumo debido a la calefacción y la refrigeración, así como la respuesta eléctrica del sistema. La integración de todos los aspectos involucrados en la simulación permite a los diseñadores evaluar directamente la respuesta dinámica del edificio. La validez de esta herramienta ha sido probada por numerosas investigaciones científicas (Cardinale, Rospi, & Stazi, 2010a), (Chan, 2011), (Cook & Sproul, 2011), (Lollini, Danza, & Meroni, 2010), (Cardinale, Rospi, & Stazi, 2010b), (Albatici, 2009), (Wang, Gwilliam, & Jones, 2009).

Los datos climáticos empleados se corresponden con la localización de la ciudad de Granada, clima mediterráneo cálido. Como datos de entrada, se han adoptado los valores reglamentados por la normativa española, el Código Técnico de la Edificación y otras

instrucciones. Cuando no ha sido posible usar valores reglados por estos documentos, se han empleado como valores de referencia los presentes en literatura científica publicada y que trata sobre simulación de edificios, como sería el caso del estudio de Tavares and Martins, la simulación desarrollada por Ordenes et al., y la investigación de Albatici (Tavares & Martins, 2007), (Ordenes et al., 2007), (Albatici, 2009).

Conocidas las condiciones de simulación, se procedió al cálculo de la energía demandada para cada elemento de la muestra de estudio.

2.5. Diseño del sistema fotovoltaico

Una vez realizada la simulación energética de los edificios, se procedió al estudio de la contribución de los sistemas de energía solar fotovoltaica. Estos sistemas ocupan el total de la superficie de cubierta y el 50% de la fachada sur de cada edificio estudiado.

En primer lugar se diseñó la instalación. El panel escogido es un panel fotovoltaico monocristalino común existente en el mercado. El método de diseño empleado para el cálculo de la energía generada en el sistema se basa en la metodología de Méndez y Cuervo (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2011). El ángulo de inclinación β corresponde al ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal y su valor está entre 0° y 90°. En este caso se ha escogido la inclinación óptima para un periodo de diseño anual $\beta_{\mathrm{opt}} = \Phi - 10$, siendo Φ la latitud del lugar de diseño (Instituto para la diversificación y Ahorro de Energía, 2009). El ángulo de azimut α define el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. El valor del ángulo azimut se encuentra en el intervalo [-90°, 90°]. En este caso, se ha empleado un valor de α = 0 para los cálculos. El porcentaje de pérdidas considerado es del 12%, que corresponde a la dispersión en los módulos (3%), al ensuciamiento e incidencia no perpendicular (4%) y al sombreado (5%).

3. Resultados

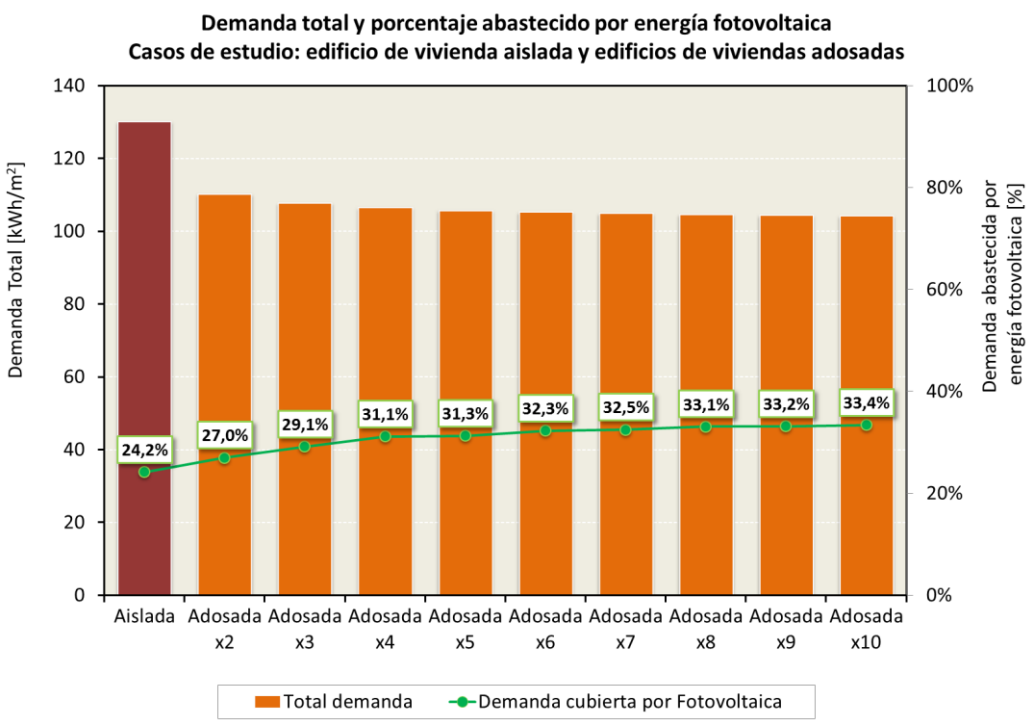
Conocidas las demandas energéticas y la energía fotovoltaica potencial para las configuraciones edificatorias, es necesario calcular el balance global de energía y las posibilidades reales de reducir y/o eliminar la dependencia energética de fuentes no renovables en edificios residenciales.

3.1. Tipologías de viviendas unifamiliares

Los resultados de la simulación energética muestran que, de las dos tipologías edificatorias de vivienda unifamiliares que se estudiaron, la demanda de la vivienda aislada es mayor que cualquiera de las configuraciones de viviendas adosadas. Se obtiene un mayor porcentaje de la demanda cubierta por la producción fotovoltaica en el caso de edificios de viviendas adosadas (figura 4).

A pesar de que el edificio de vivienda unifamiliar aislada tiene un mayor potencial de producción de energía solar fotovoltaica, debido a que la superficie de cubierta es mayor, la demanda energética por superficie útil también es más elevada. Por lo tanto, el resultado del balance es más perjudicial.

Figura 4. Porcentaje de demanda energética abastecido por energía fotovoltaica para los casos de estudio de edificio de vivienda aislada y edificio de viviendas adosadas.



El sistema de generación fotovoltaica ofrece unos resultados satisfactorios para ambas tipologías, ya que entre el 24% y el 33% de la demanda energética puede ser abastecida por los sistemas fotovoltaicos. La relación entre la superficie en planta y la altura de los arquetipos diseñados, permite un equilibrio satisfactorio entre la demanda energética y la superficie disponible para los sistemas fotovoltaicos.

3.2.Tipologías de viviendas plurifamiliares en bloque

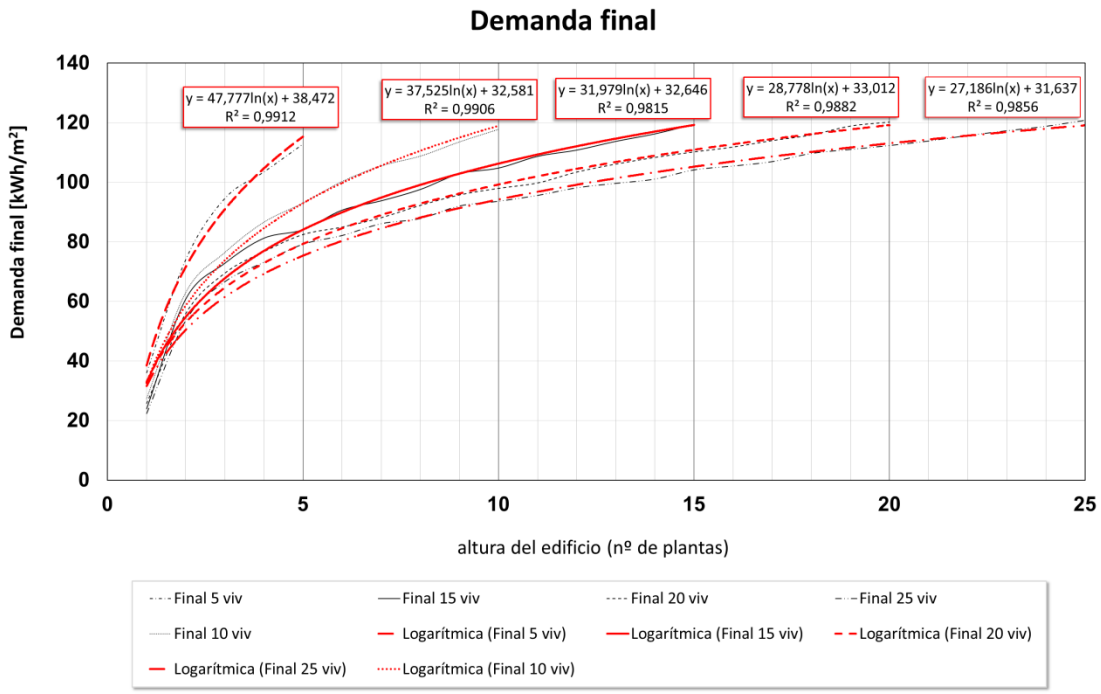
Tras realizar el balance energético entre la demanda energética inicial y la energía producida en el inmueble, se obtiene la demanda energética final en kWh/m^2. Esta demanda final puede ajustarse a una función logarítmica, que explica el consumo final como diferencia entre la demanda inicial y la energía producida por los paneles fotovoltaicos, sigue la siguiente ecuación logarítmica:

$$demanda\ final = A \cdot ln(n) + B \quad (1)$$

donde n es el número de plantas, A y B dependen de la superficie útil del inmueble.

En la figura 5 se representan en color rojo las curvas y las ecuaciones logarítmicas obtenidas como resultado del balance entre la demanda energética y la producción fotovoltaica para cada caso de estudio.

Figura 5. Ecuaciones logarítmicas que representan la diferencia entre demanda y producción fotovoltaica para cada caso estudiado.



El resultado del balance energético entre la demanda del edificio y la energía fotovoltaica producida, indica que los edificios que permiten mayores ahorros energéticos de forma global son aquellos de una sola planta de altura porque ofrecen mayor superficie disponible para la instalación de paneles solares.

El análisis de las curvas permite deducir que para una misma altura del edificio, la demanda energética final varía según la superficie total útil del mismo. Así, por ejemplo, para un edificio de 366,50 m^2 (correspondiente a 5 viviendas) y 5 plantas de altura se estima una demanda final de 112,86 kWh/m^2, mientras que para un edificio de la misma altura pero superficie de 1.832,52 m^2 (correspondiente a 25 viviendas), la demanda final estimada es de 79,23 kWh/m^2, casi un 30 % menor.

4. Conclusiones

Distintos autores coinciden en que el mejor momento para establecer estrategias que tengan como objetivo reducir el consumo energético del edificio, durante su vida útil, es en la fase de diseño. Son numerosos los trabajos que analizan la relación entre la forma del edificio y la energía consumida en función de un coeficiente de forma que define las características geométricas del edificio.

Recientes investigaciones analizan el edificio en un contexto más amplio e incluyen no sólo como variable el consumo energético sino que tienen en cuenta otros factores como es el impacto ambiental del proceso constructivo. Siguiendo esta filosofía, en esta investigación se introduce como una nueva variable de estudio, la energía generada al instalar un sistema de placas fotovoltaicas en las superficies del edificio.

Bajo esas premisas, en este trabajo, se analizan y comparan tres tipologías de edificios, para uso residencial, concluyendo que el modelo de vivienda unifamiliar aislada es menos eficiente, para la misma superficie, que el modelo adosado. La tipología adosada permite obtener hasta un 25% de ahorro en la demanda energética final con respecto al modelo aislado.

En el caso de vivienda plurifamiliar en bloque, se puede cubrir parte de este consumo energético mediante la instalación de placas solares, si bien y para el caso de edificios de mucha altura, la cantidad de energía solar producida es muy pequeña con respecto a la demanda. En edificios con una altura de 3 ó 4 plantas se puede cubrir, para las condiciones climáticas del estudio, entre un 20 % y un 25 % de la demanda total máxima.

Esta investigación desarrolla una metodología para obtener la curva que representa la diferencia entre la energía que se consume en el edificio por los diferentes usos (climatización, iluminación, etc.), y la energía que se genera en la instalación fotovoltaica. La información obtenida puede ser útil para proyectistas, ingenieros y otros agentes implicados no sólo en diseño de edificios, sino también en la planificación de grandes zonas urbanas residenciales. Los resultados obtenidos permiten calcular los parámetros dimensionales que permiten diseñar el edificio para que, manteniendo constante la superficie construida, el balance de energía sea mínimo.

5. Referencias bibliográficas

Albatici, R. (2009). Elements and Strategies for Sustainable Intervention in the Residential Building Sector: a Case Study. *Indoor and Built Environment*, *18*(5), 447–453.

Cardinale, N., Rospi, G., & Stazi, A. (2010a). Energy and microclimatic performance of restored hypogeous buildings in south Italy: The “Sassi” district of Matera. *Building and Environment*, *45*(1), 94–106.

Cardinale, N., Rospi, G., & Stazi, A. (2010b). Energy and microclimatic performance of restored hypogeous buildings in south Italy: The “Sassi” district of Matera. *Building and Environment*, *45*(1), 94–106.

Chan, A. L. S. (2011). Developing a modified typical meteorological year weather file for Hong Kong taking into account the urban heat island effect. *Building and Environment*, *46*(12), 2434–2441.

Comisión Europea. Comunicacion de la Comisión Europea. EUROPA 2020: Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador (2010).

Cook, P., & Sproul, A. (2011). Towards low-energy retail warehouse building. *Architectural Science Review*, *54*(3), 206–214.

Eurostat. (2014). Eurostat. Retrieved from http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/

Instituto para la diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). (2009). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). (2011). *Análisis del consumo energético del sector residencial en España INFORME FINAL*.

Lollini, R., Danza, L., & Meroni, I. (2010). Energy efficiency of a dynamic glazing system. *Solar Energy*, *84*(4), 526–537.

López, M., Santiago, I., Bellido-Outeriño, F., Moreno-Muñoz, A., & Trillo-Montero, D. (2012). Active occupation profiles in the residential sector in Spain as an indicator of energy consumption. In *2012 IEEE Second International Conference on Consumer Electronics*. Berlin.

Méndez Muñiz, J. M., & Cuervo García, R. (2011). *Energía solar fotovoltaica*. (F. Editorial, Ed.). Madrid: FC Editorial.

Ministerio de Fomento. (2008). *Construcción de Edificios 2003-2007. Licencias Municipales de obra*.

Minsiterio de Fomento. (2006). *Código Técnico de la Edificacion*.

Ordenes, M., Marinoski, D. L., Braun, P., & Rüther, R. (2007). The impact of building-integrated photovoltaics on the energy demand of multi-family dwellings in Brazil. *Energy and Buildings*, *39*(6), 629–642.

Tavares, P. F. de A. F., & Martins, A. M. de O. G. (2007). Energy efficient building design using sensitivity analysis—A case study. *Energy and Buildings*, *39*(1), 23–31.

U.S. Department of Energy. (2012). EnergyPlus Energy Simulation Software TM. Retrieved from http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/?utm_source=EnergyPlus&utm_medium=redirect&utm_campaign=EnergyPlus+redirect+1

U.S. Energy Information Administration. (2013). *International Energy Outlook 2013*.

Wang, L., Gwilliam, J., & Jones, P. (2009). Case study of zero energy house design in UK. *Energy and Buildings*, *41*(11), 1215–1222.

05-010

ANALYSIS OF SPANISH REGULATORY FRAMEWORK FOR PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY

Nieto Morote, Ana Mª ; Ruz Vila, Francisco de Asis; Delgado Calín, Ginés
Universidad Politécnica de Cartagena

Great economic dependency generated by the use of fossil fuels has made that national and international administrations are adopting new economic and regulatory instruments with the intention of increasing the share of renewable energies in final energy consumption, so that economic efficiency and environmental sustainability are improved. On 25 May 2007 published the RD 661/2007, which regulates the production of electrical energy in special regime, ratifying the strategic commitment in favour of the development of renewable energy and in particular of photovoltaic solar energy, which began with the RD 2818/1998 and which was consolidated with the RD 436/2004, providing a legal continuity for the sector. From 2007 until actually, successive changes in the regulations have been produced in regards to technical and administrative requirements for the inclusion of an installation in the special regime and the economic conditions. The continuous regulatory changes have meant a major distortion in the evolution of the energy mix. In particular, we will analyze how the evolution of the legislation has affected installations of photovoltaic solar energy and what should be actions of the legislator that provide the regulatory stability required by this type of facilities.

Keywords: *regulatory framework; renewable energy; photovoltaic solar energy*

PROSPECTIVA DEL MARCO REGULATORIO ESPAÑOL SOBRE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA

La gran dependencia económica que genera la utilización de las energías fósiles ha hecho que los organismos nacionales e internacionales vayan aprobando nuevos instrumentos normativos y económicos con la intención de modificar el mix energético para cubrir parte de la demanda con energías renovables, consiguiendo, de este modo, eficiencia económica y sostenibilidad ambiental. El 25 de mayo de 2007 se publicó el RD 661/2007, que regula la producción de energía eléctrica en régimen especial, ratificando la apuesta estratégica a favor del desarrollo de las energías renovables y en particular de la energía solar fotovoltaica, que se inició con el RD 2818/1998 y que se consolidó con el RD 436/2004, dándole al sector una continuidad jurídica. Desde el año 2007 hasta la actualidad, se han ido produciendo sucesivos cambios en la normativa tanto en lo que se refiere a los requisitos técnicos y administrativos como al régimen económico de las instalaciones. Estos cambios normativos han supuesto una importante distorsión en la evolución del mix energético. Se analizará cómo la evolución de la normativa ha afectado a las instalaciones de fotovoltaicas y cuáles deberían ser las actuaciones del legislador que aporten estabilidad regulatoria para este tipo de instalaciones.

Palabras clave: *Marco regulatorio; energias renovables; energía fotovoltaica*

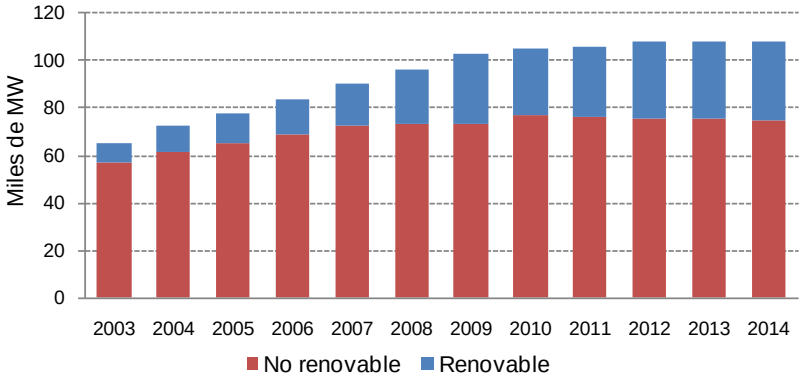
Correspondencia: Ana María Nieto Morote ana.nieto@upct.es

1. Introducción

La dependencia energética exterior y la sostenibilidad ambiental han sido dos de los ejes principales sobre los que ha pivotado la política energética de España en los últimos años. Como instrumentos básicos de la planificación energética, para reducir la dependencia exterior y alcanzar los compromisos adquiridos en la firma del protocolo de Kyoto con respecto a la reducción de gases efecto invernadero, destacan la apuesta por la integración en el mix energético de las energías renovables y la eficiencia en la generación eléctrica.

Durante la última década, como se muestra en la Figura 1, la participación en el mix energético de España de las energías renovables ha ido creciendo, pasando la potencia instalada de origen renovable de un 11,85% en 2003 a un 33,6% en 2014.

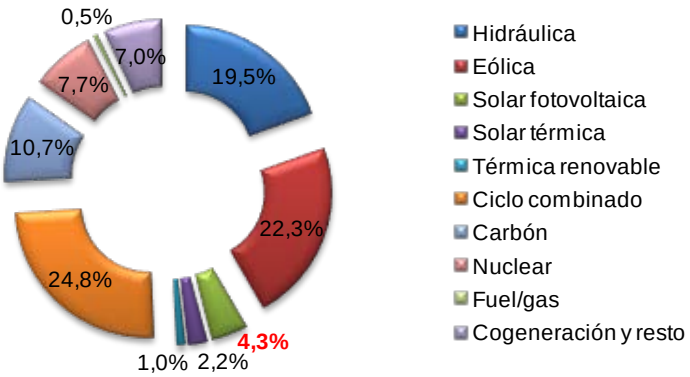
Figura 1: Evolución de la potencia instalada en España



Nota: Elaboración propia con datos obtenidos de Informes Anuales de REE

Actualmente, como se muestra en la figura 2, de los aproximadamente 108.000 MW instalados en España, 4.672MW corresponden a instalaciones fotovoltaicas, lo que representa el 4,3% de la potencia total instalada (REE, 2014).

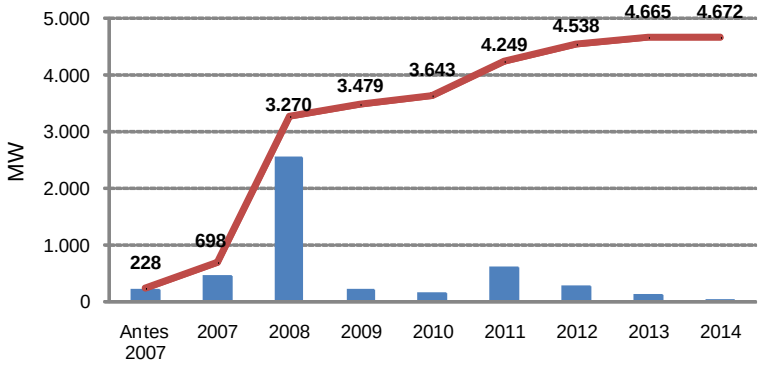
Figura 2: Potencia instalada a 31 de diciembre de 2014



Nota: Elaboración propia con datos obtenidos de Avance del Informe 2014 de REE

Como se puede observar en la figura 3, la evolución de la potencia fotovoltaica instalada a lo largo de los años no ha sido constante. El 97% de la potencia se ha instalado en los últimos 7 años y cabe destacar que en torno a un 60% de la misma se instaló durante el año 2008 (REE, Informes anuales).

Figura 3: Evolución de la potencia fotovoltaica instalada en España



Nota: Elaboración propia a partir de los datos de los Informes anuales de REE

La situación actual, así como la evolución, de las instalaciones fotovoltaicas en España es el resultado de los sucesivos cambios normativos que a lo largo de estos últimos años se han ido produciendo. En este artículo se analizará cómo los cambios normativos han ido modulando el crecimiento y el posterior estancamiento de las inversiones en instalaciones fotovoltaicas y, como consecuencia de ello, cuáles deberían ser las actuaciones que desde el poder legislativo se deben acometer para conseguir la estabilidad regulatoria que este sector necesita para un desarrollo equilibrado y sostenible.

2. Evolución del marco regulatorio

La regulación de las energías renovables en España se empieza a desarrollar en la década de 1980, con la publicación de la ***Ley 82/1980***, de 30 de diciembre, que fomenta la minihidráulica con el fin de hacer frente a la crisis del petróleo y mejorar la eficiencia energética, pero no es hasta la década siguiente cuando se consolida el concepto de régimen especial con la publicación de la ***Ley 40/1994***, de 30 de diciembre, de ordenación del sistema eléctrico nacional.

Así, el ***Real Decreto 2366/1994***, de 9 de diciembre, establece un régimen especial al que pueden acogerse instalaciones de producción de energía eléctrica con potencia instalada igual o inferior a 100 MVA, abastecidas únicamente por recursos o fuentes de energía renovables no hidráulicas, tales como solar, eólica, mareomotriz, geotérmica y otras similares. Para acogerse a este régimen especial, las instalaciones se deben inscribir en el Registro General de Instalaciones de Producción de Régimen Especial en la Dirección General de la Energía del Ministerio de Industria y Energía, lo que les da derecho a percibir una retribución por la energía vertida a la red. El precio de venta de la energía se fija en función de las tarifas eléctricas, de la potencia instalada y del tipo de instalación, constando de un término de potencia y de un término de energía, además de complementos por discriminación horaria y energía reactiva.

La promulgación de ley 54/1997, de 27 noviembre, del Sector Eléctrico, que supone la liberalización del mercado eléctrico, obliga a elaborar el **Real Decreto 2818/1998**, de 23 de diciembre, con objeto de adecuar el funcionamiento de las instalaciones de régimen especial

al nuevo marco de regulación. Este Real Decreto tiene por objeto impulsar el desarrollo de instalaciones de régimen especial mediante la creación de un marco favorable basado en la propuesta de incentivos. Solo pueden acogerse a este Real Decreto instalaciones con capacidad máxima de producción de 50 MW, siempre que sean inscritas en el Registro Administrativo de Instalaciones de Producción en Régimen Especial. La retribución que los productores de estas instalaciones obtienen por la cesión de energía eléctrica se fija en función del precio medio de venta de electricidad más una prima según la tipología de instalación y un complemento por energía reactiva. Además, establece que las primas deberán ser actualizadas anualmente, en función de la variación del precio medio de venta de electricidad, y revisadas cada cuatro años. Para las instalaciones fotovoltaicas, las primas, que se propone aplicar hasta que en España se hubieran instalado 50 MW, son de 66 pta/kWh para las instalaciones menores de 5 kW, y de 36 pta/kWh para las mayores de 5 kW.

El ***Real Decreto-ley 6/2000***, de 23 de junio, incentiva la participación en el mercado de las instalaciones del régimen especial, previendo la posibilidad de contratos de venta de energía con comercializadores.

El ***Real Decreto 1663/2000***, de 29 de septiembre, establece las normas administrativas y técnicas para el funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de instalaciones fotovoltaicas de potencia nominal no superior a 100 kVA y cuya conexión a la red de distribución se efectúe en baja tensión.

El ***Real Decreto 841/2002***, de 2 de agosto, que desarrolla el Real Decreto Ley 6/2000, establece la obligatoriedad de participación en el mercado para las instalaciones de potencia >50 MW, que quedan así incluidas en el régimen ordinario. Además, se permite la opción de contratación entre generadores en régimen especial y comercializadores, percibiendo la prima correspondiente por la energía vendida.

El **Real Decreto 436/2004,** que deroga el RD 2818/98, aporta como novedad fundamental, respecto a la normativa anterior, el establecimiento de dos mecanismos de retribución de la energía eléctrica producida en régimen especial:

1) Ceder la electricidad a la empresa distribuidora de energía eléctrica. En este caso, el precio de venta de la electricidad vendrá expresado en forma de tarifa regulada. Para las instalaciones fotovoltaicas de hasta 100 kW se da una retribución del 575 % de la TMR (Tarifa Media o de Referencia) durante los primeros 25 años y luego el 80 % de esa cantidad durante toda la vida de la instalación. Para el resto de instalaciones de energía fotovoltaica se establece una tarifa del 300% de la TMR durante los primeros 25 años desde su puesta en marcha y 240% a partir de entonces.
2) Vender la electricidad libremente en el mercado, En este caso, para instalaciones de de más de 100 kW de potencia instalada, el precio de venta de la electricidad será el precio que resulte en el mercado libre, complementado por una prima calculada como el 250% de la TMR durante los primeros 25 años y un 200% a partir de entonces, más un incentivo del 10%.

Estas tarifas o primas, que serán revisadas cada 4 años a partir de 2006.

Estas condiciones se mantendrán hasta que se tengan instalados en España 150 MW.

En la línea de marcada por el Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010 de lograr en 2010 un 29,4% de generación eléctrica mediante tecnologías renovables, el ***Real Decreto 314/2006***, de 17 de marzo, establece la obligatoriedad de incorporar instalaciones solares térmicas y paneles fotovoltaicos en ciertas edificaciones.

Real Decreto-Ley 7/2006, de 23 de junio, propone la desvinculación de la variación de las primas del régimen especial de la tarifa eléctrica media o de referencia (TMR). Para

desarrollar reglamentariamente lo dispuesto en este Real Decreto-ley, se elabora el **Real Decreto 661/2007**, de 25 de mayo, que establece un nuevo régimen retributivo de las instalaciones de régimen especial, anulando la retribución de las instalaciones con respecto a la TMR, e indexando su retribución con respecto al Índice de Precios al Consumo (IPC).

Se mantienen los mecanismos de retribución del Real Decreto 436/2004 estableciendo para instalaciones fotovoltaicas las tarifas, primas e incentivos que se recogen en la tabla 1.

Tabla 1: Tarifas y primas según artículo 36 del RD 661/2007

Potencia	Plazo	Tarifa regulada c€/kWh	Prima de referencia c€/kWh	Límite Superior c€/kWh	Límite Inferior c€/kWh
P ≤100 kW	primeros 25 años	44,0381	-	-	-
	a partir de entonces	35,2305	-	-	-
100 kW<P≤10 MW	primeros 25 años	41,7500	-	-	-
	a partir de entonces	33,4000	-	-	-
10<P≤50 MW	primeros 25 años	22,9764	-	-	-
	a partir de entonces	18,3811	-	-	-

Así mismo, se establece un complemento por energía reactiva, fijado como un porcentaje, en función del factor de potencia con el que se entregue la energía del valor de 7,8441 c€/kWh.

Los importes de tarifas, primas, complementos y límites inferior y superior del precio horario del mercado definidos en este real decreto se actualizarán anualmente, en función del IPC mediante la publicación de la Orden ITC correspondiente. Estas condiciones se mantendrán hasta que se tengan instalados en España 371 MW.

Dado el elevado crecimiento de la potencia instalada de la tecnología solar fotovoltaica registrado desde la entrada en vigor del Real Decreto 661/2007, se publica el **Real Decreto 1578/2008**, de 26 de septiembre, que establece un nuevo régimen económico para las instalaciones fotovoltaicas que obtengan su inscripción definitiva en el Registro administrativo de instalaciones de producción en régimen especial con posterioridad al 29 septiembre de 2008, en el que la retribución estará vinculada al grado de cumplimiento de los objetivos anuales de potencia instalada para esta tecnología.

Para tener derecho a la retribución recogida en este real decreto, es necesaria la inscripción en el Registro de preasignación de retribución, estando asociadas las inscripciones a un periodo temporal que denominado, convocatoria, da derecho a la retribución que quede fijada en dicho periodo temporal.

Para el primer año, como se muestra en la Tabla 2, se establecen determinados cupos por subtipos de instalaciones fotovoltaicas, así como, la tarifa regulada para cada una de ellas.

Realizadas determinadas inspecciones a instalaciones fotovoltaicas por los organismos públicos competentes, queda de manifiesto la existencia de graves anomalías en instalaciones acogidas al régimen previsto en el Real Decreto 661/2007, que habiendo obtenido el acta de puesta en marcha, no tenían instalados, a 29 de septiembre de 2008, todos los paneles fotovoltaicos comprometidos en el respectivo proyecto ni los equipos técnicos necesarios para el funcionamiento normal de la central, lo que era condición necesaria para la aplicación de las primas previstas en dicho real decreto. Para eliminar

Tabla 2: Cupos y tarifas recogidos en los artículos 5 y 11 del RD1578/2008

TIPOS	MW Cupo	Asignación Instalaciones		Tarifa regulada €/kWh	
Subtipo		≤ 20 kW	> 20 kW	≤ 20 kW	> 20 kW
I. Cubiertas, fachadas, aparcamientos, sombreamiento.	267	10%	90 %	0,34	0,32
II. Otros tipos de soporte.	133	100 %		0,32	

estas irregularidades se publica **Real Decreto 1003/2010**, de 5 de agosto, que establece la necesidad de presentar ante la Comisión Nacional de Energía la documentación acreditativa de la instalación de los equipos necesarios para la producción de energía eléctrica, para mantener el derecho al cobro de la tarifa regulada.

El **Real Decreto 1565/2010** establece una reducción extraordinaria de la tarifa fotovoltaica para la primera convocatoria de preasignación realizada a partir del 24 de noviembre de 2010, cuyos valores se calculan a partir de los valores resultantes de la aplicación de la metodología establecida en el Real Decreto 1578/2008, multiplicándolos por los siguientes factores: 0,95 para instalaciones de tipo I.1 (Pot ≤ 20kW); 0,75 para instalaciones de tipo I.2 (Pot > 20kW): 0,75; y 0,55 para instalaciones de tipo II.

El **Real Decreto-Ley 14/2010**, de 23 de diciembre, establece la limitación de las horas equivalentes de funcionamiento con derecho al régimen económico primado que tengan reconocido, así como, la instauración del pago de un peaje de acceso a las redes por parte de los generadores de energía eléctrica, incluyendo a los productores en régimen especial y a los grupos de bombeo, fijado inicialmente en 0,5 €/MWh.

La **Ley 2/2011**, de 4 de marzo, establece los principios para un sistema energético sostenible en el que la participación de las energías renovables sea en 2020 del 20% del consumo de energía final bruto.

El **Real Decreto 1699/2011**, de 18 de noviembre, establece las condiciones administrativas, contractuales, económicas y técnicas básicas para la conexión a las redes de distribución de energía eléctrica de las instalaciones de producción de energía eléctrica de potencia no superior a 100 kW cuando se conecten a las líneas de tensión no superior a 1 kV de la empresa distribuidora, bien directamente o a través de una red interior de un consumidor.

En enero de 2012, con el fin de intentar resolver el problema del elevado déficit tarifario del sistema eléctrico, se aprueba el **Real Decreto-ley 1/2012**, de 27 de enero, que suprime los incentivos contemplados en el Real Decreto 1578/2008 para todas las instalaciones de régimen especial que aún no estuvieran inscritas en los registros de preasignación correspondientes. Además, suspende de forma indefinida los procedimientos de inscripción en el Registro de preasignación de retribución previstos en el Real Decreto-ley 6/2009 y deja sin efecto, para las instalaciones fotovoltaicas, la celebración de convocatorias de preasignación de retribución para los años 2012 y sucesivos.

Más tarde, se publica la **Ley 15/2012**, de 27 de diciembre, que establece un impuesto para la producción de la energía eléctrica, que grava la actividad de generación y la incorporación de la energía al sistema eléctrico con un tipo impositivo de un 7%, así como el céntimo verde sobre el consumo de determinados combustibles, cuya recaudación debe destinarse a financiar los costes regulados del sistema eléctrico.

A finales del año 2012, se publica El **Real Decreto-ley 29/2012**, de 28 de diciembre, que establece la posibilidad de no aplicar el régimen económico primado a las instalaciones inscritas en el Registro de preasignación que no estén totalmente finalizadas al vencimiento del plazo límite establecido para ser inscrita en el registro del régimen especial.

Posteriormente, el **Real Decreto-ley 2/2013**, de 1 de febrero, introduce nuevas medidas para corregir los desajustes entre los costes del sector eléctrico y los ingresos obtenidos a partir de los precios regulados, sustituyendo, con efecto a partir del 1 de enero de 2013, la referencia al Índice de Precios de Consumo prevista en la normativa del sector para actualizar las retribuciones, tarifas y primas por la referencia al Índice de Precios de Consumo a impuestos constantes sin alimentos no elaborados ni productos energéticos (IPC-IC subyacente). Además, modifica el Real Decreto 661/2007, suprimiendo las primas existentes y eliminando la posibilidad de poder de acogerse con posterioridad a la opción de retribución a tarifa a aquellas instalaciones que a la entrada en vigor de este Real Decreto-ley opten por vender su energía en el mercado.

El último proceso de reforma estructural del sector eléctrico se inicia con la aprobación del **Real Decreto-ley 9/2013**, de 12 de julio, que recoge un conjunto de medidas de carácter urgente y de amplio alcance destinadas a garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico y con impacto en todas las actividades del sector eléctrico.

La **Ley 24/2013**, de 26 de diciembre, se configura como la disposición central del nuevo marco normativo del sector eléctrico. En esta ley se abandonan los conceptos diferenciados de régimen ordinario y especial, y se establece un nuevo régimen retributivo de las energías renovables, que se basa en la necesaria participación en el mercado de estas instalaciones, complementado los ingresos de mercado con una retribución regulada específica que permita a estas tecnologías competir en nivel de igualdad con el resto de tecnologías en el mercado. Además establece la necesidad de desarrollar la regulación del autoconsumo que no tiene hasta la fecha un marco legal y reglamentario específico como fuente alternativa de generación de electricidad.

Para desarrollar reglamentariamente lo dispuesto en Real Decreto-ley 24/2013, se elabora el **Real Decreto 413/2014**, de 6 de junio, que establece el procedimiento de inscripción en el Registro de régimen retributivo específico, así como, la determinación del régimen retributivo especial, basado en un término retributivo por unidad de potencia instalada, que se denominará retribución a la inversión (Rinv) y un término retributivo a la operación, que se denominará retribución a la operación (Ro).

La **Orden IET/1168/2014**, de 3 de julio, establece la fecha de inscripción automática de determinadas instalaciones en el registro de régimen retributivo específico previsto en el Real Decreto 413/2014.

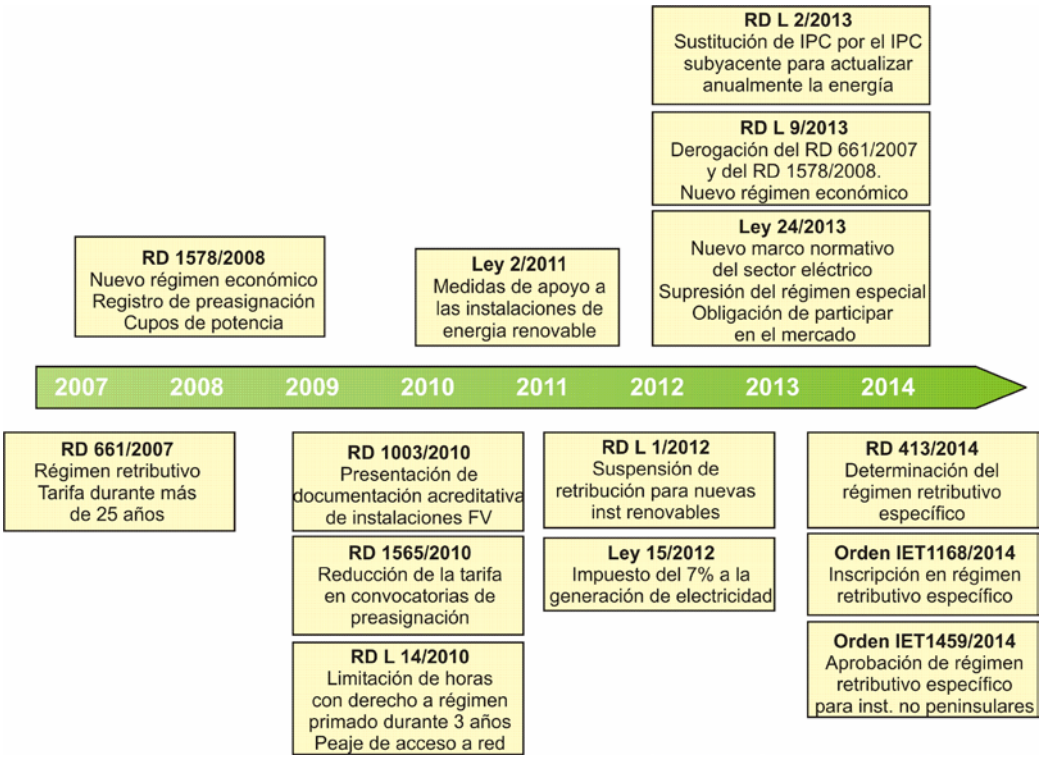
Finalmente la **Orden IET/1459/2014**, de 1 de agosto, aprueba los parámetros retributivos y se establece el mecanismo de asignación del régimen retributivo específico para nuevas instalaciones eólicas y fotovoltaicas en los sistemas eléctricos de los territorios no peninsulares.

A fecha de hoy, se está a la espera del desarrollo de la regulación del autoconsumo, como establece la Ley 24/2013, así como de la aprobación de los parámetros retributivos aplicables a instalaciones fotovoltaicas en territorio peninsular, en los términos establecidos en el RD 413/2014.

Como se ha mostrado anteriormente, el año 2007 marca el punto de inflexión en la evolución de la tecnología fotovoltaica. Es a partir de la publicación del RD661/2007, cuando

esta tecnología se consolida como una parte significativa del mix energético español. A modo de resumen, en la figura 4 se muestra la normativa que desde el año 2007 hasta la actualidad se ha ido publicando destacando aquellos aspectos que han afectado tanto al régimen jurídico y económico de las instalaciones fotovoltaicas.

Figura 4: Esquema básico de la regulación del sector fotovoltaico desde 2007



3. Impacto de los cambios regulatorios sobre las instalaciones fotovoltaicas

Los sucesivos cambios normativos, que se han ido produciendo a lo largo de los últimos años, han afectado tanto al régimen jurídico como económico de las instalaciones fotovoltaicas.

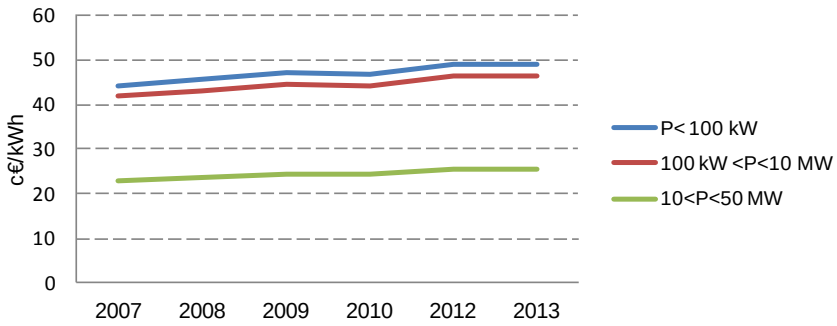
En relación al régimen jurídico de las instalaciones de generación mediante recursos renovables, no se han producido modificaciones significativas que hayan condicionado la decisión de construir, o no, instalaciones de este tipo. Estos cambios han afectado, sobre todo, al tamaño de las instalaciones que se podían incluir en el régimen especial, así como la necesidad de ser incluidas en un registro u otro para obtener el derecho a percibir tarifa regulada o primas a la producción.

Sin embargo, las modificaciones del régimen económico aplicable a este tipo de instalaciones han marcado el desarrollo de este tipo de tecnología.

El desarrollo de la tecnología fotovoltaica entre 2007 y 2008 fue tal que se excedió en más de siete veces la potencia prevista, llegándose a contabilizar, durante este periodo, una potencia instalada en torno a 2500MW. La causa de este gran crecimiento reside en la entrada en vigor del RD 661/2007 en el que se establece una tarifa regulada aplicable a la generación fotovoltaica entre 44,04 y 22,98 c€/KWh en función de la potencia de la instalación. Dicha tarifa se ha ido actualizando anualmente en función del IPC, como se

muestra en la figura 5, llegándose a una tarifa regulada, en el año 2013, para instalaciones acogidas al RD661/2007 entre 48,86 y 25,49 c€/KWh según la potencia de la instalación.

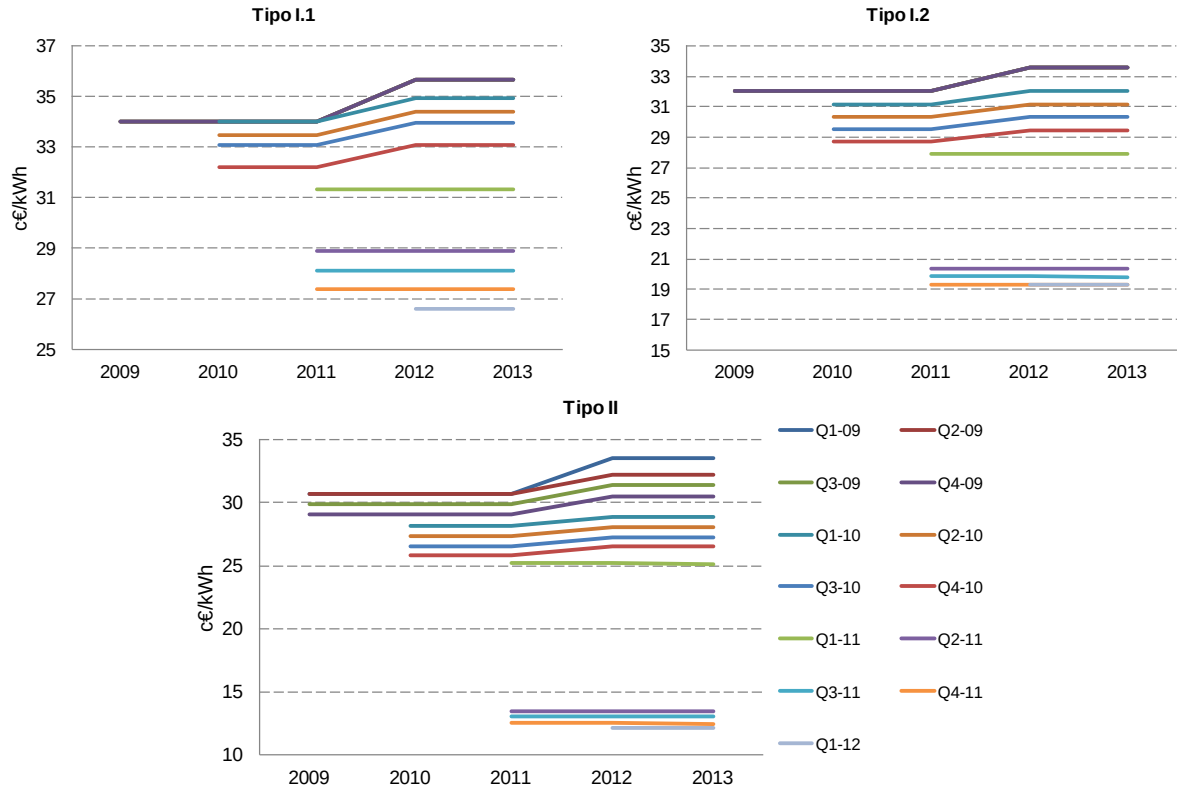
Figura 5: Evolución de la tarifa regulada para instalaciones acogidas al RD 661/2007



Nota: Elaboración propia a partir de los datos del RD 661/2007, orden ITC/3860/2007, orden ITC/3801/2008, orden ITC/3519/2009, orden IET/3586/2011, y orden IET/221/2013

Esta realidad obliga a acotar el acceso a la tarifa regulada de las instalaciones fotovoltaicas mediante un sistema de cupos aprobado en el RD 1578/2008, para cada uno de los cuales se establece una tarifa regulada que ha ido variando hasta el año 2013 como se muestra en la figura 6.

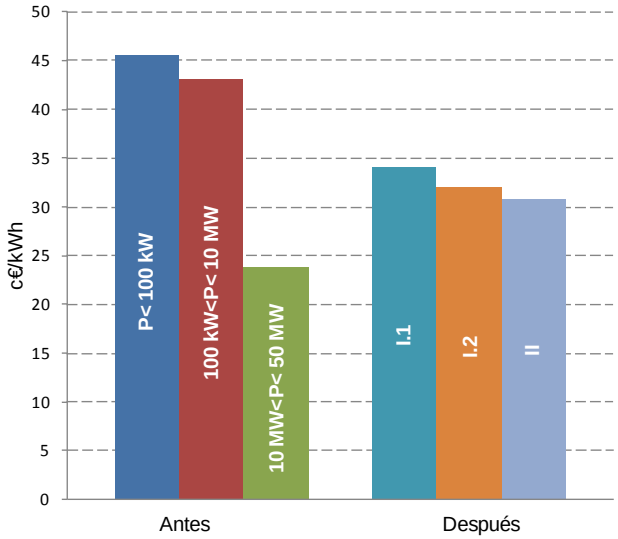
Figura 6: Evolución de la tarifa regulada para instalaciones acogidas al RD 1578/2008 de tipo I



Nota: Elaboración propia a partir de los datos de RD 1578/2008, orden IET/3586/2011 y orden IET/221/2013

El 29 de septiembre de 2008, es una fecha clave en desarrollo de las instalaciones fotovoltaicas ya que, por una parte, se reduce la tarifa regulada de la que se pueden beneficiar las nuevas instalaciones, como se muestra en la Figura 7 y, por otra parte, se limita el número de instalaciones que se pueden acoger al régimen primado de este tipo de instalaciones en función de determinados cupos de potencia definidos cada cuatro meses. Durante los tres años de vigencia del Registro de Preasignación de Retribución, se han realizado 13 convocatorias mediante las cuales se han adjudicado 1.411 MW, repartidos del siguiente modo: 66,71 MW para instalaciones Tipo I.1, 630 MW para instalaciones Tipo I.2 y 713,65 MW para instalaciones Tipo II.

Figura 7: Tarifa regulada antes y después del día 29 de septiembre de 2008

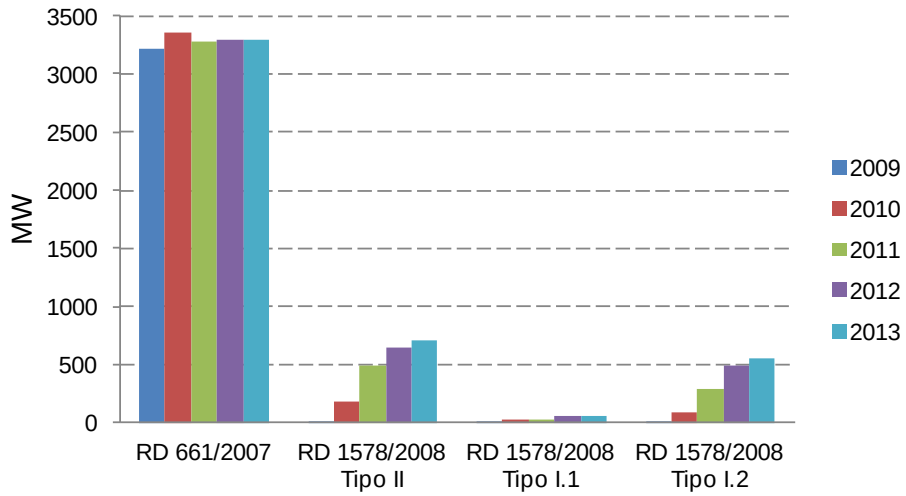


Nota: Elaboración propia a partir de los datos de RD 1578/2008 y la orden ITC/3860/2007

El impacto, que la entrada en vigor del RD 661/2007, y posteriormente el RD 1578/2008, ha tenido sobre la evolución de la potencia fotovoltaica instalada, es incuestionable tal y como se muestra en la figura 8. El desglose de la potencia según el tipo de instalaciones sigue decantándose claramente a favor del RD 661/2007 a pesar de que no se haya aceptado más potencia en este grupo desde 2008. El 72% de la potencia se encuentra acogida a este régimen económico mientras que el 28% restante se acoge al del RD 1578/2008. De éstos, más de la mitad de la potencia pertenece al grupo de suelo tipo II, la cubierta de tipo I.II se lleva el 42% y el resto corresponde a cubierta pequeña o tipo I.I (4%).

Durante el año 2011 se han ido aprobando una serie de medidas que tratan de contener el déficit de tarifa, reduciendo las tarifas reguladas aplicadas a las instalaciones renovables, como se ha mostrado en la figura 6, así como limitando el número de horas equivalentes de funcionamiento con derecho al régimen económico primado. Pero, es el 27 de enero de 2012, cuando la entrada en vigor del RD-L 1/2012, supone el freno en la construcción de instalaciones fotovoltaicas con la suspensión indefinida del Registro de Preasignación de Retribución. Posteriormente la aprobación de la Ley 24/2013 establece un nuevo marco normativo del sector eléctrico que a fecha de hoy todavía no se ha desarrollado en los aspectos económicos que afectan a las instalación fotovoltaicas peninsulares.

Figura 8: Evolución de la potencia instalada según grupo de facturación



Nota: Elaboración propia a partir de los datos de los informe sobre los resultados de la liquidación de las primas equivalentes, primas, incentivos y complementos a las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial de la CNE

4. Conclusiones

A primera vista, teniendo en cuenta el crecimiento de la potencia fotovoltaica instalada, se puede afirmar que el marco regulatorio español ha sido eficaz en el logro de este objetivo. Sin embargo, a lo largo de todos estos años la regulación del sector fotovoltaico ha ido cambiando *ad hoc* en función, inicialmente, de la evolución de la potencia instalada, y posteriormente, con la intención de reducir el déficit tarifario. Todos estos cambios han provocado una gran inseguridad jurídica cuya consecuencia directa ha sido la desincentivación de la inversión en este sector.

El desarrollo de la Ley 24/2013, que ha supuesto la más profunda transformación del sector eléctrico español desde que en el año 1997 se aprobara la Ley 54/1997 de liberalización del sector eléctrico, debe servir para establecer un marco regulatorio que aporte estabilidad y sostenibilidad al sector de la energías renovables, y en concreto al fotovoltaico, a largo plazo.

Este nuevo marco regulatorio debe considerar los siguientes puntos:

- Potenciar el I+D+I con objeto de reducir los costes de inversión de las instalaciones fotovoltaicas.
- Establecer un régimen retributivo en el que se asegura la competividad es este sector a la vez que se incentive la productividad de las instalaciones.
- Desarrollar un marco adecuado para el autoconsumo fotovoltaica.

Dados los últimos cambios regulatorios y la situación actual en la que se encuentra la industria, no se prevé a corto plazo un aumento significativo de potencia hasta que no se consiga una regulación estable a largo plazo.

5. Referencias

Comisión Nacional de Energía (CNE). Informe sobre los resultados de la liquidación de las primas equivalentes, primas, incentivos y complementos a las instalaciones de

producción de energía eléctrica en régimen especial. Mes de liquidación 12/2009; 12/2010; 12/2011; 12/2012; 12/2013.

España. Real Decreto 2366/1994, de 9 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables. *Boletín Oficial del Estado,* 31 de diciembre 1994, núm. 313 pp. 39595 – 39603.

España. Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración. *Boletín Oficial del Estado*, 30 de diciembre de 1998, núm. 312, pp. 44077 – 44089.

España. Real Decreto-ley 6/2000, de 23 de junio, de Medidas Urgentes de Intensificación de la Competencia en Mercados de Bienes y Servicios. *Boletín Oficial del Estado*, 24 de junio de 2000, núm. 151, pp 22440 – 22458.

España Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión. *Boletín Oficial del Estado*, de 30 de septiembre de 2000, núm. 235, pp 33511 – 33515.

España. Real Decreto 841/2002, de 2 de agosto, por el que se regula para las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial su incentivación en la participación en el mercado de producción, determinadas obligaciones de información de sus previsiones de producción, y la adquisición por los comercializadores de su energía eléctrica producida. *Boletín Oficial del Estado*, de 2 de septiembre de 2002, núm. 210, pp 31968 – 31974.

España. Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece el régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. *Boletín Oficial del Estado*, 27 de marzo de 2004, núm. 75, pp. 13217 – 13238.

España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. *Boletín Oficial del Estado*, de 28 de marzo de 2006, núm. 74, pp 11816 – 11831.

España. Real Decreto-Ley 7/2006 de 23 de junio, por el que se adoptan medidas urgentes en el sector energético. *Boletín Oficial del Estado*, 24 de junio de 2006, núm. 150, pp. 23979 – 23983.

España. Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. *Boletín Oficial del Estado*, 26 de mayo de 2007, núm. 126, pp. 22846 – 22886.

España. ORDEN ITC/3860/2007, de 28 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de enero de 2008. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de diciembre de 2007, núm. 312, pp. 53781 – 53805.

España. ORDEN ITC/1857/2008, de 26 de junio, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir del 1 de julio de 2008. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de junio de 2008, núm. 156, pp. 28738 – 28749.

España. Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología. *Boletín Oficial del Estado*, 27 de septiembre de 2008, núm. 234, pp. 39117 – 39125.

España. ORDEN ITC/3801/2008, de 26 de diciembre, por la que se revisan las tarifas eléctricas a partir de 1 de enero de 2009. *Boletín Oficial del Estado*, 31 de diciembre de 2008, núm. 315 pp. 52672 – 52685.

España. Orden ITC/3519/2009, de 28 de diciembre, por la que se revisan los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2010 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial. *Boletín Oficial del Estado*, 31 de diciembre de 2009, núm. 315 pp. 112136 – 112166.

España. Real Decreto 1003/2010, de 5 de agosto, por el que se regula la liquidación de la prima equivalente a las instalaciones de producción de energía eléctrica de tecnología fotovoltaica en régimen especial. *Boletín Oficial del Estado*, 6 de agosto de 2010, núm. 190, pp. 68610 – 68615.

España. Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. *Boletín Oficial del Estado*, 23 de noviembre de 2010, núm. 283, pp. 97428 – 97446.

España. Real Decreto-Ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico. *Boletín Oficial del Estado*, 24 de diciembre de 2010, núm. 312, pp. 106386 – 106394.

España. Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible. *Boletín Oficial del Estado*, 5 de marzo de 2011, núm. 55, pp. 25033 – 25235.

España. Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. *Boletín Oficial del Estado*, 8 de diciembre de 2011, núm. 295, pp. 130033 – 130063.

España. Orden IET/3586/2011, de 30 de diciembre, por la que se establecen los peajes de acceso a partir de 1 de enero de 2012 y las tarifas y primas de las instalaciones del régimen especial. *Boletín Oficial del Estado*, 31 de diciembre de 2011, núm. 315, pp. 146683 – 146711.

España. Real Decreto-Ley 1/2012, de 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de enero de 2012, núm. 24, pp. 8068 – 8072.

España. Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de diciembre de 2012, núm. 312, pp. 88081 – 88096.

España. Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero, de medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero. *Boletín Oficial del Estado*, 2 de febrero de 2013, núm. 29, pp. 9072 – 9077.

España. Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico. *Boletín Oficial del Estado*, 13 de julio de 2013, núm. 167, pp. 52103 – 52147.

España. Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. *Boletín Oficial del Estado*, 27 de diciembre de 2013, núm. 310, pp. 105198 – 105294

España. Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 10 de junio de 2014, núm. 140, pp. 43876 – 43978.

Red Eléctrica de España (REE). El sistema eléctrico español. Informe 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014.

05-011

EVALUATION OF THE POTENTIAL FOR ENERGY SAVING BUILDING STOCK AND CHOICE OF REHABILITATION STRATEGY BY SYSTEM MULTICRITERIA

Muñoz, Sergio [1]; Conejero , Sagrario [2]; Morillo Merino, Bernardino [2]; Gregori, Rubén [3]; Vivancos Bono, Jose Luis [4]

[1] Laurentia Technologies, [2] Gobierno de Extremadura, [3] AIDICO, [4] Universitat Politècnica de València

Potential energy savings in existing buildings and the economic situation have caused than retrofitting has been postulated as a pillar of public policies in economic and energy, as well as a business opportunity for companies in the sector. However, the absence of criteria for the choice of the adequate building energy retrofitting strategy was the origin of the European project E4R, where was developed a software tool, called E4RSIM capable of quantifying the potential building energy savings of in an easy way, evaluating the digital model generated from cadastral information and a database of construction solutions and facilities. This tool takes into account two factors to choose the adequate retrofitting strategy: energy consumption and investment costs. However, other factors of interest, such as embodied energy of materials used or the inferences caused by the construction works to the users. Therefore, the tool has evolved under the EDEARENOV project calibrating the results of the energy analysis of existing buildings, and incorporating environmental and social criteria to choose the right strategy in each case.

Keywords: *Energy retrofitting; Building Information Modeling; Multicriteria Asessment.*

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO DEL PARQUE EDIFICATORIO Y ELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE REHABILITACIÓN MEDIANTE SISTEMA MULTICRITERIO

El sector de la rehabilitación energética se ha postulado como un pilar de la política de la Administración Pública, así como una oportunidad para las empresas del sector. Sin embargo, la ausencia de criterios para la elección de la estrategia de rehabilitación energética adecuada en un edificio supuso el origen del proyecto europeo E4R, en el que se desarrolló una herramienta software, llamada E4RSIM capaz de cuantificar el potencial de ahorro energético de un edificio de manera sencilla, evaluando el modelo digital del mismo generado a partir de información catastral y de una base de datos de soluciones constructivas e instalaciones. Esta herramienta tiene en cuenta dos factores a la hora de elegir una estrategia de rehabilitación energética: consumo energético y coste de la inversión. Sin embargo, existen otros factores de interés, como la energía embebida de los materiales utilizados o las inferencias que provocan los trabajos de rehabilitación sobre los usuarios. Por esto, se ha evolucionado la herramienta en el marco del proyecto EDEARENOV calibrando los resultados obtenidos en el análisis energético de edificios existentes, e incorporando criterios ambientales y sociales para poder elegir la estrategia adecuada en cada caso.

Palabras clave: *Rehabilitación Energética; Modelo Digital; Evaluación multicriterio*

Correspondencia: Sergio Muñoz Gómez jvivanco@dpi.upv.es

1. Introducción

Al diseñar y definir la composición ideal de la envolvente de un edificio y de los sistemas hay que tener en cuenta criterios orientados a mejorar su comportamiento térmico, sin embargo este criterio por sí solo no es suficiente. Dado que el sector de la construcción tiene una enorme influencia en el consumo de recursos económicos y ambientales (materiales, energía, emisiones de CO_2, etc.) conviene realizar un análisis más profundo basado en la sostenibilidad.

Según Brundtland (1987), la sostenibilidad se define como "característica o estado según el cual se pueden satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades".

La sostenibilidad en la construcción busca el equilibrio entre los impactos ambientales, económicos y sociales que generan los materiales de construcción y los edificios. De esta forma, una mejora en la rehabilitación es sostenible cuando se minimizan estos impactos a lo largo de su vida útil.

En los últimos 20 años han surgido numerosos sellos y certificados de sostenibilidad para certificar el grado de sostenibilidad de una edificación. BREAM®, LEED® y Verde® entre otros son sellos medioambientales mundialmente reconocidos y con gran aceptación. El problema principal que tienen éstos es la dificultad técnica de llevarlos a cabo y la complejidad del proceso completo, que sólo es posible realizarlo si se consiguen absolutamente todos los datos precisos del edificio a valorar: la procedencia de sus materiales, el consumo energético pormenorizado o el sistema de instalaciones detallado, entre otros.

Teniendo esto en cuenta, y tomando como punto de partida la herramienta de evaluación del potencial de ahorro energético del parque edificatorio existente desarrollada en el proyecto europeo E4R, se ha decidido evolucionar dicha herramienta (llamada ahora EDEASim), en el marco del proyecto europeo EDEARenov, para que sea capaz de evaluar la selección de la estrategia de rehabilitación adecuada mediante un sistema multicriterio que valore el impacto económico, social y ambiental de la misma.

EDEAsim pretende ser una herramienta simplificada al servicio tanto del usuario de la vivienda como del técnico, sin renunciar a la precisión en los datos.

2. Caracterización del escenario de análisis.

Existen varios estudios sobre cómo caracterizar un edificio para poder evaluar su comportamiento energético, como los de Braulio et al. (2014) o Dascalaki et al. (2011). En nuestro caso, hemos caracterizado el escenario de análisis en cuatro grandes bloques.

2.1. Climatología

Los efectos del clima tienen consecuencia directa en la salud y en la actividad de las personas. En tanto las condiciones de confort no se acerquen a lo deseado, el ser humano necesita energía para equilibrar su propio sistema. Al mismo tiempo un edificio que utiliza los recursos naturales como el agua, el sol, los materiales y el viento para lograr el confort el impacto ambiental será menor, ya que se prescindirá de elementos mecánicos o de equipamientos, como el caso de la climatización artificial, para lograr el equilibrio con el ambiente.

El clima se puede caracterizar por una gran cantidad de factores climáticos como son temperatura, precipitaciones, humedad relativa, horas de sol y radiación solar. Todos estos factores presentan un cierto grado de influencia sobre la forma de edificar.

Los principales factores climatológicos que tienen influencia en cuanto al confort en los edificios son los siguientes: Temperatura, Precipitación, Humedad, Insolación y Radiación.

2.2. Uso

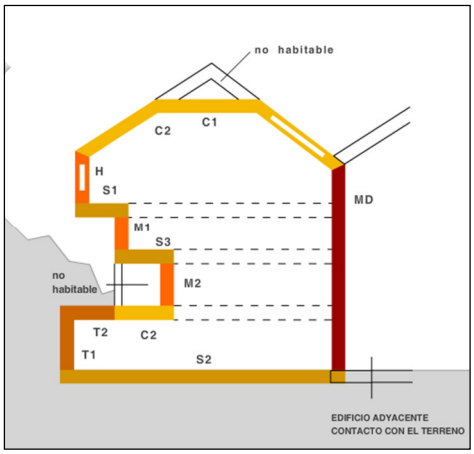
El uso de un edificio o de una zona del mismo viene determinado por las actividades que se realizan en el mismo después de su puesta en servicio, y afecta a diversos factores como son: la demanda energética, el índice de ocupación, las necesidades de confort y consecuentemente, los horarios de utilización de las instalaciones.

En función del uso, podemos distinguir entre: Residencial, Dotacional, Comercial e Industrial.

2.3. Envolvente del Edificio

Tal y como define el Código Técnico de la Edificación (2006), la envolvente térmica del edificio está compuesta por todos los cerramientos o sistemas constructivos que limitan espacios habitables con el ambiente exterior (aire o terreno u otro edificio) y por todas las particiones interiores que limitan los espacios habitables con los espacios no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior.

Figura 1: Esquema de la envolvente de un edificio



Los sistemas constructivos que componen la envolvente del edificio pueden ser horizontales o verticales y su comportamiento térmico viene determinado por los siguientes parámetros:

Para los muros y la parte ciega de las cubiertas:

- Espesor “e” [m]
- Conductividad térmica “λ” [W / m·K]
- Densidad “ρ” [kg/ m^3]
- Calor específico “Ce” [J/kg·K]

Para los huecos y lucernarios:

- Transmitancia térmica “U” [W / m^2·K]. El Código Técnico de la Edificación (2006) lo define como el flujo de calor en régimen estacionario, dividido por el área y por la

diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

- El factor solar, “g”. Se define como la relación entre la energía que atraviesa una superficie y la que lo incide.
- La absortividad “α”. Se define como la cantidad de radiación solar que un material es capaz de absorber.

2.4. Instalaciones o Equipamiento técnico

Las Instalaciones o Equipamiento técnico de un edificio permiten que el edificio adquiera unas condiciones de confort térmico a pesar de las condiciones climatológicas existentes. De este modo, las instalaciones dan respuesta a la demanda energética provocada por el resto de elementos descritos con anterioridad.

El conjunto de instalaciones que forman parte del edificio y que están relacionados con el confort térmico en el mismo son:

- Sistema de climatización: refrigeración y calefacción.
- Iluminación.
- Agua Caliente Sanitaria.
- Ventilación.

3. Herramienta de Evaluación del potencial de ahorro energético: Metodología y resultados

La mayor parte de los propietarios de una vivienda desconocen su potencial de ahorro energético así como el coste económico de las medidas de rehabilitación para poder determinar el periodo de amortización de las mismas. Por esto, uno de los principales objetivos de los proyectos europeos E4R y EDEARenov es el de proporcionar una herramienta de cuantificación del consumo energético, accesible por todo tipo de usuario sin conocimientos técnicos y que sugiera las estrategias de ahorro más adecuadas para cada caso.

Para conseguir esto, se ha definido una herramienta capaz de generar un modelo digital del edificio con información suficiente para analizar el comportamiento energético del mismo a través de un motor de cálculo.

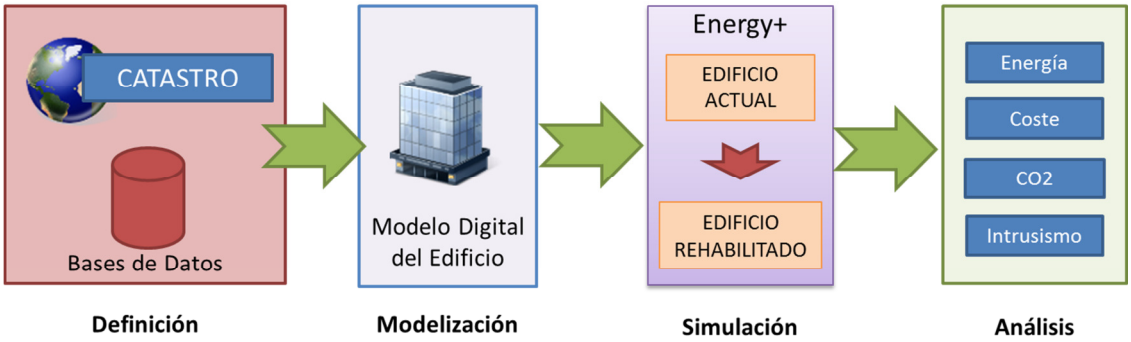
Después de analizar diferentes motores de cálculo e incluso de valorar la realización de uno propio desarrollado a partir de procesos normativos, se ha elegido a EnergyPlus, debido a su contrastada credibilidad a nivel internacional, accesibilidad para el desarrollo del entorno, rápida simulación y porque permite su ejecución a través de un servidor.

El esquema de funcionamiento de la herramienta EDEASim, cómo se aprecia en la figura 2, consiste en: definir el edificio objeto de estudio, modelizarlo digitalmente, simular su comportamiento térmico y energético y finalmente analizar los resultados.

3.1. Definición del edificio.

Las principales especificaciones que se definieron para el desarrollo de la herramienta es que fuera de sencillo manejo y que se limitara y facilitara la entrada de datos por parte del usuario. Teniendo esto en cuenta, para generar el modelo digital del edificio se ha partido de dos fuentes de información; el Catastro, para generar la geometría del edificio, y una base de datos generada expresamente que contiene información sobre los elementos que componen un edificio.

Figura 2. Esquema de funcionamiento de la herramienta



A. Catastro

Gracias al uso de servicios web se puede obtener mucha información del edificio a evaluar simplemente seleccionándolo en un mapa. En España, mediante la Sede Electrónica de la Dirección General del Catastro, a partir de la dirección del edificio, se pueden obtener las coordenadas geográficas, el uso principal del edificio, la superficie, la orientación, el número de plantas, el año de construcción e incluso la geometría tanto del edificio a simular como los más próximos para el cálculo de sombras. Mediante el tratamiento de los archivos vectoriales de Catastro, EDEASim es capaz de identificar las fachadas, medianeras, particiones interiores y cubiertas. Por tanto, se genera de forma automática, toda la información relativa a la situación y geometría del edificio y se escribe en formato .IDF para que pueda ser leído por EnergyPlus.

La transformación de los archivos vectoriales de Catastro en un modelo digital de la geometría del edificio se lleva a cabo a través de los siguientes pasos:

i. Partiendo de la cartografía vectorial de un municipio que ofrece la Sede Electrónica de Catastro que está estructurada en capas, se seleccionan tres de estas capas que contienen información geométrica en forma de polígonos geoposicionados y asociados a un conjunto de atributos:
   a. Agrupaciones de Parcelas (manzanas), también llamada MASA.
   b. Parcelas Catastrales, también llamada PARCELA.
   c. Subparcelas Urbanas, también llamada CONSTRU.
ii. Se obtienen los polígonos de la manzana, la parcela y las subparcelas vinculados al edificio objeto de análisis (figura 3.a).
iii. Se obtiene el dato correspondiente a la altura máxima de cada subparcela.
iv. Se generan los forjados del edificio a partir de los polígonos de las subparcelas teniendo en cuenta la altura máxima de cada una de ellas (figura 3.b).
v. Se generan los cerramientos verticales uniendo los puntos que componen los polígonos de forjados contiguos.
vi. Se identifica de entre los cerramientos verticales cuales son fachada, medianera o patio. Para ello, es necesario comparar la envolvente del edificio con los polígonos de la parcela y la manzana.
vii. Finalmente, se introducen huecos en aquellos cerramientos verticales que son fachadas (figura 3.c).

Para la generación de un modelo digital de edificios colindantes que puedan tener influencia en el sombreamiento del edificio objeto de estudio se repiten los pasos i a v en las parcelas cercanas.

Figura 3. Proceso de definición de la geometría del edificio

3.a. Identificación de las subparcelas

3.b. Generación de forjados

3.c. Generación de la envolvente

B. Bases de Datos

En los proyectos E4R y EDEARenov se ha realizado un análisis sobre diferentes características de los edificios existentes, generando fichas por época, según:

- Tipologías edificatorias
- Tipologías constructivas de fachadas, cubiertas, medianeras, cerramientos en contacto con el terreno y huecos.
- Tipos de instalaciones; de agua caliente sanitaria, calefacción, refrigeración e iluminación.
- Estrategias de rehabilitación energética, tanto pasivas como activas, con el coste asociado a su implantación.

Figura 4. Pantalla Resumen del Edificio objeto de Análisis.

EDEASim utiliza esta base de datos para orientar al usuario sobre las características constructivas e instalaciones más comunes según su localización y año de construcción del edificio. El usuario avanzado, mayor conocedor de las singularidades del edificio, tendrá la posibilidad de crear sus propias soluciones constructivas e introducir datos más exactos de las instalaciones.

3.2. Modelización digital del edificio

Es necesario organizar la información digital generada en la definición del edificio para posteriormente poder evaluar el comportamiento energético de los mismos mediante un motor de cálculo.

Por ello, y tomando como punto de partida los factores relevantes para el análisis que nos atañe, se estructura dicha información tal y como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Estructura de información del modelo digital del edificio

Con esta información, es posible generar un archivo de texto estructurado, con extensión .IDF, y que servirá como elemento de entrada al motor de cálculo Energy+.

3.3. Simulación del comportamiento energético del edificio

Como se ha comentado anteriormente, se ha escogido el motor de cálculo Energy+ para evaluar el comportamiento térmico y energético del edificio. Energy+ requiere dos archivos como entradas para poder realizar la simulación. Por un lado, el archivo .IDF que contiene información sobre el edificio existente. Por otro lado, el archivo climático .EPW, que contiene información climatológica de la localidad del edificio objeto de análisis (temperatura, humedad, radiación solar) horaria de los 365 días del año.

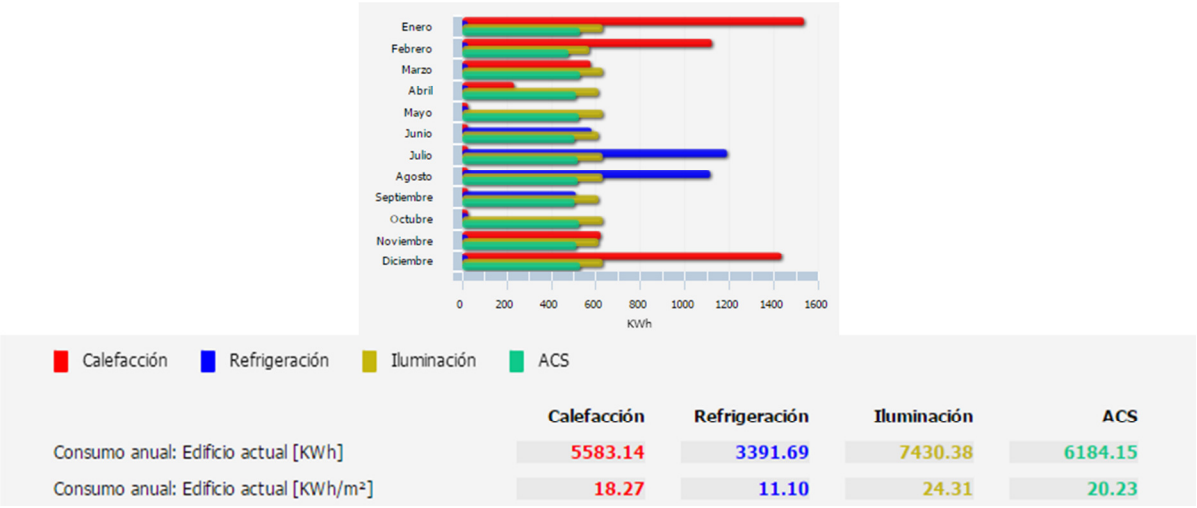
Tras realizar la simulación del edificio, Energy+ ofrece como resultados de la misma el consumo energético anual (KWh) de agua caliente sanitaria, calefacción, refrigeración e iluminación, como se aprecia en la figura 6.

3.4. Análisis multicriterio de las estrategias de rehabilitación.

A partir de estos resultados, EDEASim calcula el impacto que tendría la aplicación de diferentes estrategias de rehabilitación, tanto pasivas como activas. Este impacto se analiza desde diferentes criterios, de forma que el usuario pueda escoger una estrategias u otras en

función del objetivo final: ahorro energético, coste de inversión y amortización, impacto ambiental o impacto social.

Figura 6. Pantalla Resultado Simulación Edificio Existente.



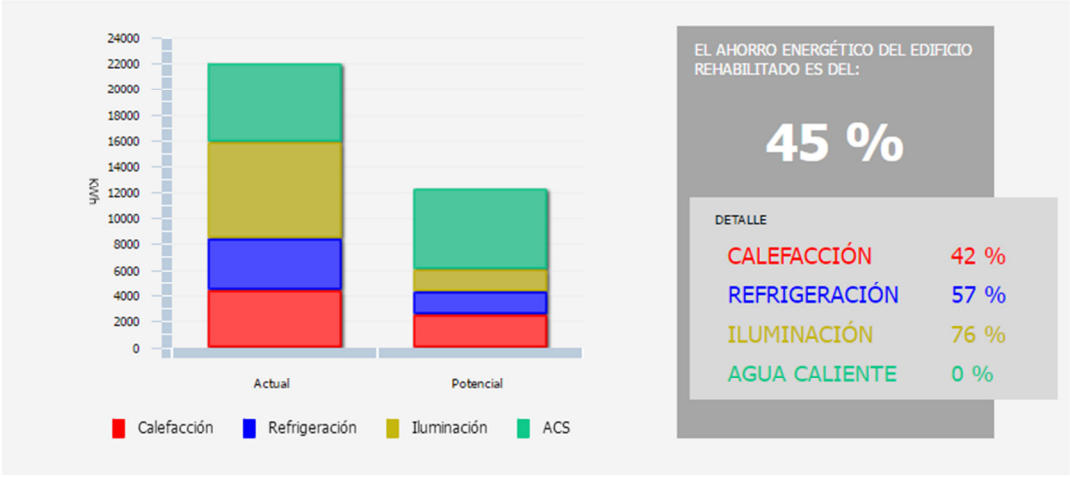
	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	ACS
Consumo anual: Edificio actual [KWh]	5583.14	3391.69	7430.38	6184.15
Consumo anual: Edificio actual [KWh/m²]	18.27	11.10	24.31	20.23

Para el análisis económico, ambiental y social, se ha establecido una puntuación para cada uno de los indicadores. Dicha puntuación varía entre 0 y 10, siendo 0 en el caso de que las estrategias de rehabilitación no supongan ninguna mejora respecto al edificio existente, y 10 en el caso de una mejora máxima.

A. Análisis Energético

El análisis energético se realiza mediante la comparación del resultado de la simulación dinámica con el motor de cálculo Energy+ del edificio existente con el rehabilitado. Dicha comparativa (ver figura 7) se establece en términos de consumo energético anual y mensual (kW/h), distinguiendo en función de la fuente de dicho consumo: calefacción, refrigeración, iluminación o agua caliente sanitaria.

Figura 7. Pantalla Análisis Energético Edificio Existente / Edificio Rehabilitado



B. Análisis Económico

Se realiza teniendo en cuenta el sobrecoste, que va a suponer al usuario la solución de la Estrategia de mejora. Estos valores se han cuantificado a partir de los siguientes indicadores:

- I_1, Coste de la inversión de la rehabilitación correspondiente a la fase de construcción, se cuantifica su impacto económico en la superficie total rehabilitada, S_{Treh}, a partir del coste de las partidas de obra afectadas por la estrategia, P_D, según la Base de Precios de la Construcción del Gobierno de Extremadura (2012).
- I_2, Coste de factura energética del edificio durante su vida útil de la fase de uso: se cuantifica su impacto económico a partir del coste asociado a la factura eléctrica (considerando un precio, P, de la energía eléctrica aportado por la Agencia de la Energía de Extremadura al Instituto de Diversificación y Ahorro Energético, IDAE).
- I_3, Coste decenal del mantenimiento y reposición. Se calcula aplicando un coeficiente de Mantenimiento y Reposición, C_M, a lo largo de la vida útil del edificio (50 años). Este coeficiente se obtiene de considerar un nivel de mantenimiento medio según el documento elaborado por el Instituto Tecnología de la Construcción de Cataluña (2012).

En la Tabla 1 se detalla el método de cálculo de los indicadores económicos, y en la figura 8 se puede observar los resultados obtenidos para un caso de uso.

Tabla 1: Indicadores económicos

IMPACTOS ECONÓMICOS			
INDICADORES	I_1, Coste de la inversión de rehabilitación (€)	I_2, Coste factura energética vida útil edificio (€)	I_3, Coste decenal de mantenimiento y reposición (€)
Método de Cálculo	$S_{Treh} \cdot P_D$	$[(C_{EF\ ref} \cdot P_{ref}) + (C_{EF\ cal} \cdot P_{cal}) + (C_{EF\ ACS} \cdot P_{ACS}) + (C_{EF\ Ilu} \cdot P_{Ilu})] \cdot 50$	$S_{Treh} \cdot C_M$
Fuentes de información	Base de Precios Gobierno de Extremadura	Simulación EDEAsim IDAE	Base de datos ITEC

Figura 8. Pantalla Análisis Económico Edificio Existente / Edificio Rehabilitado.

	Del edificio completo	Vivienda tipo (100 m²)	Puntuación
Coste de la inversión de rehabilitación	50,368 €	16,479 €	8.11
Coste de factura energética del edificio durante su vida útil (50 años)	437,034 €	142,981 €	4.23
Coste decenal del mantenimiento y reposición	10,002 €	3,272 €	9.63

C. Análisis Ambiental

Se han identificado una serie de indicadores ambientales asociados a cada fase del ciclo de vida del edificio y se han seleccionado las fuentes de información a partir de las que se realiza el cálculo:

- I_4, Consumo energético de fabricación de materiales de la fase de construcción: se cuantifican su impacto energético a partir de la superficie total rehabilitada, S_{Treh} y la Energía embebida de los materiales utilizados E_E, según la Base de Datos BEDEC del ITEC (2012).
- I_5, Consumo energético del edificio durante su vida útil: se cuantifica el impacto energético a partir del consumo de la energía consumida por el edificio C_{EF} (en calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación) sobre la superficie útil del mismo y durante los 50 años de vida útil.
- I_6, Emisiones de CO_2 del edificio durante su vida útil de la fase de uso: se calculan gracias a la obtención de los valores de energía primaria consumida mediante la simulación energética y se convierten a emisiones de CO_2 gracias a los factores de conversión, F_C, publicados por el IDAE (2011). Estos factores se actualizan periódicamente según las características de la producción energética media anual.

En la Tabla 2 se detalla el método de cálculo de los indicadores ambientales, y en la figura 9 se puede observar los resultados obtenidos para un caso de uso.

Tabla 2. Indicadores ambientales

	IMPACTOS AMBIENTALES		
INDICADORES	I_4, Consumo energético de fabricación materiales mejoras [kWh]	I_5, Consumo energético del edificio durante 50 años de vida útil [kWh]	I_6, Emisiones de CO_2 del edificio durante 50 años de vida útil [Kg CO_2]
Método de Cálculo	$S_{Treh} \cdot E_E$	$(C_{EF\ Cal} + C_{EF\ Ref} + C_{EF\ ACS} + C_{EF\ Ilu}) \cdot S_U \cdot 50$	$[(C_{EF\ cal} \cdot FC_{CO2\ Cal}) + (C_{EF\ ref} \cdot FC_{CO2\ Ref}) + (C_{EF\ ACS} \cdot FC_{CO2\ ACS}) + (C_{EF\ Ilu} \cdot FC_{CO2\ Ilu})] \cdot 50$
Fuentes de información	Base de datos BEDEC del ITEC	Simulación EDEAsim	Simulación EDEAsim / IDAE

Figura 9. Pantalla Análisis Ambiental Edificio Existente / Edificio Rehabilitado

	Del edificio completo	Vivienda tipo (100 m²)	Puntuación
Consumo energético de fabricación de materiales	82,495 kWh	26,989 kWh	7.18
Consumo energético del edificio durante su vida útil (50 años)	187,355,525 kWh	61,295,402 kWh	4.45
Emisiones de CO2 durante su vida útil (50 años)	477,894 Kg CO2	156,348 Kg CO2	4.30

D. Análisis Social

El impacto social se ha establecido a partir de una serie de indicadores asociados tanto a la fase de ejecución de los trabajos de rehabilitación, como posteriormente al ciclo de vida útil del edificio.

- I_7, Comportamiento térmico del edificio durante su fase de uso, es decir, la mejora de temperatura al reducir la demanda energética desde el estado inicial, D_{Ti}, al estado rehabilitado, D_{Tr}.
- I_8, en la fase de construcción interferencias o desalojo producido por las obras, definiendo tres niveles: obras por el exterior de la vivienda, obras en el interior de la vivienda, obras que implican desalojo de la vivienda.
- I_9, Duración de las obras en la fase de construcción, aplicando a la superficie total rehabilitada, S_{Treh}, el factor T_{obra} que indica el número de horas de obra por m^2, según la base de datos de precios del Gobierno de Extremadura (2012).

En la Tabla 3 se detalla el método de cálculo de los indicadores sociales, y en la figura 10 se puede observar los resultados obtenidos para un caso de uso.

Tabla 3: Indicadores sociales

	IMPACTOS SOCIALES		
INDICADORES	I_7, Comportamiento térmico del edificio (kWh/m^2)	I_8, Interferencia o desalojo	I_9, Duración de las obras (h.)
Método de Cálculo	$[(D_{Ti}-D_{Tr})/D_{Ti}]\cdot 100$	Nivel 1: Obras por el exterior de la vivienda Nivel 2: Obras en el interior de la vivienda Nivel 3: Obras que suponen desalojo de la vivienda	$S_{treh}\cdot T_{obra}$
Fuentes de información	Simulación EDEAsim	Informes propios	Base de precios Gobierno de Extremadura

Figura 10. Pantalla Análisis Social Edificio Existente / Edificio Rehabilitado.

	Del edificio completo	Vivienda tipo (100 m²)	Puntuación
Comportamiento térmico del edificio	**49.30 %**	**49.30 %**	**6.16**
Interferencia o desalojo	**Obras interior vivienda**	**Obras interior vivienda**	**5**
Duración de las obras	**1,334 h**	**436 h**	**10.00**

4. Conclusiones

En el marco de los proyectos europeos E4R y EDEA Renov se ha llevado a cabo un análisis de la información necesaria para evaluar el potencial de ahorro energético del parque edificatorio existente. A la conclusión de dicho análisis, se ha desarrollado una metodología para generar el modelo digital de un edificio a partir de dos fuentes de información: el catastro nacional, y una base de datos de soluciones constructivas, instalaciones y estrategias de rehabilitación.

Esta metodología se ha implementado en una herramienta web, llamada EDEASim cuyo principal objetivo es facilitar, al propietario de una vivienda o edificio, una estimación del potencial de ahorro energético a través de estrategias de rehabilitación.

La herramienta web, permite la generación del modelo digital del edificio objeto de análisis, para posterior simulación mediante el motor de cálculo de reconocido prestigio Energy+.

Las diferentes estrategias de rehabilitación son analizadas con diferentes criterios: energético (ahorro del consumo energético), económico (coste de inversión y periodo de amortización), ambiental (reducción de emisiones de CO_2) y social (nivel de intrusismo de las obras y duración de las mismas).

De este modo, se ha conseguido obtener una herramienta sencilla y al mismo tiempo fiable y que pretende impulsar el sector de la rehabilitación energética en España.

REFERENCIAS

Braulio, M., Bovea, M.D. & Ruá, M.J. (2014). Methodology for energy characterization of the existing building stock. 18th International Congress on Project Management and Engineering: Book of Proceedings.

Brundtland, G.H. (1987). Our Common Future: Brundtland Report. ONU.

Consejería de Fomento del Gobierno Extremadura (2012). Base de Precios de la Construcción de Gobierno Extremadura. Disponible en http://baseprecioconstruccion.gobex.es/

Dascalaki, E. G., Droutsa, K. G., Balaras, C. A., & Kontoyiannidis, S. (2011). Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. *Energy and Buildings*, 43(12), 3400–3409

EDEASim, Herramienta de Evaluación Energética (2015). http://edeasim.aidico.es/

Energy+. U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. EnergyPlus Energy Simulation Software: EnergyPlus version 8.0.0. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus

España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se establece el Código Técnico de la Edificación, CTE. Disponible en http://www.codigotecnico.org/

Gamero, E., Vizcaíno, A.M. & Conejero, S. (2009). Proyecto EDEA: Desarrollo de la Eficiencia Energética en la Arquitectura. XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, I.D.A.E. (2010). Guía de Consumos y Emisiones del Transporte.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, I.D.A.E. (2011). Factores de conversión de energía final - Energía primaria y factores de emisión de CO_2.

Instituto Tecnológico de la Construcción. Base de Datos de la Construcción BEDEC (2012),

Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de España (1993). Catálogo Europeo de Residuos (CER).

Proyecto CLIMEX. Ficheros climáticos. http://renov.proyectoedea.com/es/content/resultados

Proyecto E4R: Evaluación de la eficiencia energética de edificios. Rehabilitación en el espacio SUDOE. (Comisión Europea - Programa SUDOE), www.e4rproject.eu, 2011-2013.

Proyecto EDEA-Renov: Desarrollo de la eficiencia energética en la arquitectura: rehabilitación, innovación y TICs. (Comisión Europea - Programa LIFE+09), www.renov.proyectoedea.com, 2011-2014.

Sede Electrónica de la Dirección General del Catastro. Disponible en http://www.sedecatastro.gob.es/

05-012

ANALYSIS OF ANNUAL HEATING AND COOLING ENERGY REQUIREMENTS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS IN HOT CLIMATES IN MEXICO

Castelán, Jose Arturo; Aparicio-Fernández, Carolina; Ferrer-Gisbert, Pablo; Vivancos Bono, Jose Luis
Universitat Politècnica de València

A great amount of world energy demand is connected to the built environment. Energy use attributed to residential buildings makes up nearly 16% of the total energy consumption in Mexico. This makes residential buildings the third largest energy end user in the country, only behind the transportation and industrial sectors. In the presented paper, the interactions between different conditions, of a housing project type in the hot climatic zones in Mexico – hot humid, hot sub humid and hot dry – through building energy simulation program has been evaluated. The dynamic simulations were carried out with TRNSYS software a dynamic simulation software to estimate the annual heating and cooling demand. The effect of the parameters like the climatic conditions in 6 locations (Cancun, Veracruz, Acapulco, Tapachula, Chihuahua, and Monterrey), insulation and thermal mass, aspect ratio, window systems including window area and glazing system, ventilation rates and different outdoor air control strategies on annual building energy requirements is examined and the results are presented for each city.

Keywords: *Housing type; Energy demand; Hot Climate; Energy efficiency; Simulation*

ANÁLISIS DE LOS REQUERIMIENTOS ANUALES DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN PARA EDIFICIOS RESIDENCIALES EN CLIMAS CÁLIDOS EN MÉXICO.

Una gran cantidad de la demanda mundial de energía está relacionada con el entorno construido. El uso de energía atribuido a la edificación residencial constituye casi el 16% del consumo total de energía en México, lo que provoca que dicho sector sea el tercer mayor consumidor de energía final del país, sólo por detrás del transporte y el sector industrial. En el trabajo presentado se han evaluado las interacciones entre las diferentes condiciones de una vivienda tipo, en zonas climáticas cálidas en México – climas cálido húmedo, cálido subhúmedo y cálido seco–, a través de un programa de simulación energética. Las simulaciones en el transitorio se llevaron a cabo con el software TRNSYS, un software dinámico de simulación para estimar la demanda anual de calefacción y refrigeración. Se ha analizado el efecto de distintos parámetros como el aislamiento y masa térmica de los cerramientos, la relación de aspecto, el acristalamiento (incluyendo el área de la ventana y el sistema de acristalamiento), las renovaciones en la ventilación y las diferentes estrategias de control del aire exterior. Para las condiciones climáticas de cada ciudad analizada (Cancún, Veracruz, Acapulco, Tapachula, Chihuahua y Monterrey) se presentan los requerimientos anuales de energía de la vivienda.

Palabras clave: *Viviendas tipo; Demanda energética; Clima Cálido; Eficiencia energética; Simulación*

Correspondencia: Jose Luis Vivancos Bono jvivanco@dpi.upv.es

1. Introducción

El sector de la edificación supone casi un tercio de la energía final consumida y se manejan previsiones de crecimiento de entorno al 50% en los próximos 35 años. El subsector de edificación residencial por su parte, representa un consumo de alrededor de tres cuartas partes del total (International Energy Agency, 2013).

El clima de un país tiene una gran influencia en sus patrones de consume energético. Debido a su ubicación geográfica y su relieve, México posee una gran diversidad climática. Dos terceras partes del país se consideran áridas o semiáridas mientras que el sureste es húmedo. Además, más de la mitad de la población reside en cotas superiores a los 1500 m. Debido a esta diversidad y, como continuación de nuestros trabajos en relación con mejoras energéticas en viviendas tipo en México (Castelán, Aparicio, Vivancos, 2014), en este artículo se analiza la influencia de las distintas variables en el diseño de una vivienda en seis ciudades de México, caracterizadas por tener clima cálido (Acapulco, Veracruz, Monterrey, Tapachula, Cancún y Chihuahua).

Aunque muchas viviendas con niveles socioeconómicos bajos no cuentan con aire acondicionado, esto reduce la calidad de vida de sus habitantes. Por otra parte, el estándar de vivienda social mexicana de los últimos años es la vivienda aislada o adosada, excluyente de los beneficios de la arquitectura bioclimática, con escaso empleo de materiales aislantes apropiados (Fundación IDEA, 2013).

La Agencia Internacional de la Energía preconiza para su escenario más razonable, una disminución de la intensidad energética para el sector residencial mexicano de más del 40% lo que implica, lógicamente, importantes esfuerzos en ahorro energético (International Energy Agency, 2013).

Ante esta situación se han desarrollado algunas estrategias fundamentalmente encaminadas a la adopción de medidas sustentables dentro de las viviendas de interés social: promoción de viviendas más eficientes, desarrollo de sistemas de evaluación de la eficiencia energética, incipiente desarrollo de legislación y normativa, etc. Así, por ejemplo, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) publicó en 2010 la segunda edición del “Código de Edificación de Vivienda” que incluye un capítulo de “Sustentabilidad”, aunque no tiene carácter vinculatorio.

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) por su parte, ha publicado hasta la fecha 13 normas obligatorias relacionadas con las viviendas y celebra foros de intercambio de experiencias e investigaciones. Destaca fundamentalmente la norma NOM-020-ENER-2011, que establece las condiciones mínimas de eficiencia de la envolvente de la vivienda y permite reducciones en el consumo de energía utilizado por aire acondicionado y aparatos de calefacción.

Por supuesto, las características de los propios electrodomésticos influyen en el consumo energético. En un interesante estudio (Rosas-Flores J.A., Rosas-Flores D., Morillón D, 2011) se concluye que los dos electrodomésticos más consumidores de energía son el frigorífico y el aire acondicionado, de manera que las normas y los programas públicos de incentivos para la renovación de estos aparatos supondrían un gran potencial de ahorro de energía y emisiones de CO_2.

También a nivel científico se han realizado esfuerzos en el país. Relacionamos algunas de las publicaciones más relevantes de los últimos años.

Solís (2010) realiza un estudio térmico mediante DesignBuilder de seis viviendas económicas de 30 m^2 en clima cálido-seco. Y concluye que la orientación del conjunto de

viviendas pareadas afecta sensiblemente a la necesidad de enfriamiento y que el sombreo solo resulta eficiente si es total (no solo mediante aleros y persianas).

Posteriormente Griego, Krarti y Hernández Guerrero (2012) plantean una serie de recomendaciones para optimizar la eficiencia energética y el confort térmico para viviendas en la ciudad mexicana de Salamanca. Argumentan que, aunque se han desarrollado las primeras normativas, siguen siendo en su mayor parte recomendaciones voluntarias poco detalladas y no muy consistentes con las diversas zonas climáticas mexicanas. Es por ello que se hace necesario un enfoque integral en la búsqueda de las mejores soluciones posibles. Concluyen, como se ratifica en los resultados de este artículo, que se debería hacer un mayor esfuerzo en implementar unos mínimos niveles de aislamiento. Además, algunas de las recomendaciones normativas (p.ej. acabados oscuros) podrían incluso incrementar el consumo o disminuir el confort.

Romero et al. (2013) por su parte analizan 21 prototipos de viviendas para personas de bajos recursos en la ciudad de Mexicali (clima cálido-seco), similares a los utilizados en el presente artículo, encontrando que las diferencias de consumo (kWh/año m^2) entre algunos de ellos llegan a ser de hasta 3 veces. Además la percepción del confort térmico durante el verano por parte de los usuarios fue de “inconfortable” en un 81,2% de los casos.

Muy recientemente Oropeza-Pérez y Østergaard (2014) han analizado el potencial de ahorro energético en todo el país a través de la simulación de 27 casos mediante un modelo de ventilación simplificado. Comprueban que el potencial de ahorro es mayor en climas cálidos y secos, utilizando materiales con alta capacidad calorífica. Para climas cálidos y húmedos son preferibles los materiales de baja capacidad calorífica y para condiciones de mucha humedad la ventilación natural resulta menos apropiada.

Con la conjunción de las condiciones exteriores y el diseño del edificio adecuados, la ventilación natural puede asegurar el confort térmico de los ocupantes siempre que se regule adecuadamente. Por lo tanto ésta debe ser una estrategia que debería de tener la máxima prioridad entre los agentes implicados en la promoción y construcción de viviendas en México (Oropeza-Perez I., Østergaard, P.O., 2014b).

2. Metodología. Fase de introducción de datos.

2.1 Zonas Climáticas

Según la clasificación de los climas en México se han seleccionado ciudades con climas cálidos como Acapulco, Veracruz, Monterrey, Tapachula, Cancún y Chihuahua.

La clasificación como clima cálido o templado la determina la isoterma de 18ºC (http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/clima/metodologia.aspx). Para el cálculo de los resultados se ha empleado los datos meteorológicos de Meteonorm del que obtenemos datos de temperatura exterior, humedad relativa, radiación solar y viento cada 10 minutos a lo largo de un periodo anual. Estos datos son los que utiliza el programa para calcular el comportamiento térmico de la vivienda en régimen transitorio.

Los referidos datos de Meteonorm se introducen en el programa a través de un input denominado Type 109, lo que permite analizar el comportamiento de un mismo modelo de edificio en distintas zonas climáticas. Trabajar con programas de régimen transitorio permite obtener resultados más reales, ya que el comportamiento de la vivienda varía continuamente según las condiciones ambientales exteriores.

Tabla 1: Climas de las seis ciudades representativas elegidas

ESTADO	CIUDAD	CLIMA	Temp. Media Anual ºC	Temp. Max ºC	Temp. Min ºC	% HR
Guerrero	Acapulco	Tropical humedo	27,7	32,4	23	75
Quintana Roo	Cancún	Cálido subhumedo	27,3	30	22,7	79
Chihuahua	Chihuahua	Seco semicálido	18,6	26,3	10,8	50
Monterrey	Monterrey	Semiárido cáildo	22,9	28,6	17,2	65
Chiapas	Tapachula	Cálido Subhumedo	26,8	33,7	19,9	74
Veracruz	Veracruz	Tropical cálido	25,4	28,8	22	79

2.2 Identificación de la vivienda tipo

El análisis se ha realizado con dos viviendas tipo, aisladas para el estudio, con el objetivo de conocer el comportamiento de cada una de ellas en un escenario extremo. Se trata de dos viviendas compactas con una superficie construida de 36 m² como mínimo, siguiendo las directrices del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (Infonavit, http://portal.infonavit.org.mx/).

Para el análisis y desarrollo del trabajo se aplican los siguientes pasos

1. Con el Type building project multi zone del simulador TRNSYS se diseña una vivienda en 3D donde se introduce la geometría de la vivienda a estudiar y los materiales con los que está compuesta.
2. Se establece cada de uno de los parámetros de cálculo considerando en el estudio la geometría, la orientación, la envolvente térmica, la zona acristalada y los sistemas previstos de climatización que serán los indicadores de la cantidad de demanda energética.
3. Se definen los datos meteorológicos de diferentes climas a estudiar.
4. Se hacen simulaciones con distintas propuestas constructivas en las que se emplean distintos materiales.

2.3 Materiales de la envolvente térmica.

Para introducir los datos en el programa es imprescindible definir los materiales de la envolvente térmica. Consideramos que los materiales empleados para la construcción de la vivienda de interés social son comunes en todas las comarcas de México. Se trata de materiales convencionales y con poco nivel de industrialización.

- La tabla 2 muestra la resistencia térmica (m^2K/W) en las tres fachadas consideradas en las distintas simulaciones. Se han considerado resistencias térmicas considerablemente distintas para poder observar fácilmente los efectos de la resistencia del cerramiento sobre los resultados.

Tabla 2. Fachada. Estrategias en fachadas utilizadas en la simulación.

Fachada	Composición	Espesor (m)	R (m^2K/W)
S1	hormigón	0.11	**0.67**
S2	tabique de ladrillo hueco	0.06	**0.35**
S3	tabique de l.h. + aislamiento	0.10	**1.35**

- Suelo. El cerramiento inferior está en contacto con el terreno. La resistencia térmica considerada para el cálculo se presenta en la tabla 3. Para esta propuesta la resistencia es muy pequeña, semejable a un cerramiento sin aislamiento térmico y con alta conductividad. En este estudio no se han modificado las características del suelo para los distintos casos analizados.

Tabla 3. Características del suelo considerado.

Suelo	Espesor (m)	R (m^2K/W)
Suelo	0.1	**0.04**

- Cubierta. Cerramiento horizontal superior en contacto con el ambiente exterior. La resistencia térmica empleada en este cerramiento se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Cubierta. No transitable.

Cubierta	Espesor (m)	R (m^2K/W)
Suelo	0.26	**0.64**

- Carpintería. Se han considerado dos tipos de carpintería convencionales, de madera y metálica de aluminio. En la tabla 5 se resumen los valores de transmitancia térmica para cada uno de los tipos empleados en la simulación.

Tabla 5. Carpintería.

Carpintería	U (W/m^2K)
Madera	2.2
Aluminio	5.7

3. Metodología. Fase de simulación.

Se ha realizado un diseño experimental teniendo en cuenta las siguientes variables:

- Geometría de la vivienda; se analizan dos tipologías manteniendo constante la superficie útil.
- Solución constructiva de la fachada; se analizan las tres soluciones constructivas descritas, manteniendo constante el espesor de la misma.
- Orientación de la vivienda; se analizan cuatro orientaciones (Norte, Este, Sur y Oeste).
- Porcentaje de acristalamiento para una orientación dada; se analizan tres porcentajes distintos (100 %, 80% y 60%).
- Tipología del vidrio en ventanas; se analizan tres tipos de vidrios (sencillo, doble y doble bajo emisivo).
- Carpintería en ventanas; se analizan dos tipos de marcos (aluminio y madera).

Se han realizado 216 simulaciones (2x3x4x3x3) teniendo en cuenta todas las variables de forma independiente para poder ver el efecto de cada una de ellas en los resultados. Se exceptúa el caso de la carpintería exterior, ya que de las seis posibles combinaciones solo se han tenido en cuenta tres (aluminio con vidrio sencillo, madera con vidrio doble y madera con vidrio bajo emisivo). Las soluciones constructivas del techo y el suelo se han mantenido fijas.

3.1 Geometría de la vivienda

En este trabajo se proponen dos viviendas con la misma superficie útil pero con distinta compacidad. El trabajo se realiza con la vivienda Tipo A es rectangular y la Tipo B cuadrada. A continuación se analizan los dos tipos de viviendas analizados.

1. Las dimensiones exteriores para la vivienda Tipo A: 4,0 x 9,0 m en planta y 2,3 m de altura libre.
2. Las dimensiones exteriores para la vivienda Tipo B: son de 6,0 x 6,0 m en planta y 2,3 m de altura libre.
3. El volumen de aire interior varía en cada una de las viviendas total de la vivienda, es el volumen de aire interior que debemos considerar para su climatización. Para la vivienda Tipo A: 74,04 m³ y para la vivienda Tipo B: 74,73 m³
4. La superficie útil de cada vivienda será de 32,16 m² para la vivienda Tipo A y 32,49 m² para la vivienda Tipo B. La pequeña variación de la superficie viene dada por el espesor de los cerramientos considerados.

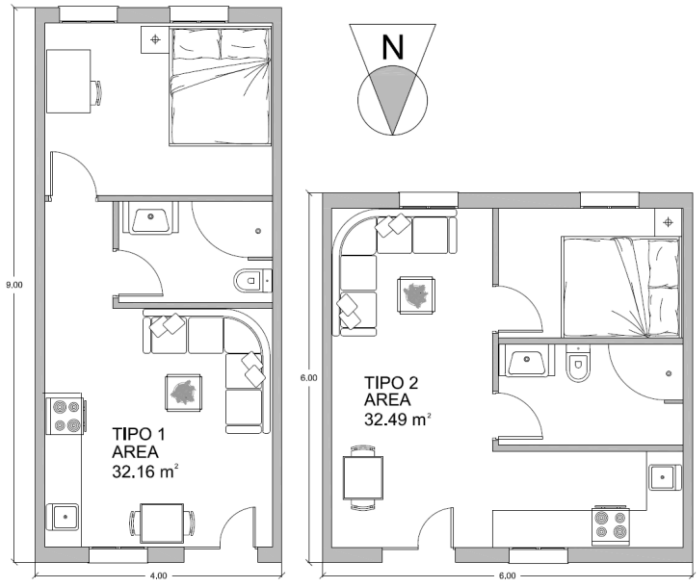
Ambos tipos de vivienda tienen la misma superficie, orientación y superficie de huecos acristalados, además, tienen la misma composición material en todos los elementos constructivos. A partir de estos tipos se inician las simulaciones para conocer la influencia de diferentes variables.

Simplemente el factor de forma hace que se obtengan resultados diferentes ya que la superficie expuesta al exterior varia.

3.3 Envolvente térmica

Analizar la influencia que tiene el aislar los cerramientos sobre la demanda total de las viviendas es el objeto de este apartado. La tipología considerada en este documento es una vivienda con inercia térmica S1, poco aislada S2, con aislamiento S3.

Figura 1: Plantas de vivienda analizadas. Tipo A (1 en la figura) y B (2).



3.4 Orientación de la vivienda

Una vez definidas las viviendas, se ha supuesto el dato de partida con orientación norte en la fachada de acceso y sur en la fachada trasera. A partir de esta orientación se ha ido rotando la vivienda y se ha obtenido el resultado cada 90 grados, de forma que se analizan cuatro orientaciones distintas para cada vivienda.

Tabla 6: Casos considerados para el porcentaje de acristalamiento

	Porcentaje de acristalamiento		
En fachada en la orientación elegida	100	80	60
En fachada opuesta	0	20	40

3.5 Carpintería exterior y vidrio en ventanas

Como se ha indicado solo se han analizado tres de los seis casos posibles por considerarlos más representativos:

- Marco aluminio con vidrio sencillo.
- Marco madera con vidrio doble
- Marco madera con vidrio doble bajo emisivo

4. Resultados y Conclusiones

Para analizar los resultados de los 216 experimentos realizados se ha optado por emplear diagramas de “cajas y bigotes” (box-plots, box and whiskers). Estos representan los tres cuartiles y los valores máximo y mínimo de una serie de datos. Los lados del rectángulo representan el primer y tercer cuartil y la línea intermedia representa la mediana. Entre otras cosas se visualiza muy bien la asimetría de la distribución.

Dentro de las 6 ciudades de clima cálido analizadas, Chihuahua y Monterrey presentan temperaturas medias anuales significativamente inferiores a las cuatro restantes, lo que queda reflejado en los resultados obtenidos.

Para evitar el exceso de figuras, para cada caso analizado se muestran solo los resultados correspondientes a dos de las seis ciudades que se han considerado como más representativas.

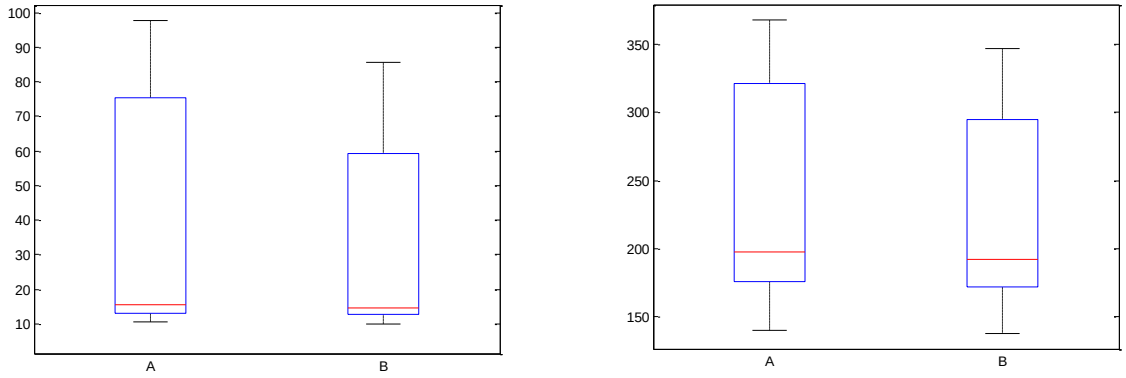
4.1 Tipo de vivienda

Como se observa en la figura 2, ambos tipos de vivienda tienen demandas (mediana) muy similares. La importancia de este parámetro no es por lo tanto muy significativa aunque la variabilidad de los resultados es mayor en la “tipo A” debido a su planta rectangular (los cambios de orientación afectan más a los resultados).

En todas las ciudades se observa una clara asimetría positiva (los datos tienden a concentrarse hacia la parte inferior de la distribución).

Figura 2: Qtot (kWh) vs. tipo de vivienda (A y B) a) Cancún, b) Chihuahua

a) **b)**

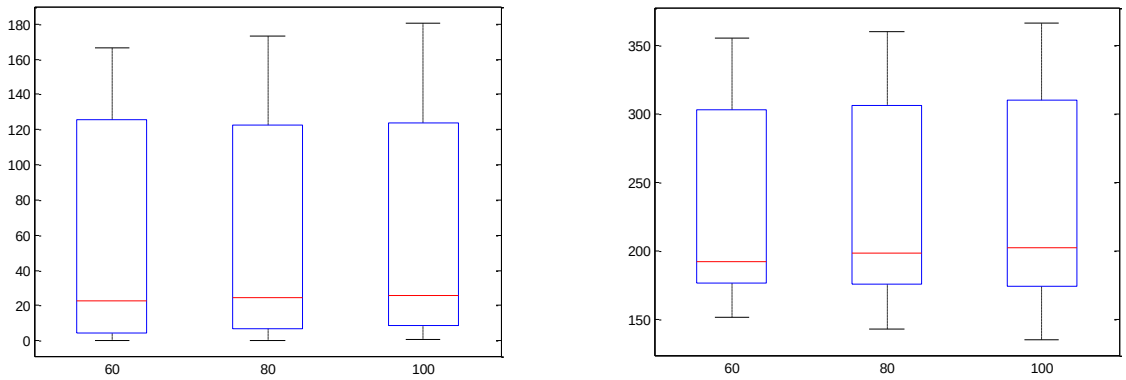


4.2 Porcentaje de acristalamiento

Para analizar la influencia de este parámetro se han empleado los casos presentados en la tabla 6. Como se observa en la figura 3, la influencia de éste parámetro, según se ha planteado, tampoco resulta significativa. Ello es debido a que el total del acristalamiento siempre es el 100%, por lo que, al ir variando la orientación para cada uno de los tres casos, las posibles diferencias se compensan.

Figura 3: Qtot (kWh) vs. % acristalamiento a) Acapulco, b) Chihuahua

a) **b)**



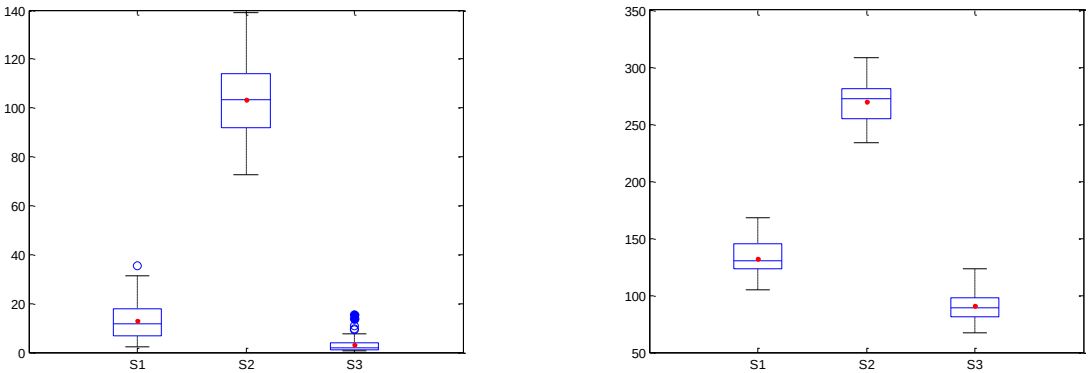
4.3 Envolvente

Como se observa en la figura 4, es la variable que más afección tiene en los resultados. Por otra parte las cajas y bigotes son mucho más cortos que en el resto de figuras siendo la superposición de éstos, cuando se analiza la influencia de otras variables, la que los alarga. Por este motivo, en algunos casos se presentan valores atípicos (señalados en rojo) que son los que se encuentran más allá de 1,5 veces el rango intercuartílico (límite señalado por los bigotes).

Se observa la enorme diferencia de la envolvente S2 respecto a las otras dos y la ligera (más significativa en el caso de Monterrey) mejora aportada por la envolvente S3 frente a la S1.

Figura 4: Qtot (kWh) vs. envolvente a) Tapachula, b) Monterrey

a) **b)**

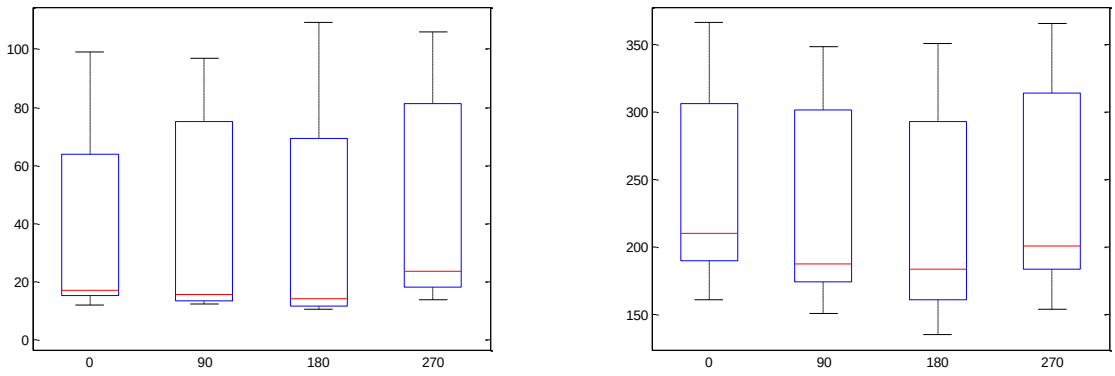


4.4 Orientación

La orientación Oeste es la peor para las seis ciudades analizadas lo que es lógico al tratarse de climas cálidos. Para el caso de Chihuahua, cuya temperatura media es la inferior de las seis y su altitud sobre el nivel del mar de 1482 m, la orientación Norte resulta igualmente desfavorable.

Figura 5: Qtot (kWh) vs. orientación a) Veracruz, b) Chihuahua

a) **b)**

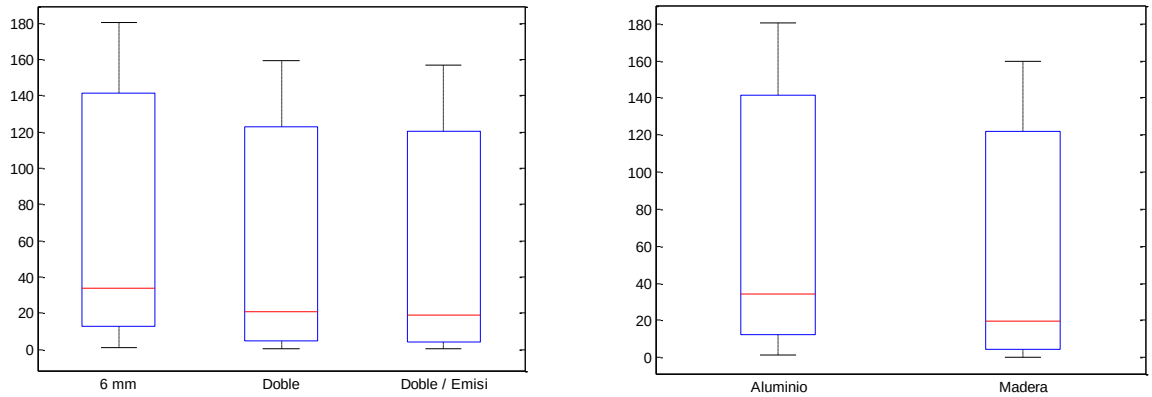


4.5 Carpintería y vidrio

Los resultados refrendan para las seis ciudades la mejora que supone el empleo de carpintería de madera con vidrio doble frente a la de aluminio con vidrio sencillo. La introducción de vidrio de baja emisividad es sin embargo muy poco significativa.

Figura 6: Qtot (kWh) vs. tipo de vidrio (a) y carpintería (b) en Acapulco

a) **b)**



5. Conclusiones

Profundizando en el estudio expuesto en la pasada edición del congreso (Castelán, Aparicio, Vivancos, 2014) se ha sistematizado la obtención de resultados a partir de 216 experimentos que consideran cada variable analizada de forma independiente, para poder ver el efecto de cada una de ellas en los resultados.

Dichas variables han sido: la geometría de la vivienda, la solución constructiva de la fachada, la orientación, el porcentaje de acristalamiento para una orientación determinada, y la carpintería y tipo de vidrio.

Para visualizar los resultados se ha optado por emplear diagramas de “cajas y bigotes” por su facilidad de lectura. Dentro de las 6 ciudades de clima cálido analizadas, Chihuahua y Monterrey presentan temperaturas medias anuales significativamente inferiores a las cuatro restantes (debido a sus altitudes más elevadas), lo que queda reflejado en los resultados obtenidos.

De entre todas las estrategias de mejora analizadas, la que produce ahorros más significativos es la mejora de la solución constructiva de la fachada. La incorporación de 40 mm de poliuretano a un cerramiento de ladrillo hueco sencillo de 60 mm reduce en la mayoría de casos la demanda de energía a menos de la tercera parte.

Otras variables como la orientación o el aislamiento de huecos también se han revelado como significativas.

5. Referencias

Castelán Peña J. A., Aparicio Fernández C., Vivancos Bono J. L. (2014). La eficiencia energética como una herramienta de planificación estratégica en un proyecto de vivienda tipo. 18th International Congress on Project Management and Engineering. AEIPRO.

CONAVI. (2010). *Código de Edificación de Vivienda*. www.conavi.gob.mx.

Fundación IDEA. (2013). *Estrategia nacional para la vivienda sustentable*. México.

Griego D., Krarti M., Hernández-Guerrero A. (2012). Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico. *Energy and Buildings 54,* 540–549.

International Energy Agency. (2013). *Transition to sustainable buildings. Strategies and opportunities to 2050*.

NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011. *Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional*. http://www.economia-noms.gob.mx/noms/detalleXNormaAction.do

Oropeza-Pérez I., Østergaard P.A. (2014). Energy saving potential of utilizing natural ventilation under warm conditions – A case study of Mexico. *Applied Energy 130* 20–32.

Oropeza-Pérez I., Østergaard P.A. (2014b). The influence of an estimated energy saving due to natural ventilation on the Mexican energy system. *Energy 64 1080-1091*.

Romero R.A., Bojórquez G., Corral M., Gallegos R. (2013). Energy and the occupant’s thermal perception of low-income dwellings in hot-dry climate: Mexicali, México. *Renewable Energy 49 267-270.*

Rosas-Flores J.A., Rosas-Flores D., Morillón Gálvez D. (2011) Saturation, energy consumption, CO_2 emission and energy efficiency from urban and rural households appliances in Mexico. *Energy and Buildings 43 10–18*

Solís D. (2010). Análisis térmico de una vivienda económica en clima cálido-seco bajo diferentes orientaciones y medidas de sombreado. *Estudios sobre arquitectura y urbanismo del desierto, 2010*. http://www.dad.uson.mx/esaud.html

05-013

DESIGN OF A FLOATING WIND TURBINE WITH AN ARTICULATED CONCRETE TOWER.

Alvarez Barroso, Juan [1]; Díez Minguito, Manuel [2]; Jadraque Gago, Eulalia [2]

[1] Universidad de Granada, [2] E.T.S. Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Granada

Offshore wind energy began its development in early 2000, in coastal countries of the North Sea, having a marked success due to its environmental advantages as well as the plenty and steady wind resource that it provides. Current foundation systems, mono-pile and jacket, are suitable in shallow waters, under 60 m depth. For deeper sea locations, floating structures can be a possible solution. The objective of this work is to design a high-efficiency wind turbine supported by a floating-platform, what can be moored in deep-water, and assembled by a simple process. Post-tensioned concrete has been considered in the design due to its strength and durability, likewise an articulated union nacelle-tower, in order to reduce the oscillation produced by waves and wind. Moreover, a single mooring system allows the structure (platform & turbine) to be orientated in the wind provenance direction. The structure is proposed to be dry-assembled, to reduce manufacturing costs and improve manufacturing performance. To check the design, simulations of structure have been run for extreme wind and wave values, and their outputs have been the starting point to the tower dynamic structural calculation.

Keywords: *offshore;turbine;floating;post-tensioned;simulation*

DISEÑO DE UN AEROGENERADOR FLOTANTE CON ESTRUCTURA ARTICULADA DE HORMIGÓN

La energía eólica marina comenzó a instalarse a principios del 2000, en países ribereños del Mar del Norte, teniendo un notable desarrollo por sus ventajas medioambientales y la gran disponibilidad y estabilidad del recurso eólico. Los sistemas actuales de cimentación, monopilote y metálico, sólo son aplicables en zonas someras, con profundidades menores a 60 m. Para zonas con mayor profundidad, una posible solución son las estructuras flotantes. El objeto de este estudio es diseñar un aerogenerador sobre plataforma flotante, que pueda ser instalado en profundidades indefinidas, con un óptimo rendimiento productivo, y de fabricación sencilla. Para el diseño, se emplea una estructura de hormigón postesado, por su resistencia y durabilidad, y una unión articulada fuste-turbina para mitigar las oscilaciones inducidas por viento y oleaje. Se propone un fondeo mono-cabo para que la estructura se auto-oriente en la dirección de procedencia del viento. Se plantea la construcción en seco, para reducir costes de ensamblaje y mejorar el rendimiento. En la etapa de verificación, se han realizado simulaciones de la estructura en el emplazamiento, frente a estados de mar y viento extremales. A partir de los resultados del modelo, se ha realizado un cálculo de la estructura del fuste en condiciones dinámicas.

Palabras clave: *Aerogenerador;marino;flotante;postesado;modelo*

Correspondencia: Juan Alvarez Barroso juanalvbar@gmail.com

1. Introducción

La energía eólica marina es una tecnología que nació como evolución de la eólica terrestre. Las ventajas que este sistema de producción presenta frente a su predecesor pueden resumirse en los siguientes (Solé, 2008):

- Calidad del recurso eólico. Comparado con el medio terrestre, el medio marino presenta en general un régimen de vientos caracterizado por una mayor velocidad media, así como por una menor intensidad de turbulencias. Esto resulta en un mayor rendimiento de la producción.
- Gran disponibilidad de espacios. La escala espacial de los emplazamientos marinos es en general mayor a la de las ubicaciones en tierra.
- Posibilidad de menor impacto visual. En principio, el impacto visual de los parques marinos viene determinado por la distancia de estos a la costa. Por lo tanto, a medida que un parque se aleja de la costa se va haciendo menos visible desde tierra.

Por otra parte, esta tecnología presenta una serie de desventajas:

- Cimentaciones especiales. El fondeo de los molinos en el fondo marino suele ser complicado, desde el punto de vista técnico y económico.
- Transporte de la energía. La evacuación de la energía desde el parque a la red eléctrica de tierra suele conllevar grandes pérdidas de energía, que hacen necesaria la construcción de centrales de transformación en el mar para hacer el transporte en alta tensión.

Pese a estas desventajas, la energía eólica marina es una tecnología que ha sido ampliamente instalada en los países ribereños del Mar del Norte, desde principios de la década del 2000. Este mar, tiene una profundidad media reducida, en torno a los 35 m, lo cual ha permitido la instalación de molinos con cimentaciones tradicionales:

- Gravedad. Hasta 15 m de profundidad
- Monopilote. Hasta 30 m de profundidad.
- Trípode. Hasta 40 m de profundidad.
- Jacket. Estructuras metálicas propias de la industria petrolífera. Hasta 60 m de profundidad.

Para mayores profundidades, una posible solución pasa por el desarrollo de plataformas flotantes, las cuales permitirían el anclaje de la turbina a casi cualquier profundidad.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es diseñar y verificar un aerogenerador sobre plataforma flotante, que permita la instalación de un parque eólico en cualquier emplazamiento marino independientemente de la profundidad del fondo.

Para abordar esta tarea de una forma más práctica, se ha elegido una ubicación real en la que proyectar la obra: Se trata del Golfo de Cádiz, una zona del litoral cuya alta disponibilidad de recurso eólico es ampliamente conocida.

3. Metodología

3.1 Ubicación

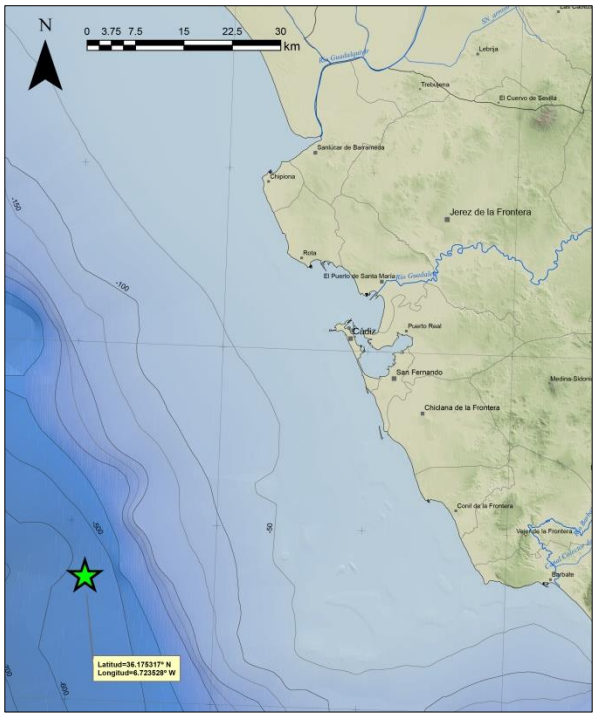


Figura 1: Ubicación elegida en el Golfo de Cádiz.

Se parte de la ubicación ilustrada en la Figura 1, a 51 km frente a la costa de Cádiz. Para la elección de la ubicación de han tenido en cuanta diversos criterios, entre los que cabe destacar:

- Impacto visual. Se lleva a cabo un estudio de la curvatura terrestre en la zona de estudio, y se determina la distancia a la que hay que llevar el parque para que los molinos no sean divisables desde tierra.

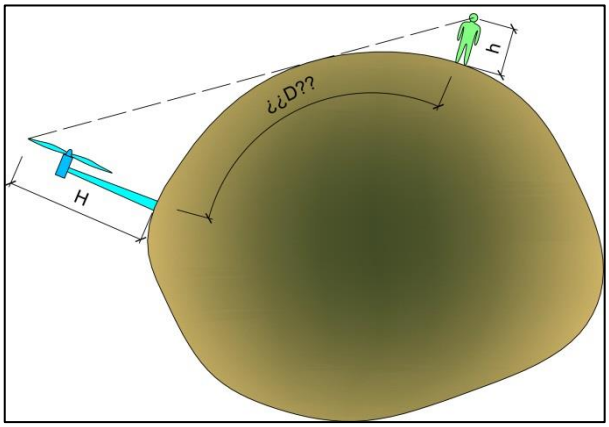


Figura 2: Planteamiento del problema geométrico.

- Interferencia con el tráfico marítimo. Se impide que el parque sea un obstáculo para la navegación alejándolo de las principales rutas marítimas.

3.2 Diseño propuesto

Se parte de un diseño general del molino, que será el punto de partida para el proceso de verificación. Se trata de un molino sobre plataforma flotante prismática, ambos constituidos de piezas prefabricadas de hormigón postesado. Se pueden destacar las principales características del mismo:

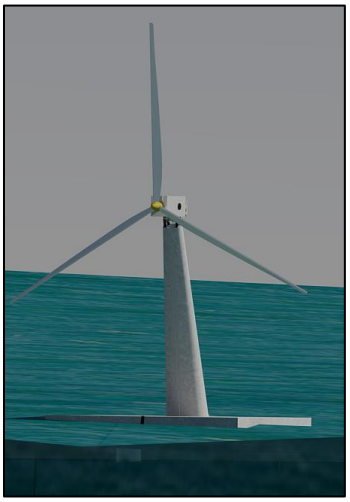


Figura 3: Vista general del molino diseñado.

- Unión articulada fuste-turbina. Las oscilaciones que el oleaje induce en la estructura podrían provocar una pérdida de rendimiento energético. Interponiendo una rótula entre el fuste y la turbina, se logra independizar el giro de ambos componentes y se mitiga la amplitud de las oscilaciones del rotor.

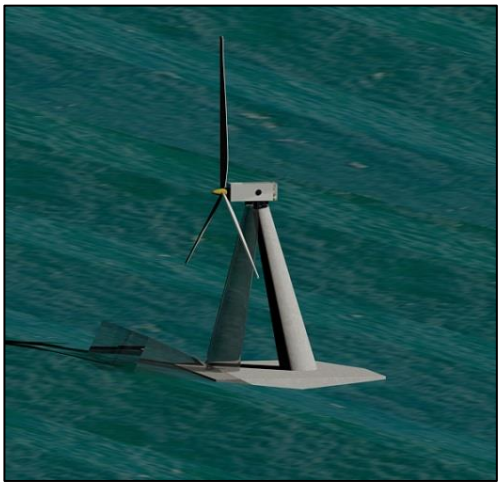


Figura 4: Unión articulada en la estructura del molino.

- Estructura de hormigón postesado. Utilizando este material de consigue una óptima resistencia con secciones mínimas, además de prevenir la corrosión en las armaduras por el ataque del medio marino.

- Fondeo monocabo. Consiste en una sola línea de fondeo del molino, que permite que este se direccione automáticamente en la dirección de procedencia del viento, prescindiendo de mecanismos de orientación como los que tienen los molinos en tierra.

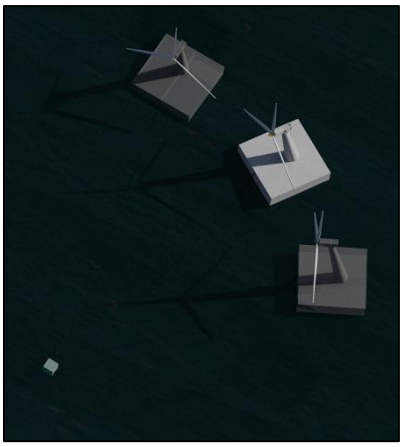


Figura 5: Sistema de fondeo monocabo

3.3 Proceso constructivo

Se propone la construcción en la planta Navantia Puerto Real. Es un astillero naval que dispone de un dique de carena, así como de grúas pórtico, que permitirían acometer la construcción totalmente en seco, reduciendo previsiblemente los costes del proyecto comparándolos con los que supondría la construcción de una cimentación en el mar.

Los molinos se construyen totalmente en el dique seco, en lotes de cinco unidades. Una vez se hallan los cinco terminados, un remolcador asume la tarea de transportarlos hasta el emplazamiento para proceder al fondeo de los mismos.

Figura 6: Infografía de la construcción de los molinos en el dique seco de la planta Navantia Puerto Real, a 65 km. de la ubicación del parque.

3.4 Verificación

Se trata de comprobar que el molino diseñado cumple con los requerimientos que se le exigen. Para ello, se consideran cinco modos de fallo ante los que hay que verificar el molino:

- Fallo por choque con de las palas con el fuste. Este fallo ocurre cuando las oscilaciones del molino en un determinado estado de mar son tan fuertes que las palas impactan con el fuste.

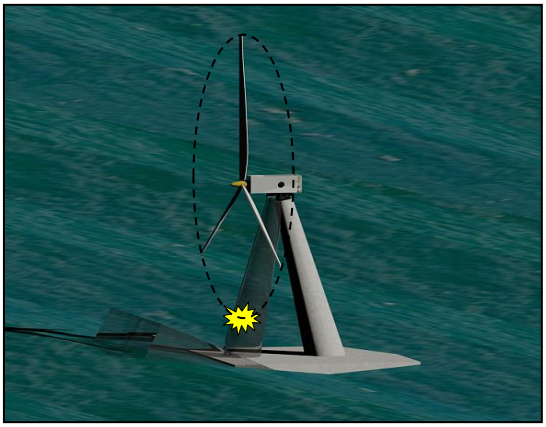


Figura 7: El fallo ocurre cuando la oscilación del molino sobrepasa los 0.47 Rad.

Para conocer los movimientos del molino en un determinado estado de mar, se programa un modelo numérico que simule su comportamiento.

Dada la simetría del problema, se considera el molino como un sólido rígido con movimiento plano, i.e., con dos grados de libertad. Se plantean las ecuaciones fundamentales del movimiento y se resuelven por el método numérico de Runge-Kutta de orden 4 (Patel & Witz, 2013).

Para modelizar las acciones exteriores sobre la estructura, se considera la acción del viento como una fuerza distribuida, aceptando la expresión clásica de la presión dinámica, y considerando el perfil logarítmico de velocidades. La acción del agua se modela por medio de las fuerzas de Froude-Krilov, admitiendo que la profundidad en el emplazamiento es tan grande en comparación con el calado de la obra que puede representarse dicha acción por medio de la teoría lineal del oleaje sin incurrir en un gran error (Chakrabarti, 2001).

Para un determinado estado de mar, se simula el movimiento del molino durante un intervalo de tiempo de 90 s., tiempo suficiente para que el comportamiento del mismo comience a repetirse, y quede registrada la amplitud máxima del giro de la estructura para ese estado de mar.

Para la verificación se dispone de un registro de oleaje de la red SIMAR de Puertos del Estado que contiene mediciones desde el año 1958 hasta la actualidad. La comprobación consiste en simular el comportamiento del molino en los estados de mar extremales registrados, para ver que el giro máximo producido no alcanza el valor que provoca el fallo.

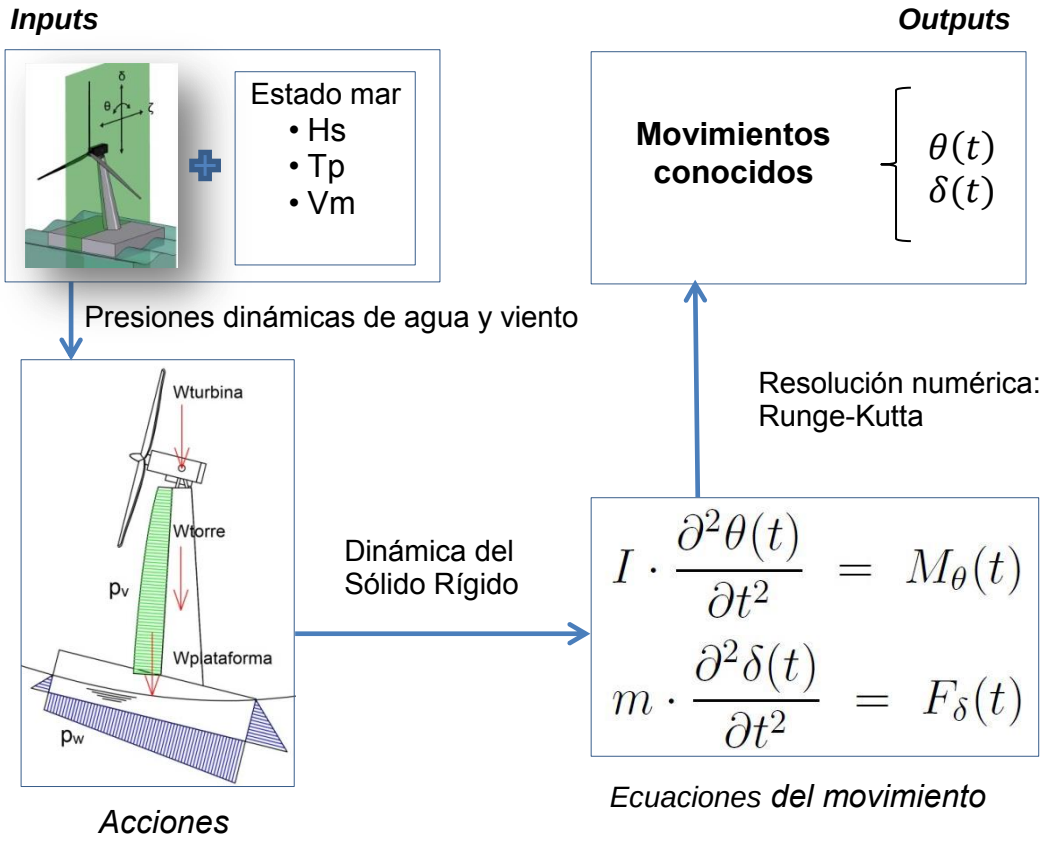


Figura 8: Esquema general del modelo dinámico. Se parte de un determinado estado de mar, caracterizado por una altura de ola, un periodo de oleaje y una velocidad del viento. El resultado de la simulación es el movimiento del molino en el tiempo.

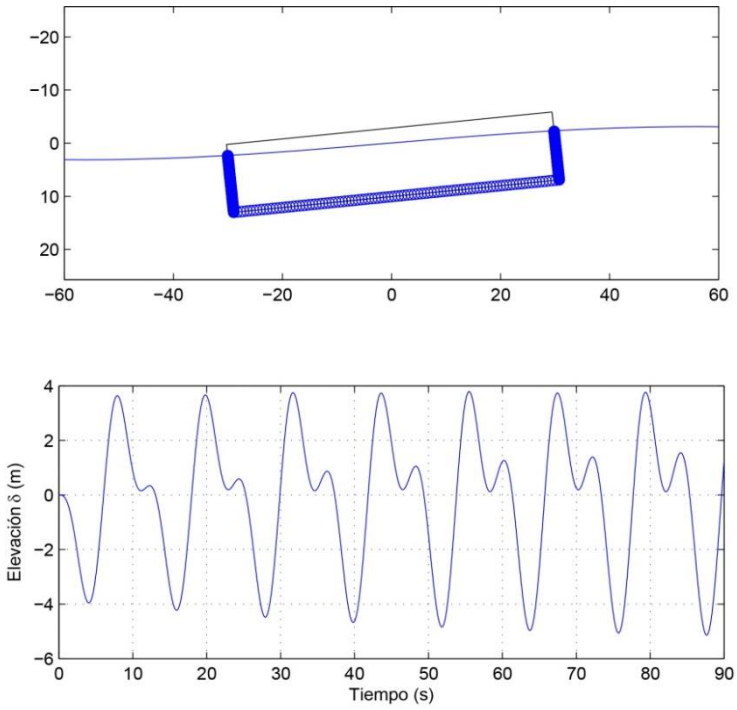


Figura 9: En la simulación de un determinado estado de mar, se almacena el valor máximo del giro de la estructura.

- Fallo por agotamiento resistente a flexión-compresión del fuste. Se considera el fuste como un elemento barra, y se calculan los esfuerzos en el mismo a partir de los resultados del modelo dinámico antes mencionado. Se consideran las acciones exteriores del agua y el viento, además de la acción gravitatoria y las fuerzas de inercia.

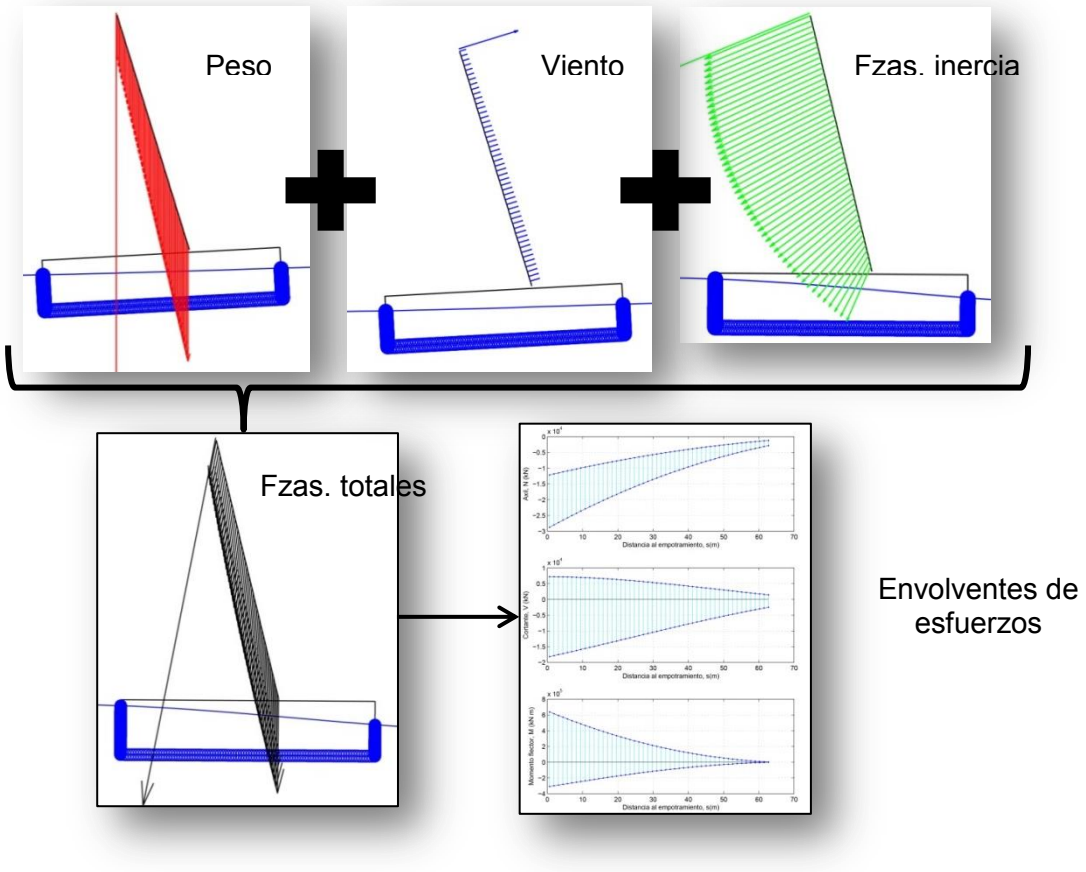


Figura 10: Acciones en el cálculo de esfuerzos en el fuste.

La comprobación se realiza a nivel de sección, verificando que para cada una de las secciones, para cada uno de los estados de mar extremales considerados, no se produce una combinación de esfuerzos que la sección no puede soportar. Este concepto encuentra su aplicación en los diagramas de interacción momento axil, los cuales son indicados para la comprobación de elementos flexo-comprimidos (Hernández-Montes & Gil-Martín 2007).

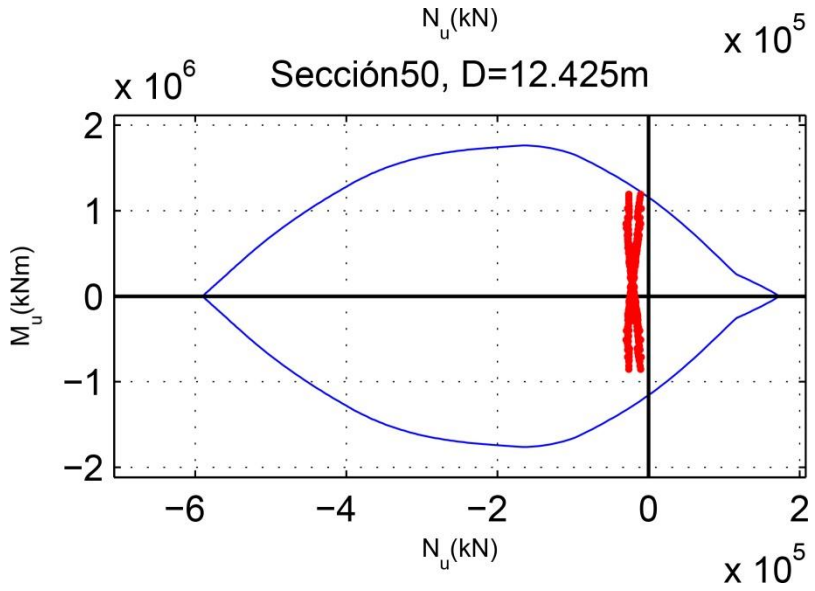


Figura 11: Comprobación de la sección del empotramiento. En azul, el diagrama de interacción. En rojo, las combinaciones de esfuerzos momento flector-axil en los estados de mar extremales.

- Fallo por agotamiento a cortante. Se lleva a cabo según la expresión ampliamente utilizada de la norma EHE. Se desprecia la contribución de las armaduras, aceptando que sólo el hormigón es el responsable de absorber el esfuerzo cortante.
- Fallo por fisuración en el fuste. Este fallo se produce cuanto los esfuerzos de flexión-compresión son tales que se produce fisuración en el fuste, quedando las armaduras expuestas al ataque del medio marino. Para este fallo, no se comprobarán los estados de mar extremales, ya que en este caso se acepta que el fallo se produzca de forma ocasional. En su lugar, se comprueba para un estado de mar estadísticamente representativo del clima marino de la zona.

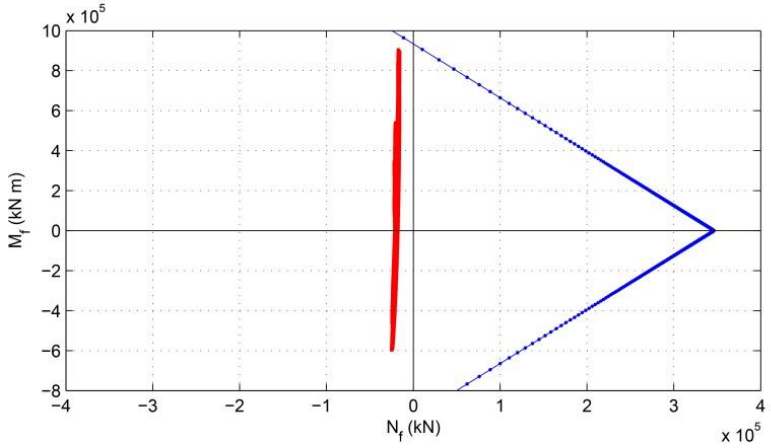


Figura 12: Comprobación de no fisuración de la sección del empotramiento. En azul, el diagrama de interacción a fisuración. En rojo, las combinaciones durante el estado de mar simulado.

- Fallo por movimiento excesivo de la turbina. Esta fallo ya lo abordamos en el primer estadio del proyecto, es decir, la fase de diseño. Al proponer un diseño con rótula se logra independizar el giro de la turbina y el fuste, evitando la pérdida de rendimiento productivo.

4. Resultados

- Para los estados de mar simulados, el giro máximo de la estructura no sobrepasa los 0.47 Rad., y por lo tanto no se produce el fallo por el choque de las palas con el fuste.
- No se produce agotamiento a flexión compresión para los estados de mar extremales registrados, consiguiéndose además una optimización de la fuerza y sección del postesado por medio del ajuste de la gráfica de interacción a los valores de los esfuerzos soportados.
- El esfuerzo cortante es soportado con un amplio margen de seguridad, aun considerando sólo la sección de hormigón. Esto se debe a que el postesado otorga un considerable aumento de la resistencia a cortante en el fuste, permitiendo prescindir de cualquier tipo de armadura transversal en la estructura.
- No existe fisuración en el fuste durante los estados de mar más frecuentes, por lo que la durabilidad de la estructura frente al ataque de los cloruros está garantizada.

5. Conclusiones

- En litorales con plataforma continental estrecha, como el caso de la mayor parte del litoral ibérico, las estructuras flotantes pueden ser una solución para la implantación de parque eólicos marinos.
- Las estructuras articuladas podrían constituir una solución para minimizar las oscilaciones de la turbina de los molinos eólicos marinos, permitiendo el óptimo rendimiento en la producción.
- La construcción en seco en lugares cercanos al emplazamiento del parque es una opción que puede reducir considerablemente costes de construcción y asegurar la calidad del proceso.
- Los modelos numéricos constituyen una herramienta útil a nivel de anteproyecto y pueden proporcionar una primera aproximación al comportamiento del molino en el mar.

Referencias

Chakrabarti, S. (2001). Empirical calculation of roll damping for ships and barges. *Ocean Engineering,* 28(7), 915-932.

España. Instrucción del Hormigón estructural (EHE-08). *Boletín Oficial del Estado*, 18 de julio de 2008.

Hernández-Montes, E., & Gil-Martín, L. M. (2007). *Hormigón Armado y Pretensado. Concreto reforzado y preesforzado.*

Patel, M. H., & Witz, J. A. (2013). *Compliant offshore structures.* Butterworth-Heinemann. Oxford.

Solé, A.(2008). *Aerogeneradores*, A. Cano Pina.

05-014

PROJECT OF AIR CONDITIONING OF AN OFFICE BLOCK AND LABORATORIES USE OF MACHINERIES OF ABSORPTION CONSUMING AGRARIAN BIOMASS

Plaza Benito, Antonio; Mauri Ablanque, Pedro Vicente; Lobo Bedmar, Maria del Carmen

IMIDRA Comunidad de Madrid

The object of this communication is the description and the justification of a project of air conditioning of a singular building, describing the steps followed for the production of the aforementioned installation of air conditioning: technical characteristics, justification and sizing for the mentioned building by means of coolers of absorption those who him will be fed by the energy of the combustion of the biomass produced by the energetic crops that are realized in the agrarian soils of this farm. This action will execute according to the conventional methodology of projects. The energetic utilization of the biomass in this project has several advantages, on the one hand the considerable economic saving. Also from the environmental optics let's not forget that we use materials that they have caught CO2 and then we burn them with a neutral balance sheet and bringing together both aspects logistically we produce the energy in situ not consuming in his distribution for what we save economically and environmentally, beside being autonomous in the factor energy

Keywords: *air conditioning;absorption;biomass*

PROYECTO DE CLIMATIZACIÓN DE UN EDIFICIO DE OFICINAS Y LABORATORIOS MEDIANTE EL USO DE MÁQUINA DE ABSORCIÓN CONSUMIENDO BIOMASA AGRARIA

El objeto de esta comunicación es la descripción y la justificación de un proyecto de climatización de un edificio singular, describiendo los pasos seguidos para la elaboración de la precitada instalación de aire acondicionado: características técnicas, justificación y dimensionamiento para el mencionado edificio mediante enfriadoras de absorción a las que se le alimentarán con la energía de la combustión de la biomasa producida por los cultivos energéticos que se realizan en los suelos agrarios de esta finca. Esta actuación se ejecutará según la metodología de proyectos convencional. La utilización energética de la biomasa en este proyecto tiene varias ventajas, por un lado el considerable ahorro económico. También desde la óptica medioambiental no olvidemos que usamos materiales que han captado CO2 y luego los quemamos con un balance neutral y conjugando los dos aspectos logísticamente, producimos la energía in situ no consumiendo en su distribución por lo que ahorramos económicamente y medioambientalmente, además de ser autónomos en el factor energía.

Palabras clave: *climatización; absorción;biomasa*

Correspondencia: Antonio Plaza antonio.plaza@madrid.org

Agradecimientos: Al proyecto RTA12-082-C2-01, financiado por INIA y el programa FEDER. Programa de finaciación propia del IMIDRA. FP-13-ENER. Este trabajo está financiado por la UE, por el programa FEADER. Europa invierte en zonas rurales.

1. Introducción

El proyecto a estudiar es la climatización del edificio principal de la finca ”El Encín” perteneciente al Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario IMIDRA y se ubica en el km. 38,200 de la Autovia del Noreste A-2, en la localidad de Alcalá de Henares (Madrid) y la posibilidad de poder encontrar una tecnología que puede ser más económica.

Este edificio fue realizado y proyectado por el famoso arquitecto Miguel Fisac a mediados de los años 70 utilizando unas formas de hormigón sobre una estructura también de hormigón. La distribución del edificio es indudablemente para el fin que se concibió, la investigación. Está dividido por largos pasillos y a cada lado se disponen despachos para el personal investigador y sus laboratorios frente a los mismos. Disponiendo igualmente de cafetería, biblioteca, y las salas técnicas correspondientes. Se accede, por la Planta Baja, a través de una puerta principal. Disponiendo esta planta, además, de cinco salidas de emergencia y de un acceso de proveedores. En la Planta Primera se dispone de cuatro salidas de emergencia.

Antes de comenzar el diseño y cálculo de la instalación objeto de este proyecto, es necesario mencionar que el edificio objeto de este estudio es considerado Edificio Singular, por lo que, si nos atenemos a lo descrito en el Art. 2 del R.D. 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, que dice textualmente:

“3. Igualmente, el CTE se aplicará a las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación que se realicen en edificios existentes, siempre y cuando dichas obras sean compatibles con la naturaleza de la intervención y, en su caso, con el grado de protección que puedan tener los edificios afectados. La posible incompatibilidad de aplicación deberá justificarse en el proyecto y, en su caso, compensarse con medidas alternativas que sean técnica y económicamente viables.”

Del mismo modo, y particularizando sobre las exigencias básicas de Ahorro de Energía (HE) del Código Técnico de la Edificación, el Documento Básico HE (Ahorro de Energía), en su Sección HE 1 (Limitación de demanda energética) establece:

“2 Se excluyen del campo de aplicación:

b) Edificios y monumentos protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, cuando el cumplimiento de tales exigencias pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto;”

Dado que el cumplimiento del Documento Básico HE exigiría la sustitución de los materiales existentes por otros cuyas características sí cumplieran el mencionado DB-HE, y al no ser esto posible dada la protección del edificio, especialmente fachada y cerramientos, no se cumplirán las exigencias básicas de Ahorro de Energía (HE) del Código Técnico de la Edificación.

Con el paso del tiempo ya vemos que este edificio ha quedado obsoleto en el aislamiento de sus paramentos de sus ventanas de cristal simple. En la actualidad la fuente de energía necesaria para su climatización es la electricidad en un equipo de expansión de gases frigorígenos y distribución por conducciones de agua que terminan en las estancias en fancoil. Toda esta instalación como el edificio tiene más de 40 años. Este es el motivo de su

estudio para sustituir por un sistema más eficiente. Como veremos en los aspectos ambientales su certificación energética mejora de forma sustancial con la sustitución de esta instalación.

Para hacernos una idea de las dimensiones del edificio señalar que en total tiene una superficie de 2700 m².

2. Objetivos.

Los objetivos de esta comunicación son los siguientes:

- Calcular un equipo de climatización de un edificio usado para investigación agraria comparando dos tecnologías: una expansión de gases y una absorción.
- Poder utilizar biomasa (cultivada y residual) agraria que se puede producir en la finca para que pueda ser autosostenible.
- Evaluación económica de esta inversión comparativa entre dos equipos de climatización.

3. Metodología.

3.1 Cálculo de instalaciones.

Iniciamos este apartado con las necesidades de climatización para las que después calcularemos los necesarios equipos.

Para calcular la carga térmica usamos el método de Carrier de su libro manual de aire acondicionado. El “modus operandi” de este sistema de cálculo es con el uso de tablas, para incluirlo en este documento resumen, si se destaca la operativa para obtener la potencia necesaria de los equipos con el cálculo exhaustivo por horas del día más caluroso del año a la hora de máxima necesidad. Así en todas las estancias, y la suma total de todas las cargas de todas las estancias nos indica la potencia del equipo que debería tener una potencia de más de 500 kW (502.3) Con este mismo sistema también hemos calculado la energía necesaria para cubrir las necesidades de todo el período en el que usamos la climatización. Sumando todas las horas que mantenemos el sistema de aire acondicionado funcionando y la suma de todos los días laborales del periodo de uso del mismo, en este caso fueron 405.337,15 kW hora.

Para evaluar qué tipo de sistema que usar para climatizar estudiamos varias opciones adecuadas para las amenazas y fortalezas de la situación. Indicar que entre las fortalezas se encuentra que en esta finca se cultiva una parte de la superficie de la misma varios tipos de especies con fin energético para de investigación de las mismas y que una vez evaluadas al no ser explotadas pasan a ser residuos sin valor comercial. Las tecnologías que podrían usarse para climatizar desde un ciclo Rankine dúplex, absorción, hasta sistemas de refrigeración desecantes. Se han desestimado y ponemos el ejemplo del ciclo Rankine por ser un sistema caro y complicado para la relativamente pequeña envergadura de esta instalación. Elegimos el sistema de absorción, su tecnología se usa en donde se disponga de combustibles a bajo coste y/o la energía eléctrica sea cara, (la tecnología de evaporación de gases frigorígenos usa un compresor movido por energía eléctrica) y donde existan excedentes de vapor de agua por usos industriales o el aguas de refrigeración de una turbina de gas. Como se puede observar por ser un sistema que su mantenimiento es

reducido así como su consumo eléctrico en un país donde el coste de la energía eléctrica es elevado (Carrier, 1990).

Para entender el sistema de la refrigeración por absorción tenemos que explicar de forma parcial cada uno de sus fenómenos físicos.

Evaporación. Se trata fenómeno de vaporización de un líquido dentro de un recipiente. La evaporación llega hasta que se igualan las presiones de vapor con la presión interna del recipiente. Este fenómeno absorbe calor latente de evaporación cuando se produce.

Absorción: utilizando un producto de gran afinidad al producto que hemos definido para la evaporación, si lo introducimos en otro depósito y conectamos con el depósito donde se producía la evaporación que volver a producir un nuevo equilibrio al retener este líquido absorbente al evaporado. Este fenómeno se produce con disipación de calor.

Generación: una vez realizada esta mezcla para volver a generar frío necesitamos separar las dos sustancias para lo que calentamos en segundo recipiente y producimos una evaporación o hervido del primer líquido que saldría como vapor.

Condensación: este líquido para aumentar su presión cedería el calor latente que antes absorbió.

Con estos fenómenos físicos determinadas marcas comerciales han creado diferentes productos con diferentes estrategias uno de ciclo discontinuo donde se necesitarían dos aparatos uno produciendo frío y el otro cargándose y otros de ciclo contigo como el que hemos elegido (Carrier, 1990).

La forma de calcular la instalación de absorción es la siguiente: Iniciamos el procedimiento calculando la carga térmica para el momento más desfavorable, se explica en el primer párrafo de este apartado. Con este dato nos situamos en el segmento de las máquinas de absorción que soporten esta potencia 500 kW. Los catálogos de características nos indican que tenemos que instalar una caldera biomasa de 700.8 kW a 90ºC para esta aportación energética se investiga entre os fabricantes de calderas y para disipar 1197.4 kW a 35ºC para lo que buscamos en los fabricantes una torre de refrigeración que disipe esta carga térmica. Todos estos equipos se conectan a la máquina de absorción y al sistema de hidráulico de ventilación existente con una red de tuberías prevista en las especificaciones de los equipos precitados. De la misma manera se realizará la instalación eléctrica.

Para esta instalación elegimos el modelo LC-14-C de thermax distribuido e instalado por la empresa Absorsistem de. 500 kW, la caldera de biomasa Heizomat 850 y la torre de refrigeración APAREL TC-251 INOX C/A.

4.Resultados

4.1 Ejecución. Cronograma.

La ejecución del sistema convencional, evaporación de gases frigorígenos, se usa un equipo compacto por lo que no tiene nada más que instalarse en bancada y conectar las entradas y salidas de fluidos de diferente tipo (fluido frigorígeno y agua) y conectarlo a la red eléctrica.

La ejecución del sistema de absorción es un poco más complicada hay que instalar más aparatos: la caldera de biomasa y silo de abastecimiento de la misma, la máquina de

absorción y la torre de refrigeración. La instalación del sistema de ventilación, del sistema hidráulico de ventilación, instalación eléctrica, la conducción hidráulica y puesta en marcha y verificación de las máquinas son comunes a las dos tecnologías.

Aparentemente más rápido de instalar el equipo de expansión de gases pero como se inician a la vez las instalaciones de la caldera, silo, torre de refrigeración el tiempo total para ejecutar los dos sistemas es en la práctica el mismo.

En la ejecución de este proyecto no supondría más de tres meses si empezamos desde principios de año y retrasamos la puesta en marcha hasta los primeros días de calor de abril. Verdaderamente la ejecución sólo duraría dos meses.

4.2 Evaluación económica.

Para evaluar el proyecto lo haremos en base al hipotético caso de instalar un equipo de expansión de gases frigorígenos alimentado por electricidad. En el cuadro podemos ver el costo de las inversiones en caso de climatización con gases frigorígenos y con el equipo de absorción. Las cifras en negrita son el costo de cada uno de las instalaciones necesarias. La instalación eléctrica, la instalación de la ventilación y el control son comunes a las dos técnicas. Por este motivo a la hora de evaluar económicamente la inversión no las tendremos en cuenta.

Tabla 1: Cuadro de inversiones (€) (Según tecnologías).

	EVAPORACIÓN GAS	ABSORCIÓN
EQ. ABSORCION		**107.500,00**
EQ. EVAP GASES FRIGORIGENOS	**192.814,71**	
CALDERA BIOMASA		**77.500,00**
SILO		**38.200,00**
TORRE REFRIGERACION		**32.106.00**
ELECTRICIDAD	17.541,00	17.541,00
CONTROL	330.309,31	330.309,31
VENTILACION	511.595,97	511595,97
INVERSIÓN COMPARATIVA	**192.814,71**	**255.306,00**
TOT INVERSIÓN	1.052.260,99	1.114.752,28

Para comparar los consumos de la energía utilizada debemos recordar que la institución está produciendo residuos de material combustible que lo deberíamos contabilizar como un ahorro al evitar todos los gastos que implica su retirada (carga, transporte, descarga). Para no falsear la evaluación, al ser un caso un aislado contabilizaremos el precio de la biomasa a 60€/tm.

Para calcular el coste de la energía consumida en la combustión de la biomasa dividiremos toda la energía calculada como carga anual (de todo el período) 405.337.15 kWh por el rendimiento de la biomasa, datos de cálculo del manual de la caldera, 3.35 kWh/kg. Este

resultado 120 tm/año, lo multiplicamos por el precitado valor de mercado 60€/tm obteniendo un coste anual por el consumo de energía de 7200 €/año.

En el caso de la electricidad de la instalación de gases frigorígenos tomaremos los precios de una de las compañías eléctricas en su tarifa de alta tensión (la institución compra a la compañía en alta tensión), también es un beneficio comparativo al ser más barata que la suministrada en baja tensión. La energía consumida se ha realizado por medición directa en el equipo actual de gases frigorígenos.

En horario de consumo de hora llano el término de potencia es de 37€ kWh/año y consumo de energía 0.11€ kWh y en horario de consumo de hora punta el término de potencia es de 60€ kWh/año y consumo de energía 0.13€ kWh. Para calcular los consumos económicos establecimos que el equipo de evaporación de gases frigorígenos trabaja 6 horas en punta y 2 horas en llano. Por lo tanto el consumo sería:

$$Costo\ de\ la\ enegia\ electrica\ en\ horario\ llano = 120kw * \frac{37€kW}{año} + 0.11 * 1677\ kWh$$

$$Costo\ de\ la\ enegia\ electrica\ en\ horario\ punta = 120kw * \frac{60€kW}{año} + 0.13 * 5590\ kWh$$

Costo Total = 14.435.00 €/año.

Tabla 2. Resumen comparativo de las inversiones (€)

GASTOS	EVAPORACIÓN GAS	ABSORCIÓN
INVERSIÓN INICIAL	**192.814,71**	**255.306,00**
GASTO ANUAL	14.435,00	7200.00

La diferencia de los dos gastos anuales 7.235.00 €. Esta diferencia es la ventaja comparativa para el mayor desembolso de la inversión del equipo de absorción 62.491,29 €.

Para evaluar la efectividad económica del sistema de absorción estudiamos las dos inversiones:

La vida útil del equipo de absorción es de 20 años, la del equipo de expansión de gases frigorÍgenos es de 10, por lo que deberíamos comprar otro del mismo valor. El flujo de caja deja al final de la vida útil un residuo que podríamos valorarlo por su peso en metal pero debido a que en los dos casos lo vamos a retirar y tienen sustancias químicas a tratar después de su vida útil no le vamos a dar valor residual.

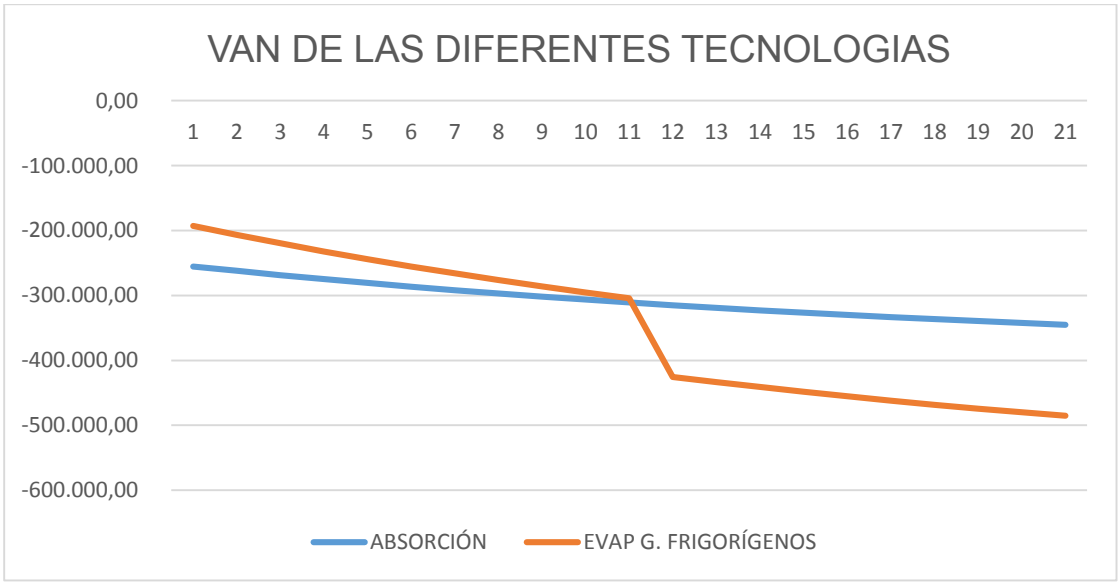
Averiguamos el valor actual neto de cada una de las inversiones y de los gastos anuales con la formula simplificada del VALOR ACTUAL NETO (VAN) con las anualidades constantes con el precio del dinero del 5%. En 11 años se compensaría la inversión del equipo de absorción respecto al de gases frigorígenos.

$$VAN = -C0 + \sum_{T=1}^{N} \frac{C}{(1+R)^T}$$

Tabla 3. Resumen comparativo de las inversiones y su VAN (€)

PERIODO	CONCEPTO	ABSORCIÓN	VAN ANUAL	VAN ACUMU	G. FRIGORIG	VAN ANUAL	VAN ACUMU
0	INVERSIÓN AÑO 0	-255.306,00	-255.306,00	-255.306,00	-192.814,71	-192.814,71	-192.814,71
1	GASTO ANUAL AÑO1	-7.200,00	-6.857,14	-262.163,14	-14.435,00	-13.747,62	-206.562,33
2	GASTO ANUAL AÑO2	-7.200,00	-6.530,61	-268.693,76	-14.435,00	-13.092,97	-219.655,30
3	GASTO ANUAL AÑO3	-7.200,00	-6.219,63	-274.913,39	-14.435,00	-12.469,50	-232.124,80
4	GASTO ANUAL AÑO4	-7.200,00	-5.923,46	-280.836,84	-14.435,00	-11.875,71	-244.000,51
5	GASTO ANUAL AÑO5	-7.200,00	-5.641,39	-286.478,23	-14.435,00	-11.310,20	-255.310,71
6	GASTO ANUAL AÑO6	-7.200,00	-5.372,75	-291.850,98	-14.435,00	-10.771,62	-266.082,32
7	GASTO ANUAL AÑO7	-7.200,00	-5.116,91	-296.967,89	-14.435,00	-10.258,69	-276.341,01
8	GASTO ANUAL AÑO8	-7.200,00	-4.873,24	-301.841,13	-14.435,00	-9.770,18	-286.111,19
9	GASTO ANUAL AÑO9	-7.200,00	-4.641,18	-306.482,32	-14.435,00	-9.304,93	-295.416,12
10	GASTO ANUAL AÑO10	-7.200,00	-4.420,18	-310.902,49	-14.435,00	-8.861,84	-304.277,95
11	GASTO ANUAL AÑO11	-7.200,00	-4.209,69	-315.112,18	-207.249,71	-121.174,61	-425.452,57
12	GASTO ANUAL AÑO12	-7.200,00	-4.009,23	-319.121,41	-14.435,00	-8.037,95	-433.490,51
13	GASTO ANUAL AÑO13	-7.200,00	-3.818,31	-322.939,73	-14.435,00	-7.655,19	-441.145,70
14	GASTO ANUAL AÑO14	-7.200,00	-3.636,49	-326.576,21	-14.435,00	-7.290,66	-448.436,36
15	GASTO ANUAL AÑO15	-7.200,00	-3.463,32	-330.039,54	-14.435,00	-6.943,48	-455.379,84
16	GASTO ANUAL AÑO16	-7.200,00	-3.298,40	-333.337,94	-14.435,00	-6.612,84	-461.992,68
17	GASTO ANUAL AÑO17	-7.200,00	-3.141,34	-336.479,28	-14.435,00	-6.297,94	-468.290,62
18	GASTO ANUAL AÑO18	-7.200,00	-2.991,75	-339.471,03	-14.435,00	-5.998,04	-474.288,66
19	GASTO ANUAL AÑO19	-7.200,00	-2.849,28	-342.320,31	-14.435,00	-5.712,42	-480.001,08
20	GASTO ANUAL AÑO20	-7.200,00	-2.713,60	-345.033,91	-14.435,00	-5.440,40	-485.441,48

Figura 1. Gráfico comparativo de las inversiones y su VAN

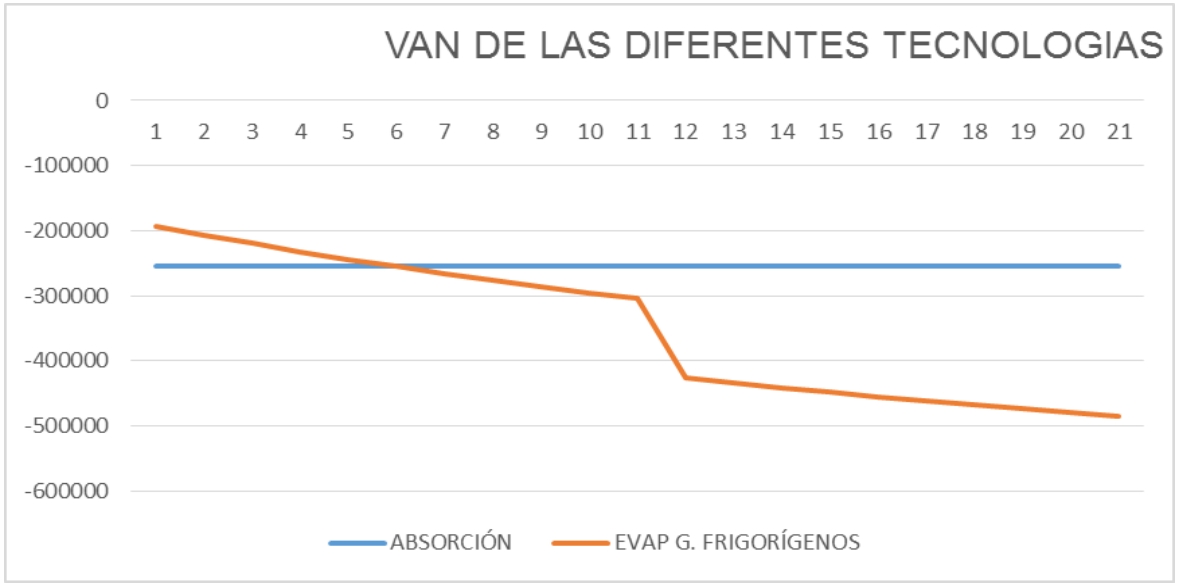


Dentro de los distintos escenarios, recordemos que para la administración de la institución la biomasa es un residuo, por lo que podríamos pensar que la evaluación podría ser más favorable. La ventaja competitiva sería todo el ahorro de combustible que con lleva el consumo total del equipo en esta situación en 5 años que compensaría la inversión del equipo de absorción.

Tabla 4. Resumen comparativo de las inversiones y su VAN

PERIODO	CONCEPTO	ABSORCIÓN	VAN ANUAL	VAN ACUMU	G. FRIGORIG	VAN ANUAL	VAN ACUMU
0	INVERSIÓN AÑO 0	-255306	-255306	-255306	-192814,71	-192814,71	-192814,71
1	GASTO ANUAL AÑO1	0	0	-255306	-14435	-13747,619	-206562,329
2	GASTO ANUAL AÑO2	0	0	-255306	-14435	-13092,9705	-219655,3
3	GASTO ANUAL AÑO3	0	0	-255306	-14435	-12469,4957	-232124,795
4	GASTO ANUAL AÑO4	0	0	-255306	-14435	-11875,7102	-244000,506
5	GASTO ANUAL AÑO5	0	0	-255306	-14435	-11310,2002	-255310,706
6	GASTO ANUAL AÑO6	0	0	-255306	-14435	-10771,6193	-266082,325
7	GASTO ANUAL AÑO7	0	0	-255306	-14435	-10258,685	-276341,01
8	GASTO ANUAL AÑO8	0	0	-255306	-14435	-9770,17619	-286111,186
9	GASTO ANUAL AÑO9	0	0	-255306	-14435	-9304,92971	-295416,116
10	GASTO ANUAL AÑO10	0	0	-255306	-14435	-8861,83781	-304277,954
11	GASTO ANUAL AÑO11	0	0	-255306	-207249,71	-121174,613	-425452,567
12	GASTO ANUAL AÑO12	0	0	-255306	-14435	-8037,94813	-433490,515
13	GASTO ANUAL AÑO13	0	0	-255306	-14435	-7655,1887	-441145,704
14	GASTO ANUAL AÑO14	0	0	-255306	-14435	-7290,6559	-448436,36
15	GASTO ANUAL AÑO15	0	0	-255306	-14435	-6943,48181	-455379,841
16	GASTO ANUAL AÑO16	0	0	-255306	-14435	-6612,83982	-461992,681
17	GASTO ANUAL AÑO17	0	0	-255306	-14435	-6297,94269	-468290,624
18	GASTO ANUAL AÑO18	0	0	-255306	-14435	-5998,04065	-474288,665
19	GASTO ANUAL AÑO19	0	0	-255306	-14435	-5712,41967	-480001,084
20	GASTO ANUAL AÑO20	0	0	-255306	-14435	-5440,39969	-485441,484

Figura 2. Gráfico comparativo de las inversiones y su VAN sin coste de la biomasa



Tenemos que incluir como bien comunitario el ahorro de divisas al producir la energía en España.

4. Conclusiones.

La tecnología elegida ha sido la de absorción. El uso de esta tecnología de absorción para la climatización del edificio principal de la finca "El Encín" es una buena opción por el beneficio económico y por el aprovechamiento del recurso agrario de la producción de la finca de sus cultivos agroenergéticos y de los restos de otros cultivos.

En el aspecto medioambiental esta actuación se clasifica como un avance de este inmueble hacia una mejora eficiencia enérgica. En España se regula con un protocolo la efectividad energética y se certifica la misma con una simbología que va desde la letra A hasta la G con un número. Si optamos montar la climatización con gases frigorígenos consumiendo electricidad estamos clasificando con **G301.8** y si montamos la instalación de absorción pasamos a un significativo **A13.8.** Llamar la atención que es un edificio sin apenas aislamiento, es muy importante para esta clasificación utilizar biomasa.

Es interesante recordar que el combustible que se consume en esta instalación obtiene el $C0_2$ de la atmósfera que hemos obtenido de las plantas que usamos y que después liberamos otra vez a la atmosfera., pero no es exacto debido que existen otros consumos que van desde el uso de la maquinaria (combustibles, lubricantes entre otros) hasta el gasto de $C0_2$ en la fabricación de la maquinaria que intervenido.

En el caso particular de las especies con posibilidades de ser usadas como biomasa con fin energético se produce energía renovable y así al consumidor y al país esta propiedad les brinda autonomía energética y además evita activamente el efecto invernadero.En el aspecto social favorecen la actividad mundo rural como una gran oportunidad de negocio.Como fin social y medioambiental evita la desertificación de la superficie agraria que no se está cultivando. Todo esto aumenta el empleo en el mundo rural y su población. (Fernández, 2006).

6.Bibliografía.

Carrier Air Conditioning Company. (1990) Parte 1. Estimación de la carga térmica. En Marcombo. Ed. *Manual De Aire Acondicionado Carrier* (pp. 1-1.1-109) Barcelona: Marcombo.

Carrier Air Conditioning Company. (1990) Parte 7.3 Máquina de refrigeración por absorción. En Marcombo. Ed. *Manual De Aire Acondicionado Carrier* (pp.7-37-7-52) Barcelona: Marcombo.

Departamento de biomasa y residuos de IDAE. (2009) *Guia técnica de instalaciones de biomasa térmica de los edificios*. Madrid, España Editorial IDAE Ministerio De Industria, Turismo Y Comercio.

Fernández, J. (2006) Apuntes de Agroenergética del Catedrático Dr. Jesús Fernández de la Catedra de Botánica de la Escuela de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid

Legislación (España y UE)

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE, Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio.

Código Técnico de la Edificación (CTE), Real Decreto 314/2006 de 17 de Marzo. (B.O.E. 28 de Marzo de 2006).

Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Corrección de errores del Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

CORRECCIÓN de errores y erratas del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

REAL DECRETO 1675/2008, de 17 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre.

Corrección de errores y erratas de la Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación, aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre.

Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad.

Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto. (B.O.E. 224).

Ley 31/1995. de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales.

R.D. 485/1997, 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

R.D. 486/1997, 14 de Abril, sobre disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud en el trabajo.

R.D. 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.

R.D. 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

Ley 54/2003, de 19 de Diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.

R.D. 286/2006, de 10 de Marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

Corrección de errores del R.D. 286/2006, de 10 de Marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido (BOE nº 71/24-03-06).

R.D. 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. (BOE n° 127/29-05-06).

Reglamento de seguridad e higiene en el trabajo, Decreto 432/71, de 9 de Marzo.

Reglamento de Seguridad para Plantas e Instalaciones Frigoríficas. Decreto 3.009/77.

Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.

R.D. 1513/2005, de 16 de Diciembre por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.

DECRETO 78/1999, de 27 de mayo, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid.

Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas, aprobado por Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre de 1961.

Ley 5/1999, de 8 de abril, de Evaluación del Impacto Ambiental.

R. D. L. 1302/86, de 28 de Junio, de Evaluación de Impacto Ambiental (BOE de 30 de junio de 1986).

R. D. L. 9/2000, de 6 de octubre, de modificación del Real Decreto legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental (BOE núm. 241, de 7 de octubre de 2000).

Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental (BOE de 9 de mayo de 2001, páginas 16607 a 16616).

Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid (BOCAM núm. 154, de 1 de julio de 2002).

Orden 2690/2006, de 28 de Julio, por la que se regula la gestión de los residuos de construcción y demolición en la Comunidad de Madrid (BOCM nº 192/14-08-2006).

Corrección de errores de la Orden 2690/2006, de 28 de Julio, por la que se regula la gestión de los residuos de construcción y demolición en la Comunidad de Madrid (BOCM nº 234/02-10-2006).

05-015

ENERGY CONSUMPTION OPTIMIZATION DESIGN OF PRECAST ROAD BRIDGES

Martí, José V.; Yepes, Víctor
Universitat Politècnica de València (ICITECH)

The traditional design of concrete structures concentrates on cost. However, other objectives, such as the consumption of energy now attract research attention. This paper focuses on the design of precast road bridges, with a double U-shaped cross-section and isostatic spans. A hybrid simulated annealing (SA) algorithm is applied to the consumption of energy and the economic cost of these structures. The precast bridge system studied consists of two simply-supported U-beams with a cast-in-situ reinforced concrete slab for road traffic. A span length of 25m and a deck width of 12m were considered. The basic costs considered and the energy consumption units were taken from the database of the ITeC. The method used in the present work is a hybrid SA algorithm with a mutation operator (SAMO). The analysis indicated that reducing costs by 1 € could save up to 4.76 Kwh in consumption of energy. Alternatively, when optimizing energy, the cost of the structure increases in 3.47 €/m2. The analysis reveals that energy consumption and cost are closely related. Thus, the solutions that are acceptable in terms of energy consumption are also viable in terms of cost, and vice versa.

Keywords: *Heuristic optimization; Hybrid simulated annealing; Energy consumption; Precast beams; Structural design*

OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL DISEÑO CONSTRUCTIVO DE PUENTES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

El diseño de las estructuras de hormigón se centra principalmente en reducir su coste. Sin embargo, en los últimos años se está dando cada vez más importancia al consumo energético por una preocupación ambiental. Este artículo se centra en el diseño de los puentes isostáticos de carreteras de tableros formados por vigas artesa prefabricadas. Para la optimización del coste y el consumo energético de la estructura se aplica un algoritmo híbrido del recocido simulado (SA). El puente consta de dos vigas artesa prefabricadas de hormigón pretensado y un tablero de hormigón armado ejecutado in situ. El ejemplo tiene una luz de 25 m y un ancho de tablero de 12 m. El algoritmo utilizado es un SA híbrido con un mutador operacional (SAMO). El análisis señala que reduciendo los costes en 1 € se podría ahorrar hasta 4,76 Kwh en el consumo de energía. Por otro lado, cuando se optimiza la energía, el coste de la estructura aumenta de 3,47 €/m2. El análisis revela que el consumo y el coste de energía están estrechamente relacionados. Por lo que, las soluciones que son aceptables en términos de consumo energético son también viables en términos de coste, y viceversa.

Palabras clave: *Optimización heurística; Recocido simulado híbrido; Consumo energético; Vigas pretensadas; Diseño de estructuras*

Correspondencia: José V. Martí Albiñana jvmartia@upv.es

Agradecimientos: Universitat Politècnica de València (Proyecto de Investigación SP20120341

1. Introducción

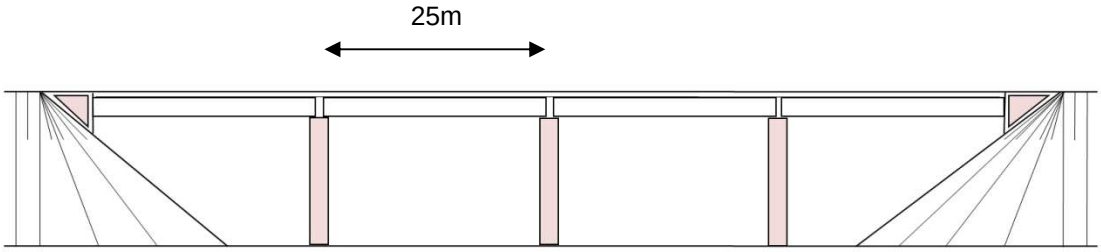
El diseño tradicional de las estructuras de hormigón se concentra principalmente en la reducción del coste económico. Sin embargo, debido a que la industria de la construcción explota una gran cantidad de recursos naturales del planeta: dos quintos de los áridos, un cuarto de la madera, el 40% de la energía total y el 16% del agua cada año (Horvath 2004), en los últimos años ha habido una tendencia a considerar también como criterio de optimización, la reducción del impacto ambiental que genera la construcción de estas estructuras. Por lo tanto, parece lógico que la reducción del consumo energético sea uno de los criterios que interese aplicar, ya que los datos relacionados con el impacto medioambiental de la fabricación de la mayor parte de los materiales de construcción han sido recopilados por distintas organizaciones como el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (2012) y, de ahí, que se pueda calcular el impacto del consumo energético en la construcción de una estructura. Por lo que es importante incorporar criterios de diseño que permitan reducir al mínimo los consumos energéticos producidos en la construcción de estructuras de hormigón armado (HA) y pretensado (HP). En cuanto a esto, Yepes et al. (2011) y Yeo & Gabbai (2011) han conducido estudios de optimización basados en la eficiencia energética y el coste en puentes losa de HP y en una viga de HA respectivamente.

El uso de las técnicas de la optimización en el diseño de las estructuras de HA y HP está considerado como apropiado y factible puesto que el elemento estructural que se obtiene es más eficiente. Su desarrollo reciente está ligado a la evolución de la inteligencia artificial y proporciona buenas soluciones en un coste de tiempo computacional razonable. Una revisión exhaustiva de los métodos estructurales de la optimización fue realizada por Cohn y Dinovitzer (1994), que expresaron el distanciamiento existente entre los estudios teóricos y la aplicación práctica de los métodos de la optimización, y confirmaron que la mayoría de la investigación realizada hasta ese momento estaba centrada en las estructuras de acero mientras que solamente una fracción pequeña se había ocupado de las estructuras de HA. Siguiendo esta línea del trabajo, el grupo de investigación al que pertenecen los autores ha aplicado metaheurísticas a muros de contención, marcos de carreteras, pilas de puentes, puentes peatonales y pasos superiores prefabricados de hormigón pretensado (HP), bóvedas de carreteras y otros (Yepes et al. 2008; Perea et al. 2008; Paya et al. 2008; Martinez et al. 2011; Carbonell et al. 2011; Marti et al. 2010,2013).

La construcción de estructuras con piezas de hormigón prefabricado presenta claras ventajas económicas cuando éstas se fabrican en taller en grandes series. Hoy en día existen motivos adicionales basados en beneficios sociales y medioambientales que justifican la adopción de esta tecnología. Los ingenieros calculistas se han aprovechado de ello, especificando diseños que utilizan vigas estándares de longitudes relativamente cortas, valores comprendidos entre 10 y 40 metros (Fig. 1). En este contexto, la optimización de este tipo de estructuras, grandes y repetitivas, presenta gran interés en este ámbito de investigación debido al gran volumen de materiales utilizados en su proceso de fabricación.

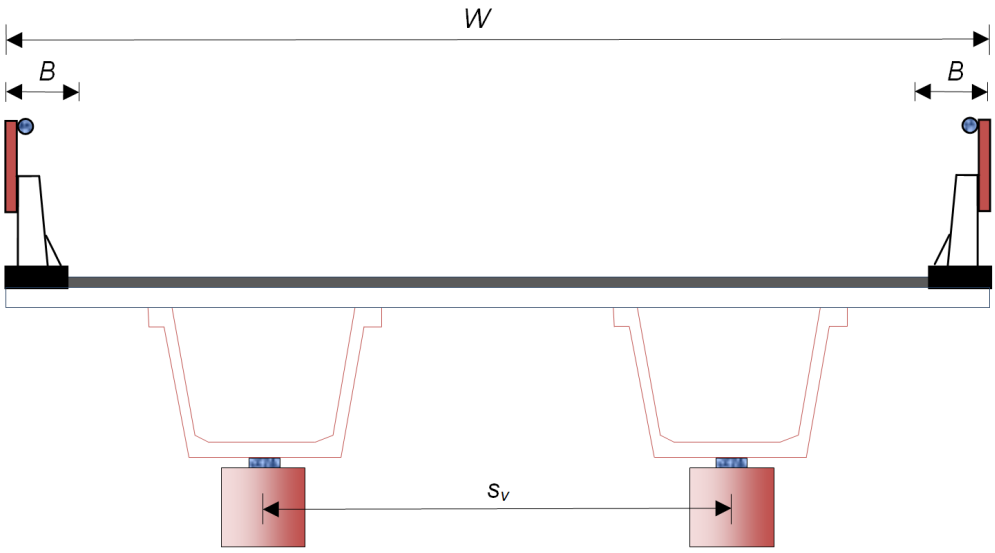
Este artículo describe una metodología para el diseño de los puentes prefabricados de carreteras de vigas artesa de HP, con la sección representativa de la doble U que integra una losa de hormigón armado en la parte superior para el tráfico de vehículos (Fig. 2). El diseño de esta estructura queda definido en la tesis doctoral de Martí (2011), con las variaciones: a) la separación entre vigas S_v (Fig.2) y la inclinación del alma de las vigas *Angl* (Fig. 3) se convierten en variables y b) los refuerzos de la armadura transversal se unifican cada dos secciones consecutivas del modelo, reduciendo el número de variables a un total de 41.

Figura 1: Perfil longitudinal del puente



La metodología consiste en desarrollar un módulo de evaluación computacional en el cual las dimensiones de la sección transversal, los materiales y el refuerzo de acero son tomados como variables discretas. Este módulo evalúa el consumo energético en kwh y el coste en euros de una solución y comprueba todos los estados límite y de servicio relevantes. Posteriormente se ha desarrollado, una variante del algoritmo recocido simulado (SA) con un movimiento de vecindad basado en el operador de mutación de los algoritmos genéticos (SAMO), capaz de encontrar soluciones optimizadas en energía o en coste. El algoritmo se aplica a una función objetivo: la energía consumida por la estructura en diversas etapas de la producción de materiales, de la fabricación, del transporte y de la construcción, y simultáneamente obtiene el coste económico de la solución. Esta comunicación, tras realizar el planteamiento del problema y definición del algoritmo citado, presenta los resultados obtenidos, recogiendo las principales conclusiones

Figura 2: Sección transversal del puente



2. El problema del diseño óptimo

En este estudio, el problema de la optimización estructural se enmarca en una optimización mono-objetivo de la energía consumida y el cálculo del coste de la estructura. Por lo tanto, esta optimización apunta a reducir al mínimo la función objetiva f_1 o Eq.(1) y a calcular f_2 o Eq. (2) mientras que satisface las restricciones de Eq. (3).

$$\mathrm{E} = f_1(x_1, x_2, ...x_n) \tag{1}$$

$$C = f_2(x_1, x_2, ...x_n) \tag{2}$$

$$g_j(x_1, x_2, ...x_n) \leq 0 \tag{3}$$

Obsérvese que $x_1, x_2, \ldots, x_n$ son las variables del diseño elegidas para la formulación. El análisis incluye 41 variables del diseño (véase el Fig. 2). Las variables incluyen nueve valores geométricos: la altura de la viga (h_1), la anchura del ala inferior de la viga (b_1) y del canto del ala inferior (e_1), la anchura y el canto las alas superiores de la viga (b_3 y e_3), la inclinación de las almas (*Angl)*, el ancho de las almas (e_2), el canto de la losa (e_4) y el espaciamiento entre las vigas (S_v). Con respecto a la resistencia del material, dos variables definen el tipo de hormigón de la losa y de la viga. El pretensado formado por torones de 0.6" se define por cuatro variables: primera, el número de torones en las alas superiores, segunda, el número de torones en la primeras, segunda y tercera capa del ala inferior, tercera, el número de secciones desde el exterior hacia el interior en que se modeliza la viga con fundas que envuelven los torones en la segunda capa, y cuarta, el número de secciones con fundas en la tercera capa. Finalmente, 26 variables definen los diámetros de las barras, el espaciamiento y las longitudes de los refuerzos de barras siguiendo una disposición estándar para la viga y la losa superior. El espacio de la solución es definido por el sistema de combinaciones de los valores para las 41 variables discretas. El número de combinaciones en este caso está en la orden de $5{,}6 \cdot 10^{47}$; tal espacio es, en la práctica, ilimitado. Los parámetros son todos los valores fijados en el problema planteado y que relacionan las acciones consideradas, valores geométricos, coeficientes parciales de seguridad y datos de la durabilidad. La Tabla 1 proporciona los detalles de los parámetros principales analizados.

La función objetivo cuantifica la cantidad total de la energía consumida resultante del uso de los materiales que incluyen (1) la extracción de materias primas, (2) el transporte de materias primas a la fábrica, (3) el proceso y fabricación de productos y maquinaria, y (4) el consumo energético de los equipos implicados en los procesos de la construcción para ejecutar las unidades de obra. Para este estudio se consideran los valores de la base de datos de los materiales de BEDEC (2012). Aunque este instituto asume una tecnología estándar para determinar los consumos energéticos de cada unidad de obra, la metodología aplicada adjunta no se basa en ninguna base de datos particular. Diversas alternativas estructurales se pueden determinar y comparar desde un punto de vista ambiental. El actual estudio analiza los puentes prefabricados con criterios sostenibles en base a una función de consumo energético, expresándose como sigue:

$$\mathrm{E} = \sum_{i=1,r} e_i \times m_i \tag{4}$$

Considerando que e_i son las unidades de consumo energético; m_i son las mediciones de las unidades de obra (dependiendo de las geometría y armado de las variables de diseño), mientras que r es el número total de unidades de obra.

Figura 3: Variables geométricas y armaduras activa y pasiva

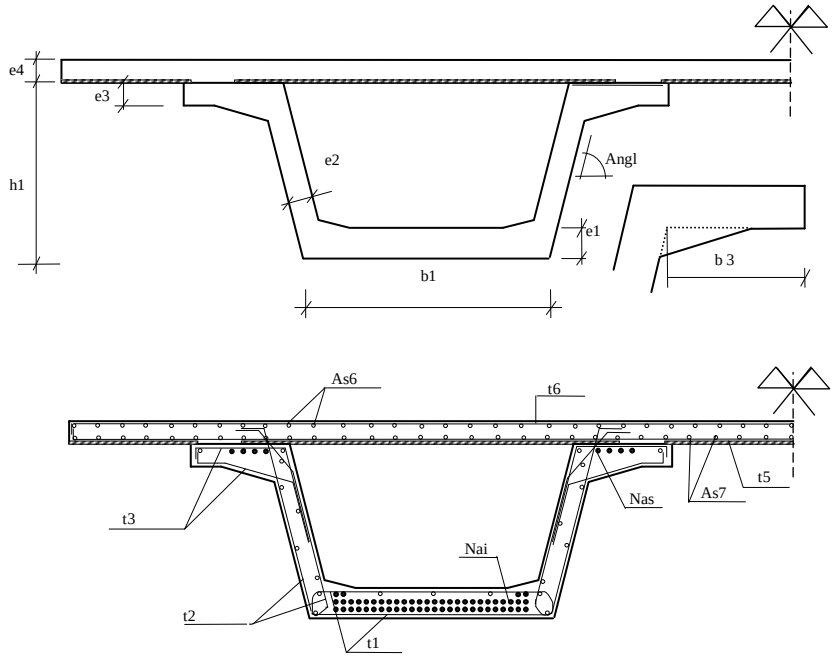


Tabla 1. Parámetros principales del problema

Parámetros	Notación y valores
Geométricos	
Ancho del tablero	W = 12.00 m
Pendiente cartela ala superior (1: ns_3)	ns_3= 3
División base ala superior	s_3= 3
Pendiente cartela ala inferior (1: ni_3)	ni_3 = 3
División base ala inferior	i_4 = 4
Entrega de la viga	Ent= 0.47 m
Esbeltez mínima viga	Esb= (L/17)
De carga	
Ancho de las barreras	a_bar = 2 x 0,5 m.
Espesor nominal del pavimento	e_pav = 9 cm.
Carga muerta no procedente del pavimento	Qm = 2 x 5.0 kN/m
De coste	
Distancia transporte (ida)	d_transporte = 25 Km.
Despunte armadura activa	25%
De armado	
Tipo de acero pasivo (B-500-S)	f_{yk} = 500 N/mm^2
Tipo de acero activo (Y1860-S7)	f_{pk} = 1700 N/mm^2
Diámetro torones acero activo	Φ = 0.6”
Fundas torones	Nivel 2 y 3
Esbeltez vertical cercos	200 (longitud / Φ)
De exposición	
Ambiente de exposición externo	IIb (EHE)

La función coste de la estructura se define en la ecuación (5), donde p_i son los precios unitarios; m_i son las mediciones de las unidades de obra, y r es el número total de unidades de obra. La función coste incluye el valor de los materiales (hormigón, pretensado, armadura pasiva, fibras de acero) y todos los elementos necesarios para evaluar el coste total del proceso constructivo del de puente. Los precios se han obtenido también de la base de datos BEDEC (2012) y figuran en la Tabla 2.

$$C = \sum_{i=1,r} p_i \times m_i \tag{5}$$

El presente problema sólo minimiza la función objetivo de las emisiones del E (4), y calcula para dicha solución la función coste (5). Las restricciones g_j en la ecuación (3) contempla todos los estados límite de servicio (ELS) y los estados límite últimos (ELU) que debe satisfacer la estructura, así como las limitaciones geométricas y de constructibilidad del problema. Este estudio sólo se limita a soluciones viables sin tomar en consideración las no factibles.

Tabla 2. Precios básicos y consumo energético

Descripción	E (kwh.)	Precio unitario (€)
Kilogramo del acero pasivo viga (B-500-S)	10,44	1,53
Kilogramo del acero pasivo losa (B-500-S)	10,47	1,18
Kilogramo del acero activo (Y-1860-S7)	12,99	2,32
m^2 de molde en viga	51,99	21,21
m^2 de encofrado en losa	124,67	32,00
m^3 de hormigón HA-25	412,99	94,00
m^3 de hormigón HA-30	438,84	102,72
m^3 de hormigón HA-35	464,97	109,85
m^3 de hormigón HA-40	495,11	117,27
m^3 de hormigón HP-35	477,83	138,74
m^3 de hormigón HP-40	501,72	144,96
m^3 de hormigón HP-45	514,49	155,70
m^3 de hormigón HP-50	525,50	167,46

3. Evaluación estructural del tablero

Una vez generados los datos necesarios que definen una estructura, el módulo de evaluación estructural calcula los estados tensionales y comprueba todos los estados límite y las restricciones geométricas representadas por Eq. (3). Las restricciones estructurales consideradas siguen los estándares seguidos por la Normativa Española (IAP-98 de 1998 y EHE-08 de 2008) para este tipo de estructuras, si bien cabe señalar que recientemente en España se ha modificado el tren de cargas para adaptarse al contenido de los Eurocódigos, incluyendo las comprobaciones en los ELS y ELU a flexión, cortante y torsión debido a las cargas. En primer lugar, se utiliza un modelo estructural de 20 barras para el análisis de la viga antes de ser conectada con la losa. Las tensiones y las reacciones se calculan mediante un programa que considera la matriz de rigidez de un modelo de emparrillado plano en 2-D formado por dos vigas de 20 barras y 21 secciones para cada viga, conectadas entre sí por tres barras en cada una de las 21 secciones (Manterola, 2006). El modelo completo consta de 103 barras y 84 nodos, realizándose un análisis elástico lineal que contempla las características mecánicas de todas las secciones.

Dentro de cada iteración, conocidas las deformaciones y la envolvente de las tensiones, se comprueban los ELS y los ELU conforme a la normativa española del hormigón (EHE-08). Es importante observar que una vez comprobada una sección, no se hace ninguna tentativa

en calcular refuerzos de acero acorde a las reglas tradicionales de diseño.

En el cálculo de los ELU a flexión en vigas se comprueba que la envolvente de flectores que actúa, M_d, esté dentro de los valores últimos del diagrama N_u - M_u de la iteración. Además, el ELU a cortante verifica que los dos últimos valores sean mayores que el cortante concomitante. También se comprueban los valores mínimos de refuerzo a flexión, cortante y torsor. El ELS comprueba la fisuración del hormigón para las condiciones de la durabilidad. Las desviaciones se limitan a 1/1000 de la longitud libre del vano para la combinación de cargas cuasi-permanente. También se comprueba la fatiga del hormigón y del acero.

4. Algoritmo híbrido recocido simulado (SA) con operador de mutación (SAMO)

El método de búsqueda de soluciones aplicado en este trabajo es un híbrido del SA con un operador de mutación. El SA fue propuesto originalmente por Kirkpatrick *et al*. (1983) para el diseño de circuitos electrónicos. "*Annealing*", en castellano "*recocido*", es el proceso químico de calentar y enfriar un material de manera controlada. Cuando un metal se calienta por encima de su punto de fundición sus propiedades cuando se enfríe dependerán, en gran medida, del proceso de enfriamiento. En el punto de fundición una gran cantidad de energía está presente en el material permitiendo que las moléculas se muevan libremente. Si se reduce la temperatura se reducirá la energía en el sistema y simultáneamente los movimientos del material. Si el metal se enfría lentamente se formarán cristales cuya disposición es la de energía mínima. Por el contrario, se enfría demasiado rápido, las moléculas pueden llegar a estados meta-estables, sin alcanzar configuraciones adecuadas. El algoritmo comienza con una solución generada aleatoriamente. Esta solución se comprueba bajo las restricciones estructurales, y si es factible se toma como una solución inicial con una alta temperatura. La solución de trabajo inicial es cambiada por un movimiento al azar pequeño de los valores de las variables. La nueva solución actual se evalúa en términos de energía consumida. Se aceptan provisionalmente soluciones de mayor energía cuando un número aleatorio entre 0 y 1 es más pequeño que la expresión de Glauber (1963) $1/(1+exp\ (-\Delta E/T))$, donde ΔE es el incremento de la energía y T es la temperatura actual. A continuación se comprueba estructuralmente, y si es factible, se adopta como la nueva solución de trabajo. La temperatura inicial se reduce geométricamente $(T=kT)$ por medio de un coeficiente de enfriamiento k. En cada paso de temperatura se ejecuta un número determinado de iteraciones llamado *cadena de Markov*. El algoritmo se detiene cuando la temperatura queda reducida a un porcentaje pequeño de la temperatura inicial y, simultáneamente, no hay mejoras en un número consecutivo de *cadenas de Markov*. Este método, es capaz de sobrepasar óptimos locales en temperaturas de rango alto-medio para converger gradualmente cuando la temperatura se reduce a cero. El método del SA requiere la calibración de la temperatura inicial, de la longitud de las cadenas de Markov y del coeficiente de enfriamiento.

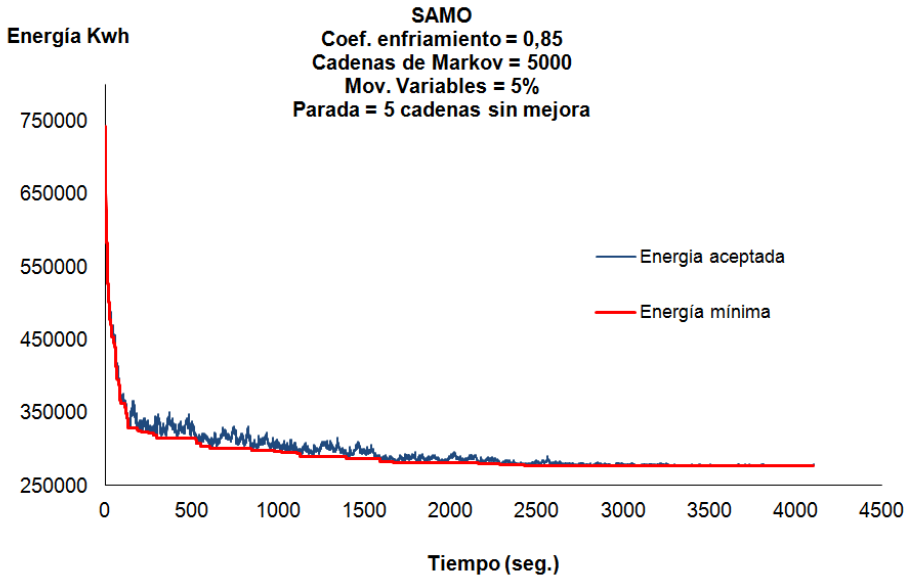
5. Análisis y discusión de los resultados

Los algoritmos y el módulo de comprobación estructural se programaron en Intel® Visual Fortran Compiler Integration for Microsoft Visual Studio 2008. Cada proceso duró una media de 70 minutos sobre un ordenador con un procesador INTEL® CoreTM i7 CPU 3820 processor con 3,60 GHz. La calibración de la heurística recomendó cadenas de Markov de 5000 iteraciones, coeficiente reductor de la temperatura de 0,85, temperatura inicial ajustada al 0,3% de la energía/coste de la solución inicial; la mutación más eficiente se corresponde con un movimiento aleatorio de dos variables, correspondiente al 5% del total, y como criterio de parada el cumplimiento de una reducción mínima del 10% de la temperatura inicial y seis cadenas sin mejora. Se procesaron 9 ejecuciones, y se obtuvieron valores mínimos, medios y desviaciones de los resultados obtenidos para el consumo energético, el

coste, las variables geométricas y la armadura activa. En la Tabla 3 se muestran los valores medios, comparándolos con los valores medios obtenidos al optimizar el coste. Se hace notar que el valor medio de las variables no toma necesariamente los valores normalizados permitidos para cada variable.

La desviación de los valores medios respecto al mínimo en el caso de la optimización del coste es del 1,02% y para la energía es del 1,05%, lo que nos ratifica la robustez de la heurística. En la Tabla 4 se ofrecen los valores de las variables geométricas y materiales para la solución con menor consumo energético, en la Tabla 5 se muestran los valores medios obtenidos de las cuantías de acero y de hormigón, y en la Tabla 6 se señala la armadura pasiva en la sección de apoyo de las mejores soluciones.

Figura 4: Evolución de la heurística con el tiempo



En la figura 4 se muestra la evolución de las soluciones aceptadas con sus valores y los valores “record”. Al principio se producen mejoras notables, en los primeros 500 segundos, identificando una primera fase de diversificación durante los primeros 2000 segundos, mientras los valores de la temperatura se mantienen altos, aceptándose soluciones considerablemente peores, y a continuación hasta el final del proceso una segunda fase de intensificación donde la fluctuación es mínima, mejorando en esta fase la solución record un 1,6% en un tiempo computacional de 2100 segundos. El comportamiento de todos los procesos es similar, con un reparto aproximado del 50% entre las fases de diversificación e intensificación.

Tabla 3. Resumen de los valores medios de los costes, consumos y de las principales variables

	Coste (€)	Enegia (Kwh)	h_1 (m)	e_4 (m)	b_1 (m)	b_3 (m)	e_1 (m)	e_2 (m)	e_3 (m)	$f_{c,viga}$ (MPa)	$f_{c,losa}$ (MPa)	p_1 (n)	p_2 (n)	p_3 (n)	p_4 (2)	S_v (m)	*Angl* (º)
(*)	63693	303235	1,38	0,19	1,41	0,20	0,18	0,10	0,15	43	36	25	15	0,0	2	5,82	66
(**)	64776	291463	1,43	0,21	1,50	0,24	0,19	0,11	0,21	42	38	26	14	0,0	2	5,82	66

(*) Optimización coste

(**) Optimización energía

Tabla 4. Resumen de las principales variables para la solución de mínima energía

Coste (€)	Enegia (Kwh)	h_1 (m)	e_4 (m)	b_1 (m)	b_3 (m)	e_1 (m)	e_2 (m)	e_3 (m)	$f_{c,viga}$ (MPa)	$f_{c,losa}$ (MPa)	p_1 (n)	p_2 (n)	p_3 (n)	p_4 (2)	S_v (m)	*Angl* (º)
65909	276914	1,47	0,25	1,68	0,27	0,20	0,10	0,25	40	40	30	14	0,0	2,0	5,79	71

Tabla 5. Valores medios armadura pasiva, activa y hormigón

	Pasiva viga (kg)	*Pasiva losa* (kg)	*Total pasiva* (kg)	*Total pasiva* (kg/m^2)	*Activa* (kg)	*Hormigón viga* (m^3)	*Hormigón losa* (m^3)	*Hormigón viga* (m^3/m^2)	*Hormigón losa* (m^3/m^2)
(*)	2854	11455	14309	45,86	2967	30,18	60,53	0,097	0,194
(**)	2834	9551	12385	39,69	3039	35,52	63,99	0,114	0,205

(*) Optimización coste

(**) Optimización energía

Tabla 6. Armadura pasiva longitudinal y transversal en la sección de apoyo para las mejores soluciones

	As6	*As7*	t_1 (m)	t_2 (m)	t_3 (cm)	t_4 (cm)	t_5 (cm)
(*)	49Ø16	49Ø6	Ø10/200	Ø8/200	Ø8/200	Ø25/300	Ø25/300
(**)	97Ø8	49Ø6	Ø10/200	Ø8/200	Ø8/200	Ø20/300	Ø20/300

(*) Optimización coste

(**) Optimización energía

De los resultados geométricos obtenidos, mostrados en la Tabla 3 se pueden comprobar los siguientes extremos comparando la optimización en energía respecto al coste:

El canto medio de la viga es superior y tiene una esbeltez L/17,5, inferior al límite impuesto de L/17, pero aun así, bastante cercano. El espesor medio de la losa es algo superior, pero muy reducido, de 0,21 m., tendente a disminuir el peso propio del tablero, pero necesario para resistir la flexión transversal de las sobrecargas variables. Los espesores de las alas y alma de la viga son algo superiores, pero pequeños para reducir su peso, y a la vez, poder albergar las armaduras activas en las alas y resistir a cortante y torsor en las almas. Las longitudes de las alas superiores e inferiores de las vigas también son algo superiores, pero con valores mínimos en las superiores, suficientes para ubicar la armadura activa superior.

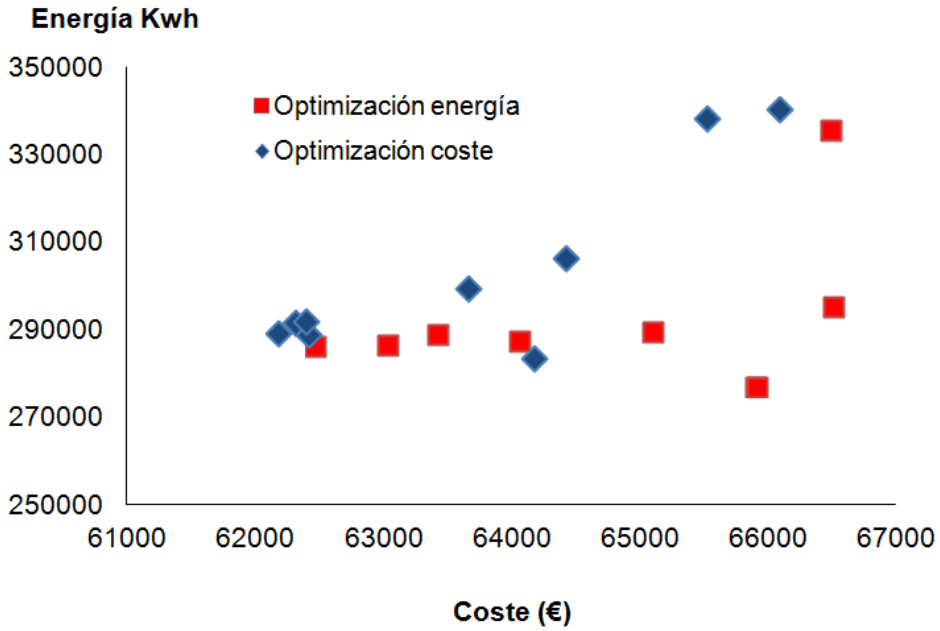
Las calidades del hormigón requerido son similares. En la viga, el valor medio de la resistencia característica f_{ck} es de 42 MPa, y en la losa, f_{ck} es de 38 MPa. El número de torones medio en el ala inferior es de 40, distribuidos en dos niveles, y dos torones en las alas superiores, lo mínimo para que no fisuren a tracción las alas en el banco de la planta de prefabricados cuando se tesan los torones inferiores. La separación media entre vigas S_v es de 5.82 m para las dos optimizaciones. Esta separación es inferior a la mitad de la dimensión del tablero -6 metros-, para poder ajustarse mejor a la distribución de la sobrecarga variable, en la que el carro se encuentra desplazado del extremo. La inclinación del alma es de 66º en ambas optimizaciones.

En la Tabla 5 se comparan las cuantías de acero y de hormigón para las dos optimizaciones, resumiendo que al optimizar en consumo energético la cuantía del hormigón, tanto en viga como en losa, es superior, mientras que con la armadura pasiva sucede lo contrario. En la Tabla 6 se representa la armadura pasiva en la sección de apoyo para las mejores soluciones, donde se aprecia que la mayor cuantía de acero viene localizada en la losa.

En la Figura 5 se representan los valores obtenidos de los consumos de energía y del coste

de las soluciones para las distintas funciones objetivo. Se aprecia que ambos objetivos van muy ligados, de tal modo que si se optimiza económicamente una estructura, por cada euro que se ahorra de valor medio, se dejan de consumir 4,76 Kwh de energía, y por otro lado, cuando se optimiza energéticamente, repercute en un incremento del coste del tablero de 3,47 €/m^2 (ver Tabla 3).

Figura 5: Valores de Energía y Coste de las distintas soluciones con distintos criterios de optimización



6. Conclusiones

El trabajo presenta un algoritmo SA híbrido con un mutador operacional (SAMO) aplicado con éxito al diseño automático y a la optimización en consumo energético de puentes prefabricados de hormigón. Este algoritmo, ejecutado varias veces, proporciona escasas variaciones respecto a la media de los valores encontrados, alcanzando buenas soluciones, incluso en el caso de una sola ejecución. Del estudio realizado para luces de 25 m, se ha comprobado un valor medio en la relación del canto de la luz, L/17,2. El espesor medio de la losa resultante es de apenas 0,21 m, de forma que las soluciones optimizadas tienden a reducir al máximo el peso de la estructura, pues los espesores de alas y alma de la viga también son muy reducidos. La resistencia característica del hormigón en la viga es ligeramente superior al de la losa, con valores medios de 42 MPa y 38 MPa, respectivamente, no habiendo sido necesario llegar hasta la máxima resistencia posible en ninguno de los casos. La separación entre vigas es de 5,82 m y el ángulo de las almas de de 66º. Por último, las heurísticas muestran que los resultados en las reducciones del consumo energético y del coste están íntimamente ligados cuando se optimizan las estructuras, por cada euro que se ahorra de valor medio, se dejan de consumir 4,76 Kwh de energía, y el ahorro energético repercute solamente en un incremento del coste de 3,47 €/m^2 de tablero.

7. Referencias

Carbonell A, Gonzalez-Vidosa F, Yepes V. (2011). Design of reinforced concrete road vaults by heuristic optimization. *Adv Eng Softw* 42(4):151-9.

Cohn MZ, Dinovitzer AS. (1994). Application of structural optimization. *J Struct Eng* 120(2),617-49.

EHE-08. Ministerio de Fomento. (2008). Instrucción de Hormigón Estructural EHE, Madrid.

Glauber R. J. (1963). Time-dependent statistics of the Ising model. *J. Math. Phys.* 4, 294.

Horvath, Construction materials and the environment (2004), *Annual Review of Energy and The Environment 29* 181–204.

IAP-98. Ministerio de Fomento. (1998). Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carreteras IAP-98, Madrid.

Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (2012). BEDEC PR/PCT ITEC base de datos, (http://itec.cat/nouBedec.e/bedec.aspx).

Kirkpatrick S, Gelatt CD, Vecchi MP. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science* 220(4598):671-80.

Manterola J. (2006). Puentes. Apuntes para su diseño, cálculo y construcción, Colección Escuelas, Madrid.

Martí JV, Gonzalez-Vidosa F. (2010). Design of prestressed concrete precast pedestrian bridges by heuristic optimization. *Adv Eng* Softw 41(7-8):916-22.

Martí, J.V., Optimización de tableros isostáticos de vigas artesa. (2011). *Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG*. ISSN 9783844339451.

Martí JV, González-Vidosa F, Yepes, V, Alcalá, J. (2013). Design of prestressed concrete precast road bridges with hybrid simulated annealing. *Eng. Struct*. 48, 342–352.

Martinez FJ, Gonzalez-Vidosa F, Hospitaler A, Alcala J. (2011). Design of tall bridge piers by ant colony optimization. *Eng Struct* 33(8):2320-9.

Paya I, Yepes V, González-Vidosa F y Hospitaler F. (2008). Multiobjective Optimization of Reinforced Concrete Building Frames by Simulated Annealing. *Comput Aid Civil Infrast Eng* 23(8):596-610.

Perea C, Alcala J, Yepes V, Gonzalez-Vidosa F y Hospitaler A. (2008). Design of reinforced concrete bridge frames by heuristic optimization. *Adv Eng Softw* 39(8):676-88.

Yeo, D y Gabbai, R.D. (2011). Sustainable design of reinforced concrete structures through embodied energy optimization. *Energy and buildings*, 43(8): 2028-2033

Yepes V, Alcala J, Perea C y Gonzalez-Vidosa, F. (2008). A parametric study of optimum earth retaining walls by simulated annealing. *Eng Struct.* 30(3):821-30.

Yepes, V, Villalba, P, Alcalá, J y González-Vidosa, F. (2011). Energy consumption optimization design of prestressed concrete slab bridge decks. *4th International Congress on Energy and Environment Engineering and Management*, 26-27 May, Mérida (Spain), pp. 153. ISBN: 978-84-9978-014-6.

05-016

THE NEED TO GET ENERGY-EFFICIENT HABITS IN USE OF THE FACILITIES. APPLICATION TO THE ARTIFICIAL LIGHTING IN A SPORTS HALL

Fuentes Bargues, Daniel [1]; Escriva Escriva, Guillermo [2]; Fuentes Bargues, Jose Luis [3]

[1] Insegma S.L., [2] Dpto Ingeniería Eléctrica UPV, [3] Departamento de Proyectos de Ingeniería UPV

Energy efficiency is one of the most profitable ways to enhance security of energy supply, to ensure business competitiveness, and reduce emissions of greenhouse gases and other airborne pollutants. Saving measures and energy efficiency that could be implemented in a facility, with a high savings percentage, would be achieved in many cases with simple actions and with little or no investment performances. The cornerstone of energy efficiency is to instill habits users of energy efficient behavior. This paper exposes the real case of the artificial lighting in a sports hall, designed to accommodate sporting events shown on television, where the lighting requirements are very high and involve high electricity consumption. A comparative analysis is performed, evaluating the annual energy cost and environmental impact, including the operation of the facility with the energy bad habits that were produced by different users, compared to energy-savings habits based on patterns of behavior and the installation of some basic control elements, showing the high percentage of savings achieved with simple actions.

Keywords: *Efficiency; Energy; Artifical Lighting; Sports facilities*

NECESIDAD DE HÁBITOS ENERGÉTICOS EFICIENTES EN LA UTILIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES. APLICACIÓN EN LA ILUMINACIÓN DE UN PABELLÓN DEPORTIVO

La eficiencia energética es una de las formas más rentables de reforzar la seguridad del abastecimiento energético, de garantizar la competitividad, y de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de otras sustancias contaminantes. Las medidas de ahorro y eficiencia energética a implantar en una instalación, con las que se lograría un alto porcentaje de ahorro, en muchos casos son actuaciones sencillas y con poca o nula inversión. El pilar fundamental de la eficiencia energética es inculcar a los usuarios unos hábitos de comportamiento energéticamente eficientes. En el presente trabajo se expone el caso real del alumbrado de un pabellón polideportivo diseñado para acoger eventos deportivos retransmitidos por televisión, donde las necesidades de iluminación son muy elevadas y conllevan elevados consumos eléctricos. Se realiza un análisis comparativo, evaluando el coste energético anual y su repercusión al medio ambiente, entre el funcionamiento de la instalación con los hábitos energéticamente inadecuados que se producían por los diferentes tipos de usuarios de la misma, frente a un uso energéticamente eficiente basado en unas pautas de comportamiento y unas medidas físicas de control de la instalación, demostrando el alto porcentaje de ahorro alcanzado con acciones tan simples.

Palabras clave: *Eficiencia; Energía; Iluminación artificial; Instalaciones Deportivas*

Correspondencia: José Luis Fuentes Bargues jofuebar@dpi.upv.es

1.- Introducción.

El consumo energético actual y las previsiones de incremento de la demanda energética en el planeta, debido a las regiones emergentes y fuertemente pobladas, junto con la escasez de recursos y los problemas medioambientales derivados del modelo energético basado en el uso principal de combustibles fósiles, exigen una sensibilización de las sociedades responsables ante el problema energético.

Las estrategias energéticas europeas durante los últimos años están basadas en la sostenibilidad, la competitividad y la seguridad del abastecimiento energético. Los compromisos medioambientales adoptados por la UE tras la firma y ratificación del protocolo de Kyoto, y la necesidad de una reducción de la dependencia energética exterior, garantizando una competitividad de precios y una cobertura de la demanda energética de los países miembros han obligado a establecer una nueva política energética (Unión Europea 2012).

Una mayor eficiencia en el uso final de la energía que contribuya a disminuir el uso de energía primaria, el fomento de las energías renovables que pueda garantizar el autoabastecimiento energético, y la reducción del uso de las energías primarias basadas en combustibles fósiles con objeto de reducir las emisiones de CO_2 y otros gases de efecto invernadero, son las bases sobre los que se sostiene la estrategia energética adoptada por los países miembros (Unión Europea 2006).

La directiva 2012/27/UE propone para lograr este objetivo, entre otras acciones, la necesidad de que los estados miembros fomenten la elaboración de auditorías energéticas, detectando e identificando medidas de ahorro energético que garanticen una mayor eficiencia en las instalaciones.

Estas medidas de ahorro y eficiencia energética a implantar en una instalación, con las que se lograría un alto porcentaje de ahorro, en muchos casos son actuaciones sencillas y con poca o nula inversión (Escrivá 2011). El pilar fundamental sobre el que se debe sustentar la eficiencia energética es inculcar a los usuarios unos hábitos de comportamiento energéticamente eficientes.

2.- Planteamiento del caso de estudio.

El ascenso a la división de honor del club de balonmano de la localidad de Sagunto (Valencia) conlleva la necesidad de adaptar ciertas características de su pabellón polideportivo a las prescripciones de la Asociación de Clubes Españoles de Balonmano para equipos y canchas de este nivel. Entre las necesidades, y con objeto de poder albergar retransmisiones por televisión de competiciones tanto nacionales como internacionales, es necesario acondicionar la instalación de alumbrado a las exigencias de la normativa.

2.1.- Descripción constructiva del pabellón polideportivo.

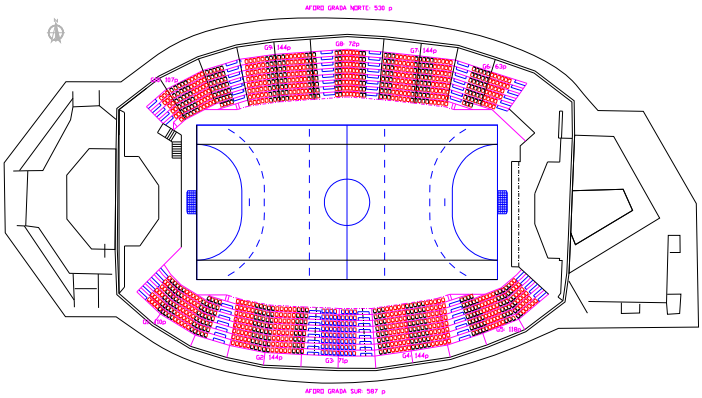
Se trata de un edificio construido en los años 80, con forma ovalada, de dimensiones aproximadas 75x45 metros, y una altura aproximada de 15 metros. El edificio está formado por una estructura vertical de hormigón, y una estructura de cubierta a base de cerchas y correas metálicas.

El interior está distribuido en una pista central destinada a la práctica de balonmano, fútbol sala, baloncesto, etc., alrededor de la cual se sitúan las gradas para aficionados. Los ocho niveles de graderías existentes dotan al pabellón de una capacidad (público sentado) de 1117 personas (Figura 1).

En ambos extremos de la pista deportiva existen locales anexos destinados a otros usos. En el lado oeste del pabellón están ubicados los vestuarios, sala de prensa,

cuadro eléctrico, oficinas, etc., mientras que en el lado este del pabellón se encuentran situados los servicios de uso público, la sala de lucha libre, y locales anexos a la sala de lucha.

Figura 1: Planta Pabellón Polideportivo. Fuente: Elaboración propia.



2.2.- Descripción de la instalación de alumbrado existente.

El sistema de iluminación existente en la pista principal del pabellón polideportivo estaba formado por una línea de veinte proyectores simétricos de halogenuros metálicos de 1000/2000 W en cada una de las bandas de la pista de juego, fijados a las cerchas de la estructura metálica de cubierta (Figura 2). Éste no se encontraba en un estado óptimo, motivado por la falta de mantenimiento y por la antigüedad del mismo, produciéndose de forma continuada fallos tanto en las líneas de alimentación como en los propios proyectores.

Figura 2: Interior Pabellón Polideportivo. Estado inicial. Fuente: Elaboración propia.

La falta de fiabilidad en el sistema de iluminación y sus características técnicas, que no eran suficientes para garantizar los niveles luminotécnicos exigidos por la normativa para las retransmisiones por televisión en color, propulsaron la necesidad de adecuar dicha instalación a la normativa aplicable para este tipo de eventos.

3.- Necesidades Luminotécnicas. Normativa Aplicable.

Las necesidades de iluminación para acontecimientos deportivos de interior y exterior, que garanticen una buenas condiciones visuales para jugadores, atletas, árbitros,

espectadores y retransmisión por cámaras de televisión, quedan recogidas en la norma UNE-EN 12193:2009 (AENOR 2009).

Dicha norma específica, para los deportes más practicados en Europa, los valores luminotécnicos necesarios para el diseño, control y verificación de los sistemas de alumbrado deportivo, en términos de iluminancias, uniformidad, limitación del deslumbramiento y propiedades de color de las fuentes luminosas.

A nivel nacional hay que destacar la normativa sobre instalaciones deportivas y para el esparcimiento (NIDE) elaboradas por el Consejo Superior de Deportes (CSD 2015), organismo autónomo dependiente del Ministerio de Educación Cultura y Deporte. Dicha normativa tiene como objetivo definir las condiciones reglamentarias por la que se rigen cada uno de los deportes dependientes de éste organismo, así como las características de proyecto que deben cumplir los espacios en los que se desarrollen los mismos, con objeto de normalizar las instalaciones en todo el ámbito geográfico.

Las normas NIDE serán de aplicación en todos aquellos proyectos subvencionados con fondos del Consejo Superior de Deportes y en instalaciones deportivas en las que se celebren competiciones oficiales dependientes de la Federación Deportiva nacional correspondiente.

Estas normas, en lo referente a las condiciones de iluminación que deben cumplir los espacios que albergarán acontecimientos deportivos se remiten a la norma UNE indicada anteriormente, si bien en algunos deportes y competiciones indican prescripciones complementarias a la misma.

En la norma UNE-EN 12193:2009 los valores luminotécnicos necesarios para cada actividad deportiva se establecen para tres clases de eventos según los niveles de competición:

Alumbrado Clase I: “Competición al más alto nivel, tal como competición internacional y nacional que implicará generalmente mayores capacidades de espectadores con distancias de visión potencialmente largas. El entrenamiento de muy alto nivel se puede incluir también en esta clase” (Internacional/Nacional).

Alumbrado Clase II: “Competición de nivel medio, tal como competición regional o de club local que implica generalmente capacidades de tamaño medio de espectadores con distancias de visión medias. El entrenamiento de alto nivel se puede incluir también en esta clase” (Regional/Local).

Alumbrado Clase III: “Competición de bajo nivel, tal como competición local o de un club pequeño que generalmente no implica espectadores. El entrenamiento general, la educación física (deportes de colegios) y actividades recreativas están también en esta categoría” (Entretenimiento/Recreativo/Escolar).

Para cada clase de alumbrado y para tipo de deporte, mediante tablas se establecen los valores de la iluminancia y uniformidad, tanto horizontal (E_{Hm},E_{Hmin}/E_{Hm}) como vertical (E_{Vm},E_{Vmin}/E_{Vm}), así como el rendimiento de color R_a.

Las competiciones retransmitidas por televisión requieren unas exigencias lumínicas adicionales, sobre todo en cuanto a los niveles de iluminación vertical y uniformidad, alumbrado “Clase TVC”. La iluminación vertical es aquella que hace perceptibles las proporciones y los espacios, y garantiza la correcta visualización del juego a través de la cámara. El valor requerido depende principalmente de la velocidad de acción, la distancia de filmación y del ángulo de la lente. Para ello la norma UNE establece, para tres grupos de deportes, la relación entre la iluminación vertical necesaria y la distancia máxima de filmación.

Tomando como base los principales deportes practicados en las pistas del pabellón polideportivo; balonmano, fútbol sala y baloncesto, las características lumínicas según la norma UNE-EN 12193 se recogen en la Tabla 1, en las que se indica un número

clave que se refiere a tabla de exigencias luminotécnicas del anexo A de la norma, y una letra que hace referencia a las exigencias luminotécnicas adicionales para la transmisión de televisión en color (TVC) y sistemas de filmación de película. Los requisitos lumínicos serán los indicados en la Tabla 2.

Tabla 1: Exigencias por deporte (Tabla 2 – apartado 5.2 UNE-EN 12193:2009).

DEPORTE		TABLA ANEXO A	GRUPO TVC
Balonmano	*Interior*	*A.2*	*B*
Fútbol sala	*Interior*	*A.2*	*B*
Baloncesto	*Interior*	*A.2*	*B*

Tabla 2: Requisitos lumínicos (Tabla A.2 – anexo A UNE-EN 12193:2009).

Clase	Iluminancia Horizontal		R_a
	E_{Hm} lux	E_{Hmin}/E_{Hm}	
I	>750	>0,7	>60
II	>500	>0,7	>60
III	>200	>0,5	>20

Las exigencias lumínicas para la retransmisión de televisión en color (TVC) para grupos de deporte tipo B, considerando una distancia máxima de filmación de 60-65 metros serán las indicadas en la Tabla 3.

Tabla 3: Tabla de requisitos TVC (apartado 6.3 norma UNE-EN 12193:2009).

Clase	Iluminancia Horizontal			Iluminancia Horizontal
	E_{Vm} lux	E_{Vmin}/E_{Vmax}	E_{Hm}/E_{Vm}	E_{Hmin}/E_{Hmax}
TVC	>750	>0,4	$0,5 \leq E_{Hm}/E_{Vm} \leq 2$	$\geq 0,5$

Los normas NIDE, tal y como se ha comentado, establecen requerimientos de iluminación para los alumbrados “clase I, II y III” idénticos a los indicados en la norma UNE-EN 12193, mientras que para el alumbrado “clase TVC” las exigencias suelen ser superiores, en función del tipo de deporte y de la importancia de la competición retransmitida. Estos requerimientos se deberán tener en cuenta para que la instalación sea verificada y aprobada por la Federación Deportiva correspondiente para acoger eventos de este tipo.

4.- Diseño Técnico. Descripción de la solución adoptada.

El sistema de iluminación del pabellón se diseña con el objetivo de que éste emplazamiento sea la sede local del equipo de balonmano en división de honor y por tanto debe satisfacer las necesidades luminotécnicas tanto en entrenamientos como en partidos de competición al máximo nivel. Por ello, sin perder de vista otros posibles deportes que pudieran practicarse en las instalaciones, el diseño siempre encaminó a cumplir las especificaciones de la Asociación de Clubes Españoles de Balonmano y normas NIDE específicas de este deporte.

En el diseño inicial se consideraron tres posibles niveles de iluminación en función de la actividad que se fuera a desarrollar, iluminación para entrenamiento profesional (clase II), iluminación para competición profesional (clase I), iluminación para retransmisiones deportivas (clase TVC). No obstante, dado que para el resto de actividades “no profesionales” que se pudieran celebrar en el pabellón no se precisaban niveles de iluminación tan elevados, se consideró un nivel inferior, entrenamientos amateur/escuelas/otras actividades (clase III), tal y como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Clases de alumbrado considerados en el diseño.

Clase de Alumbrado	Actividad
Clase TVC	*Competiciones retransmitidas por TV*
Clase I	*Competiciones profesionales*
Clase II	*Entrenamientos profesionales/Competiciones amateur*
Clase III	*Entrenamientos amateur/Escuelas/Otras actividades*

Las exigencias para cada uno de los niveles de iluminación (clase I, II y III) fueron las establecidas por la norma UNE y vistas en la Tabla 2. En el caso de la clase TVC se tuvieron en cuenta los valores indicados en la Tabla 3, las prescripciones de la norma NIDE BLM (CSD 2013), y las recomendaciones de uno de los principales fabricantes de luminarias para eventos deportivos (Philips 2006), quedando las prescripciones finales resumidas en la Tabla 5.

Tabla 5: Niveles de iluminación en retransmisiones deportivas (clase TVC).

	Iluminancia Horizontal		Iluminancia Vertical			*IRC*
	E_{Hm} lux	E_{Hmin}/E_{Hm}	E_{Vm} lux	E_{Vmin}/E_{Vm}	E_{Vmin}/E_{Vmax}	
Clase TVC	*[1000-2000]*	*>0,7*	*≈1000*	*> 0,6*	*>0,4*	*>80*

El objetivo del diseño del sistema de iluminación fue garantizar los niveles luminotécnicos exigidos para cada una de las clases de alumbrado mediante la combinación del menor número de bloques de luminarias.

Para el alumbrado general de la pista deportiva del pabellón se seleccionó el proyector OPTIVISIÓN de Philips modelo MVP507 WB/60, con lámparas modelo MHN-LA1000W/230V/956 de Philips. Se trata de un proyector de alumbrado asimétrico de alta eficiencia, con un haz de luz ancho y un control adecuado del flujo lumínico que limita el deslumbramiento. Las lámparas son de descarga de alta intensidad, con una potencia de 1000 W (230V), casquillo tipo X528/C, con un flujo luminoso de 90000 lm., una eficacia lumínica de 90 lm./W, temperatura de color de 5600 K, e IRC >90. Equipos de encendido y compensación del factor de potencia, tipo BOX SON/MHN-LA/MHN-FC 1000W. El consumo eléctrico teórico del conjunto luminaria-equipo de encendido es de 1078 W.

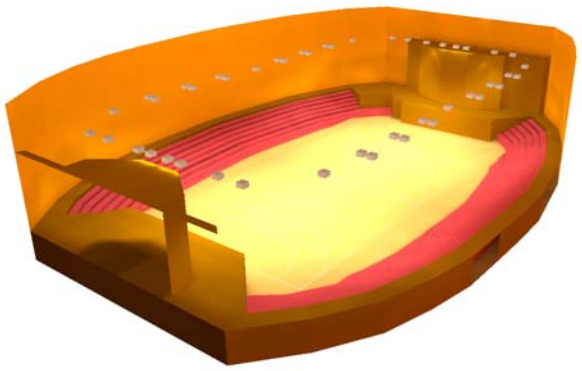
Figura 3: Interior Pabellón Polideportivo. Estado final. Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención del número de proyectores, posición y orientación de los mismos, se partió de la premisa de crear una línea de proyectores en cada banda de la pista y una en cada zona de portería (Figura 3 y 4). El objetivo era agrupar al máximo los

proyectores para facilitar el posterior mantenimiento de los mismos a través de una futura pasarela colocada a lo largo de las cerchas metálicas de cubierta.

El cálculo se realizó mediante el programa informático “CalcuLux Area 7.0.0.” de Philips. Se consideraron dos cuadrículas de cálculo correspondientes a las dos áreas de juego existentes en el pabellón, balonmano/fútbol sala y baloncesto, con las dimensiones y número de puntos por cuadrícula establecidas en la UNE-EN 12193.

Figura 4: Modelización Pabellón Polideportivo. Fuente: Elaboración propia.



Se obtuvieron los niveles de iluminación y de uniformidad en cada uno de los alumbrados previstos, así como los niveles de iluminación que recibirían las cámaras de televisión consideradas, una principal situada en la grada sur, en la zona de tributa, y otra secundaria situada en la zona oeste (Tabla 6).

Tabla 6: Resultados cálculos luminotécnicos.

Clase de Alumbrado	Nº Proyectores	Código encendido
Clase III	*3+3*	*1*
Clase II	*10+10*	*2*
Clase I	*3+3/10+10*	*3*
Clase TVC	*3+3/10+10/10+10*	*4*

Cálculos de (I)luminancia:

Cálculo	Encendido	Tipo	Unidad	Med	Mín/Med	Mín/Máx
Blmano/F Sala Clase III	*1*	*Iluminancia en la superficie*	*lux*	*207*	*0,61*	*0,39*
Blmano/F Sala Clase II	*2*	*Iluminancia en la superficie*	*lux*	*580*	*0,76*	*0,59*
Blmano/F Sala Clase I	*3*	*Iluminancia en la superficie*	*lux*	*787*	*0,77*	*0,58*
Blmano/F Sala Hz TVC	*4*	*Iluminancia en la superficie*	*lux*	*1450*	*0,70*	*0,54*
Blmano/F Sala TVC Cam 1	*4*	*Iluminancia -> Aa*	*lux*	*924*	*0,61*	*0,41*
Blmano/F Sala TVC Cam 2	*4*	*Iluminancia -> Bb*	*lux*	*1107*	*0,64*	*0,40*

Nota: Resultados para la cuadrícula de cálculo Balonmano/Fútbol Sala.

El diseño final, que cumplía los requisitos indicados anteriormente, está formado por tres bloques de luminarias, cuya combinación de encendidos garantiza los niveles luminotécnicos exigidos para cada una de las clases de alumbrado. La posición y orientación de las luminarias se muestra en las figuras 5 y 6.

Figura 5: Niveles Isolux alumbrado clase III (izquierda) y clase II (derecha). Fuente: Elaboración propia.

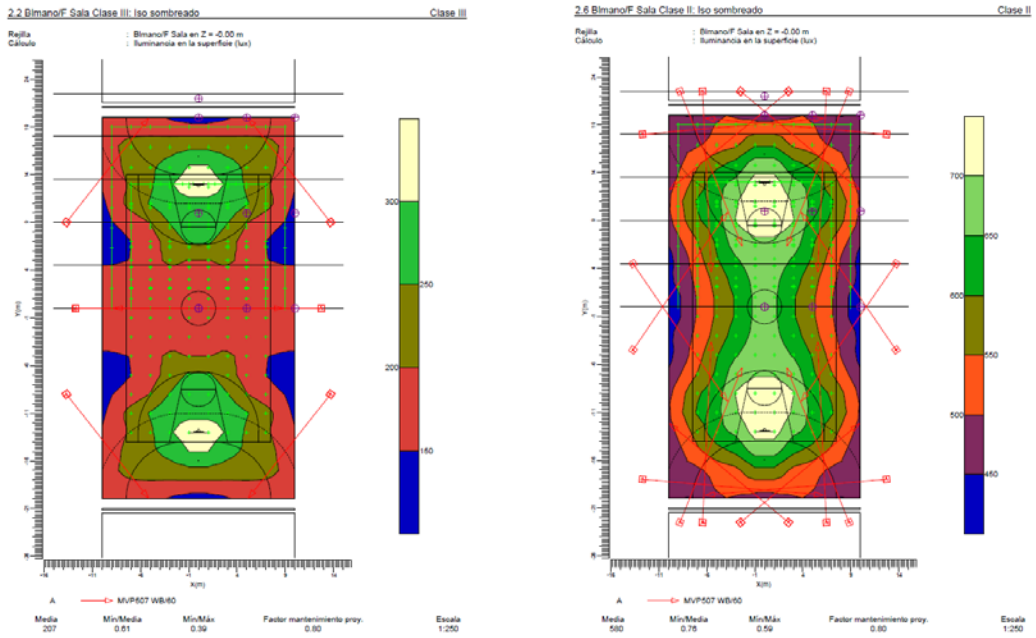
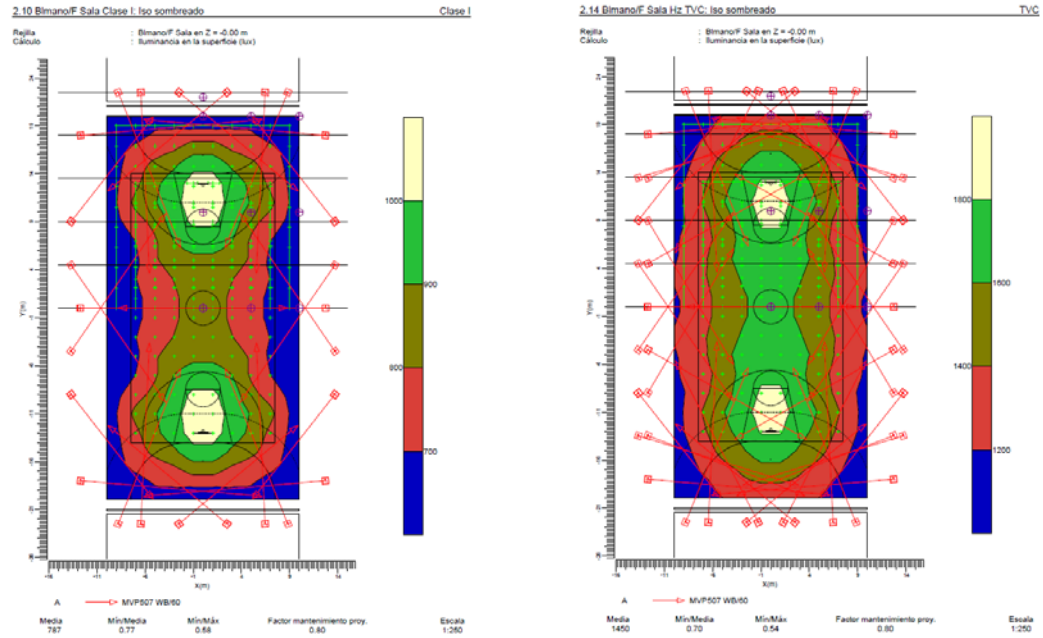


Figura 6: Niveles Isolux alumbrado clase I (izquierda) y clase TVC (derecha). Fuente: Elaboración propia.



El número de proyectores que deberán funcionar simultáneamente para garantizar los niveles de iluminación en cada una de las clases de alumbrado diseñadas será el indicado en la Tabla 7. Para el alumbrado clase TVC será un número elevado, y teniendo en cuenta la potencia eléctrica de éstos el consumo eléctrico global de la instalación será considerable.

Tabla 7: Clases de alumbrado. Potencia eléctrica simultánea.

Clase de Alumbrado	Encendidos	Nº proyectores	Potencia conectada (kW)
Clase III	*3+3*	*6*	*6,47*
Clase II	*10+10*	*20*	*21,56*
Clase I	*3+3/10+10*	*26*	*28,03*
Clase TVC	*3+3/10+10/10+10*	*46*	*49,59*

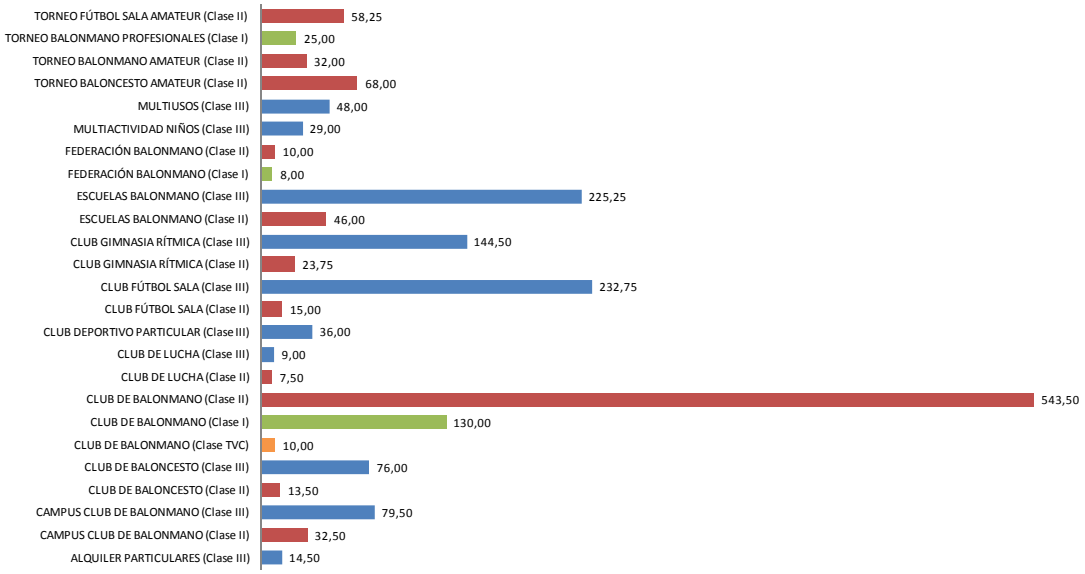
5.- Hábitos de uso de la Instalación.

Una vez finalizada la instalación de adecuación del alumbrado del pabellón y tras varios meses de uso, se notó que no se ajustaba la clase de alumbrado diseñada a la actividad que se realizaba en el mismo. Dado que no existía un único responsable del encendido del alumbrado, y pese a indicar la correspondencia entre clase de alumbrado y actividad en trípticos e instrucciones de encendido, se conectaba en cualquier situación el nivel de alumbrado más elevado (correspondiente a clase TVC).

Con el objetivo de analizar el gasto energético anual del sistema de iluminación diseñado, se recopilaron los datos correspondientes al uso de la instalación durante un año, añadiendo la previsión de horas de funcionamiento en clase TVC (previsión de retransmisiones por televisión).

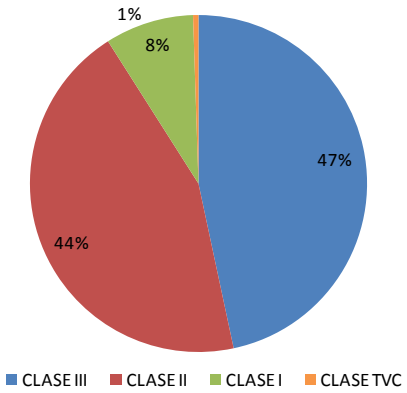
Agrupando las actividades similares, y clasificándolas según el nivel las necesidades de iluminación se obtuvieron las horas anuales de funcionamiento del sistema de iluminación (Figura 7).

Figura 7: Horas anuales de funcionamiento de la iluminación del pabellón para cada tipo de actividad y clase de alumbrado. Fuente: Elaboración propia.



En la Figura 8 se muestran las proporciones temporales de uso de los diferentes tipos de alumbrado diseñados. Se puede observar que los porcentajes elevados de uso corresponden a tipos de alumbrado clase II y clase III (91%), cuyos niveles de iluminación y potencia eléctrica conectada son muy inferiores a los que se estaban utilizando con los malos hábitos de uso.

Figura 8: Porcentaje de horas anuales de funcionamiento en función de la clase de alumbrado. Fuente: Elaboración propia.



En el 99% del tiempo de utilización de la iluminación del pabellón las necesidades luminotécnicas estaban por debajo de los niveles de iluminación utilizados con los malos hábitos de uso. Esta situación permite vislumbrar que el ahorro energético que se alcanzaría corrigiendo éstos malos hábitos sería elevado.

6.- Contabilidad Energética según Hábitos de Uso.

A continuación se realiza un análisis comparativo, evaluando el coste energético anual y su repercusión al medio ambiente, entre el funcionamiento de la instalación con los hábitos energéticamente inadecuados que se producían por los diferentes tipos de usuarios de la misma, frente a un uso energéticamente eficiente basado en unas pautas de comportamiento y unas medidas físicas de control de la instalación, demostrando el alto porcentaje de ahorro alcanzado con acciones tan simples.

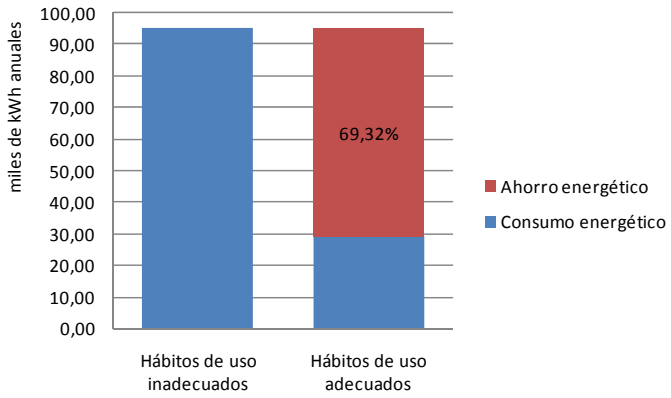
Considerando las horas de funcionamiento y el número de proyectores conectados en cada una de las clases de alumbrado, en la Tabla 8 se muestra la energía eléctrica consumida anualmente para cada una de las situaciones planteadas.

Tabla 8: Contabilidad energética anual según hábitos de uso.

Clases de Encendidos	Tiempo (horas)	Nº proyect.	kW	kWh anuales
HÁBITOS DE USO ADECUADOS				
CLASE III	*894,50*	*6*	*6,47*	*5785,63*
CLASE II	*850,00*	*20*	*21,56*	*18326,00*
CLASE I	*163,00*	*26*	*28,03*	*4568,56*
CLASE TVC	*10,00*	*46*	*49,59*	*495,88*
TOTAL	*1917,50*			*29176,07*
HÁBITOS DE USO INADECUADOS				
CLASE TVC	*1917,50*	*46*	*49,59*	*95084,99*
TOTAL	*1917,50*			*95084,99*

Tal y como se puede observar en la Figura 9, el ahorro energético que se lograría utilizando la clase de alumbrado adecuada a la actividad que se está realizando en el pabellón polideportivo, con respecto a los hábitos energéticamente inadecuados de utilizar siempre la clase de alumbrado más elevada, serían del 69,32%.

**Figura 9: Consumo/Ahorro energético según hábitos de uso.
Fuente: Elaboración propia.**



Según la propuesta de documento reconocido del IDAE sobre "Coeficientes de paso de emisiones de CO_2 y consumo de energía primaria para soluciones alternativas del RITE" (IDAE 2013), el coeficiente para energía eléctrica es de 0,399 kg CO_2/ kWh final. Por lo que, el ahorro energético logrado permitiría reducir en 26297,66 kg CO_2 las emisiones producidas por el consumo eléctrico de la iluminación del pabellón.

El ahorro económico dependerá de la tarifa eléctrica contratada en el mercado liberalizado. No obstante, con objeto de tener un valor aproximado del mismo, se considerará el precio medio neto de la energía eléctrica (kWh) para uso industrial para 2014 publicado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR 2014), que para España es de 0,101 €/kWh.

Considerando la energía consumida en ambas situaciones, el ahorro económico neto será de aproximadamente 6500 € anuales, que con la parte proporcional de los impuestos eléctricos rondarían los 7000 € anuales. Cifra bastante significativa teniendo en cuenta que la inversión necesaria para lograrla es nula, tan sólo inculcar y garantizar unas pautas de comportamiento energéticamente eficientes.

Éstas no solo producirían ahorros energéticos en el consumo eléctrico del sistema de iluminación, sino que permitirían reducir el número de horas de funcionamiento de gran parte de las luminarias, incrementando el ciclo de sustitución de las lámparas.

Analizando las luminarias por bloques de encendido, y considerando una vida media de las lámparas de 8000 horas (indicado por el fabricante), los años de vida de las mismas se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Comparativa duración ciclo de sustitución de lámparas.

	Hábitos de uso inadecuados		Hábitos de uso adecuados	
Luminaria	Situación inicial	Años vida	Situación final	Años vida
3+3 (Clase III/Clase I/Clase TVC)	*1907,50*	*4,19*	*1057,50*	*7,57*
10+10 (Clase II/Clase TVC)	*1907,50*	*4,19*	*850,00*	*9,41*
10+10 (Clase TVC)	*1907,50*	*4,19*	*10,00*	*800,00*

En el peor de los casos, aplicando unos hábitos de comportamiento energéticamente eficientes el ciclo de sustitución de las lámparas prácticamente se duplicaría.

Por otro lado, aunque en el pabellón polideportivo objeto del presente texto no existe sistema de climatización, la medida de ahorro energético planteada para el sistema de iluminación conllevaría un efecto cruzado, reduciendo la carga térmica en el interior del edificio con la consecuente reducción en el consumo eléctrico del sistema de climatización.

7.- Conclusiones.

A lo largo del presente texto se ha puesto de manifiesto que las medidas de ahorro energético que puedan alcanzar importantes ahorros energéticos, económicos y medio ambientales no tienen porque ser acciones complejas y con inversiones elevadas.

En el presente texto se ha demostrado mediante el caso real de un pabellón polideportivo que mediante acciones sencillas, basadas en inculcar unas correctas pautas de comportamiento, se pueden lograr ahorros energéticos superiores al 69% del consumo inicial.

En este tipo de instalaciones de alumbrado es primordial ajustar los niveles de iluminación a las necesidades de la actividad que se está desarrollando, evitando así el derroche energético que suele darse en este tipo de instalaciones. En casos extremos, en los que la formación energética al personal usuario de las instalaciones no fuera suficiente para garantizar unos hábitos de uso adecuados, éstos se podrían forzar mediante sistemas sencillos de accionamiento personalizados a cada usuario (llaves independientes para cada encendido, tarjetas codificadas para cada usuario, etc.).

No obstante, tal y como se ha comentado en varias ocasiones en el presente texto, el pilar fundamental sobre el que se debe sustentar la eficiencia energética es inculcar a los usuarios unos hábitos de comportamiento energéticamente eficientes, de modo que éstos se conviertan en los propios gestores energéticos de las instalaciones.

8.- Referencias.

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2009). *Norma Española UNE 12193-2009: Iluminación. Iluminación de instalaciones deportivas.* Madrid. España.

Consejo Superior de Deportes (CSD). *Políticas Públicas de Ordenación. Armonización Técnica. Normas NIDE.* [En línea]. Disponible en: <http://www.csd.gob.es/csd/instalaciones/politicas-publicas-de-ordenacion/actuaciones-en-el-ambito-tecnico/1normasNIDE/>.

Consejo Superior de Deportes (CSD). (2013). *Norma reglamentaria NIDE BLM (Balonmano).* Madrid. España.

Escrivá, Escrivá, G. (2011). Basic actions to improve energy efficiency in comercial buildings in operation. *Energy and Buildings,* 43 (11), (3106-3111).

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2013). *Propuesta de documento reconocido "Coeficientes de paso de emisiones de CO_2 y consumo de energía primaria para soluciones alternativas del RITE".* Madrid. España.

Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETUR). (2014). *Precio neto de la electricidad para uso doméstico y uso industrial.* [En línea] Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/es-ES/IndicadoresyEstadisticas/DatosEstadisticos/IV.% 20Energ%C3%ADa%20y%20emisiones/IV_12.pdf>.

Philips Ibérica, SAU. (2006). *Código técnico de la edificación y otras normas relacionadas con el alumbrado.* España.

Unión Europea. Directiva 2006/32/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos. Diario Oficial de la Unión Europea, el 37 de abril de 2006.

Unión Europea. Directiva 2012/27/UE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética. Diario Oficial de la Unión Europea, 14 de noviembre de 2012.

05-017

ADAPTING BUILDINGS TO THE CURRENT CTE-DB-HE: A SINGLE-FAMILY HOUSING DEVELOPMENT IN LOGROÑO (LA RIOJA)

López González, Luis María; García Lozano, César; Las Heras Casas, Jesús;
López Ochoa, Luis María
Universidad de La Rioja

The primary innovation introduced by the new CTE-DB-HE (2013) regulation for private residential housing is the mandatory limitation of energy demand and non-renewable energy consumption; and so, such buildings must be simulated with official or authorised computer tools. The previous CTE-DB-HE (2009) limited energy demand, which resulted in an energy demand far greater than that stipulated by the current Code. A decrease in energy demand would translate into final energy savings. By employing more efficient technologies, these savings can increase. Some overarching priorities are: A portion of the energy used must be renewable, and to reduce the consumption of primary energy and CO2 emissions as well. A study was conducted on how these parameters are affected by five different building envelopes used in single-family housing developments in Logroño (La Rioja), considering prior and current regulations. The values for thermal transmittance utilised in the study are as follows: Equal to limit values established by the CTE-DB-HE1 (2009); comply with the CTE-DB-HE (2009); equal to limit values established by the CTE-DB-HE1 (2013); equal to the recommended values listed in Appendix E of the CTE-DB-HE1 (2013); and comply with the CTE-DB-HE in force (2013).

Keywords: *Technical building code; energy savings; sustainability; thermal envelope; thermal insulation; heating and domestic hot water*

LA PROBLEMÁTICA DE ADAPTAR LOS EDIFICIOS AL VIGENTE CTE-DB-HE. EL CASO DE UNA URBANIZACIÓN DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LOGROÑO

La principal novedad que introduce el CTE-DB-HE (2013) para las viviendas de uso residencial privado es la exigencia de la limitación, tanto de la demanda energética como del consumo energético de energía primaria no renovable, siendo necesaria la simulación de los edificios mediante herramientas informáticas oficiales o autorizadas. El anterior CTE-DB-HE (2009) limitaba la demanda energética, resultando los valores de la demanda energética muy superiores a los exigidos por el actual Código. Una disminución de la demanda energética supone un ahorro en energía final. Empleando tecnologías más eficientes este ahorro se acentúa. En todo momento se busca que parte de esta energía sea renovable y una reducción del consumo de energía primaria y de las emisiones de CO2. Se ha estudiado la variación de todos estos parámetros para cinco envolventes térmicas de una vivienda tipo perteneciente a una urbanización de viviendas unifamiliares en Logroño (La Rioja). Los valores de las transmitancias térmicas utilizados en el estudio han sido: Iguales a los valores límite establecidos en el CTE-DB-HE1 (2009); que cumplan el CTE-DB-HE (2009); iguales a los valores límite establecidos en el CTE-DB-HE1 (2013); iguales a los recomendados orientativamente en el Apéndice E del CTE-DB-HE1 (2013); y que cumplan el CTE-DB-HE (2013).

Palabras clave: *CTE; Ahorro de energía; sostenibilidad; envolvente térmica; aislamiento térmico; calefacción y ACS.*

Correspondencia: Luis María López González luis-maria.lopez@unirioja.es

1. Introducción

La principal novedad que introduce el nuevo CTE-DB-HE (2013) para las viviendas de uso residencial privado es la exigencia de la limitación, tanto de la demanda energética como del consumo energético de energía primaria no renovable, siendo necesaria la simulación de los edificios mediante herramientas informáticas oficiales o autorizadas.

El anterior CTE-DB-HE (2009) limitaba la demanda energética, exigiendo, simplemente, que las transmitancias térmicas de la envolvente de los edificios fueran inferiores o iguales a unos valores límite, resultando los valores de la demanda energética muy superiores a los exigidos por el actual Código.

En el actual CTE-DB-HE, la demanda energética de calefacción del edificio de uso residencial privado no debe superar el valor límite, $D_{cal,lim}$, obtenido a partir de la siguiente ecuación:

$$D_{cal,lim} = D_{cal,base} + F_{cal,sup} / S \quad (1)$$

Siendo:

- $D_{cal,lim}$: Valor límite de la demanda energética de calefacción considerada la superficie útil de los espacios habitables, en kWh/m^2·año.
- $D_{cal,base}$: Valor base de la demanda energética de calefacción para cada zona climática de invierno correspondiente al edificio, en kWh/m^2·año.
- $F_{cal,sup}$: Factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción, en kWh/año.
- S: Superficie útil de los espacios habitables del edificio, en m^2.

Además, la demanda energética de refrigeración del edificio no debe superar el valor límite $D_{ref,lim}$ = 15 kWh/m^2·año para las zonas climáticas de verano 1, 2 y 3, o el valor límite $D_{ref,lim}$ = 20 kWh/m^2·año para la zona climática de verano 4.

Por otro lado, el consumo energético de energía primaria no renovable del edificio de uso residencial privado no debe superar el valor límite, $C_{ep,lim}$, obtenido a partir de la siguiente ecuación:

$$C_{ep,lim} = C_{ep,base} + F_{ep,sup} / S \quad (2)$$

Siendo:

- $C_{ep,lim}$: Valor límite del consumo energético de energía primaria no renovable para los servicios de calefacción, refrigeración y ACS, considerada la superficie útil de los espacios habitables, en kWh/m^2·año.
- $C_{ep,base}$: Valor base del consumo energético de energía primaria no renovable dependiente de la zona climática de invierno correspondiente a la ubicación del edificio, en kWh/m^2·año.
- $F_{ep,sup}$: Factor corrector por superficie del consumo energético de energía primaria no renovable, en kWh/año.
- S: Superficie útil de los espacios habitables del edificio, en m^2.

2. Objetivos

Realizar un estudio de la variación de demanda energética, del consumo energético de energía primaria no renovable y de las emisiones de CO_2 para cinco envolventes térmicas de una vivienda tipo perteneciente a una urbanización de viviendas unifamiliares en Logroño (La Rioja). Los casos a estudiar serán:

- Caso I: Transmitancias térmicas iguales a los valores límite establecidos en el CTE-DB-HE1 (2009)
- Caso II: Transmitancias térmicas que cumplan el CTE-DB-HE (2009).
- Caso III: Transmitancias térmicas iguales a los valores límite establecidos en el CTE-DB-HE1 (2013)
- Caso IV: Transmitancias térmicas iguales a los recomendados orientativamente en el Apéndice E del CTE-DB-HE1 (2013)
- Caso V: Transmitancias térmicas que cumplan el vigente CTE-DB-HE (2013).

Además se evaluará de forma teórica la diferencia entre emplear calderas para producción de calefacción y ACS que empleen como combustible gas natural y biomasa, y que tengan un rendimiento térmico del 92% y del 98%.

3. Metodología

Para los cinco casos considerados de las correspondientes transmitancias se han comparado dos calderas. Una de gas natural y otra de biomasa, en una situación media del mercado. Estas transmitancias se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Transmitancias térmicas empleadas para los diferentes casos, en W/m^2·K.

Transmitancia térmica	Caso I	Caso II	Caso III	Caso IV	Caso V
Muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	0,86	0,66	0,60	0,27	0,25
Suelos (forjados en contacto con el aire exterior)	0,64	0,49	0,40	0,34	0,30
Cubierta	0,49	0,38	0,40	0,22	0,15
Medianeras	1,00	1,00	0,85	0,85	0,55
Particiones interiores	1,00	1,00	0,85	0,85	0,55
Huecos	3,50	2,50	2,50	1,40	1,30

El factor solar de huecos se ha tomado de 0,5.

Inicialmente se ha construido el edificio en la herramienta informática LIDER y se ha comprobado que dicho edificio cumplía, es decir, que las transmitancias de la envolvente del edificio objeto son inferiores a las transmitancias de la envolvente del edificio de referencia (Apéndice D del CTE-DB-HE1), que no existen condensaciones superficiales ni intersticiales y el porcentaje de la demanda energética de calefacción del edificio objeto respecto a la del edificio de referencia, el porcentaje de la demanda de la refrigeración del edifico objeto a la del edificio de referencia y las proporciones relativas entre ambas.

A continuación con la herramienta informática CALENER VYP se ha introducido la demanda de ACS, una caldera por defecto de gas natural con una potencia nominal del 10 kW y un rendimiento nominal del 92%, habiéndose obtenido las demandas energéticas de calefacción y refrigeración.

Para nuestro estudio, se ha calculado la demanda de ACS cumpliendo el CTE-DB-HE4.

Para evaluar el consumo de energía final se ha empleado la siguiente ecuación:

$$CEF = DE / \eta \quad (3)$$

Siendo:

- CEF: Consumo de energía final, en kWh/m^2·año.
- DE: Demanda energética, en kWh/m^2·año.
- η: Rendimiento del sistema empleado para producir calor o frío.

El consumo de energía primaria, el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO_2 se obtendrán empleando los factores de paso de Tabla 1.

Tabla 1. Factores de paso de energía final a energía primaria total, a energía primaria no renovable y a emisiones de CO_2.

Fuente	Factor de paso de energía final a		
	energía primaria total	energía primaria no renovable	emisiones de CO_2 [kgCO_2/kWh]
Electricidad	2,603	2,603	0,649
Gas natural	1,011	1,011	0,204
Biomasa densificada (pelets)	1,000	0,085	0,000

4. Vivienda objeto de estudio

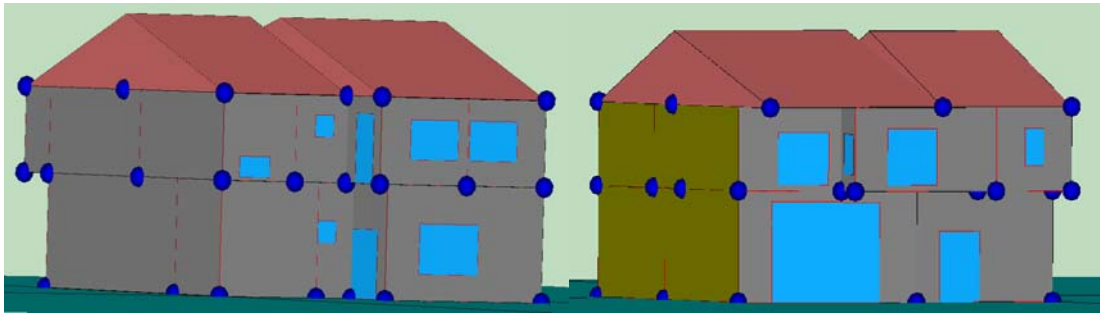
Se trata de una vivienda unifamiliar adosada, constituido por planta baja, una altura y ático. La fachada principal está orientada al norte y la fachada este está en contacto con otra vivienda unifamiliar de características similares a la vivienda objeto de estudio.

En la planta baja se encuentra el garaje, un aseo, un local para cualquier uso y los cuartos propios de instalaciones además del portal.

En la planta primera se encuentran los dormitorios, baños y aseos, cocina y salón comedor. Además, la vivienda cuenta con una terraza exterior, a al que se puede acceder desde uno de los dormitorios.

El ático se usa de trastero.

Figura 1. Modelo 3D vivienda objeto de estudio en LIDER



En la Tabla 2 se muestra la clasificación de los espacios de la vivienda.

Tabla 2. Clasificación de los espacios del edificio

Planta	Espacio	Espacios habitables	Espacios no habitables	Higrometría
Baja	Local	x		3
	Garaje		x	-
	Aseo	x		3
	Portal		x	-
	Trastero		x	-
Primera	Hueco escalera		x	-
	Vestíbulo+pasillo	x		3
	Aseo	x		3
	Baño	x		3
	Cocina	x		3
	Lavadero	x		4
	Estar/comedor	x		3
	Terraza		x	-
	Dormitorio 1	x		3
	Dormitorio 2	x		3
	Dormitorio 3	x		3
Ático	Trastero		x	-

Los espacios habitables poseen una baja carga interna. Además todos presentan una higrometría clase 3, excepto un lavadero que es de clase 4.

La superficie total de la vivienda es de 262,59 m^2, de los cuales 132 m^2 son habitables.

Como Logroño se encuentra en la zona climática D2, para cumplir el CTE-DB-HE1 vigente no deberemos superar los siguientes valores:

- El valor límite de la demanda de calefacción es de 42,10 kWh/m^2·año.
- El valor límite de la demanda de refrigeración es de 15,00 kWh/m^2·año.

Para cumplir el CTE-DB-HE0 vigente no deberemos superar el valor límite de la consumo energético de energía primaria no renovable, el cual es de 82,65 kWh/m^2·año.

Además, el CTE-DB-HE4, con la demanda de ACS de la vivienda y al encontrarnos en la zona climática solar III, nos exige que la contribución solar mínima para ACS sea al menos del 40%.

5. Resultados

Primeramente, se presentan las demandas energéticas de calefacción y ACS evaluadas para cada uno de los casos.

A continuación se ha calculado para calefacción y ACS el consumo de energía final, el consumo de energía primaria, el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO_2, para cada uno de los cinco casos, empleando una caldera de gas natural con un rendimiento del 92% y del 98%, y empleando una caldera de biomasa con los mismos rendimientos. Considerando en todos los casos una contribución solar del 40 % para ACS.

En el caso de emplear como combustible gas natural, el consumo de energía primaria es 100% no renovable, por lo que el consumo de energía primaria no renovable es igual al consumo de energía primaria.

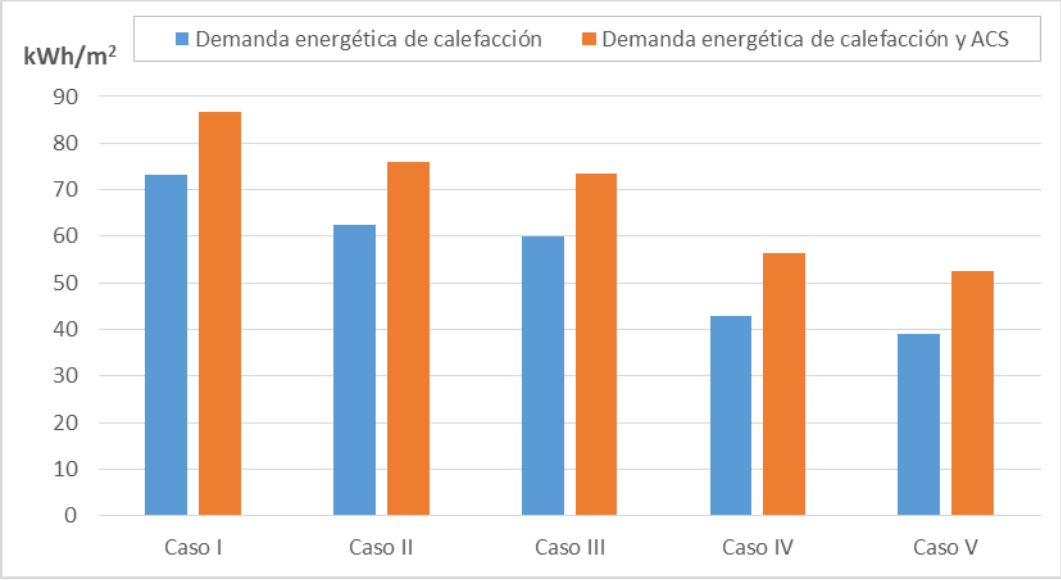
5.1 Demandas energéticas

Las demandas energéticas en función de los diferentes casos se presentan en la Tabla 3 y en la Figura 2.

Tabla 3. Demandas energéticas de calefacción y ACS del edificio, en kWh/m².

	Caso I	Caso II	Caso III	Caso IV	Caso V
Demanda energética de calefacción	73,2	62,4	60,0	42,9	39,1
Demanda energética de ACS	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
Demanda energética total	**86,7**	**75,9**	**73,5**	**56,4**	**52,6**

Figura 2: Demandas energéticas de calefacción y ACS del edificio.



5.2 Empleo de una caldera de gas natural

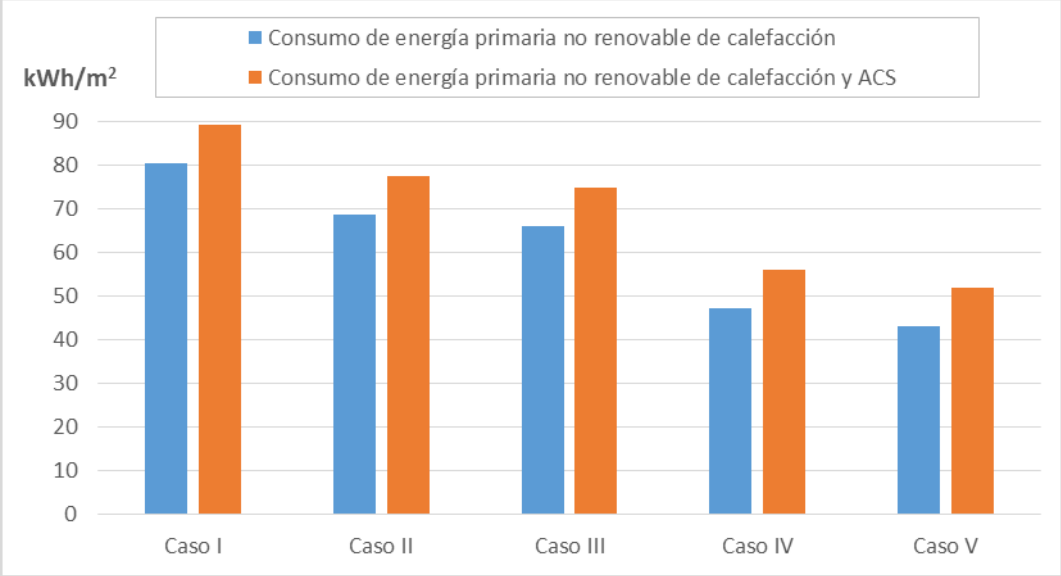
En la Tabla 4 se presentan el consumo de energía final, los consumos de energía primaria y las emisiones para una caldera de gas natural, con un rendimiento medio del 92 %.

En la Figura 3 se presenta en consumo de energía primaria no renovable de calefacción y ACS para la misma caldera anterior.

Tabla 4. Consumo de energía final, consumo de energía primaria y emisiones de CO_2 para una caldera de gas natural con rendimiento del 92%.

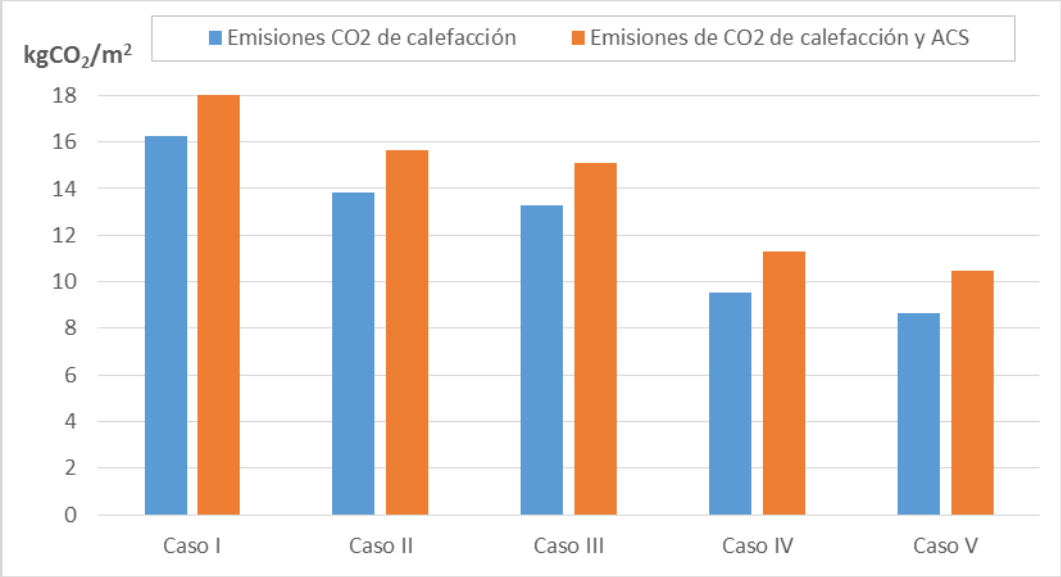
	Caso I	Caso II	Caso III	Caso IV	Caso V
Consumo de energía final de calefacción	79,6	67,8	65,2	46,6	42,5
Consumo de energía final de ACS	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
Consumo de energía final total	**88,4**	**76,6**	**74,0**	**55,4**	**51,3**
Consumo de energía primaria de calefacción	80,4	68,6	65,9	47,1	43,0
Consumo de energía primaria de ACS	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
Consumo de energía primaria total	**89,3**	**77,5**	**74,8**	**56,0**	**51,9**
Emisiones de CO_2 de calefacción	16,2	13,8	13,3	9,5	8,7
Emisiones de CO_2 de ACS	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Emisiones de CO_2 total	**18,0**	**15,6**	**15,1**	**11,3**	**10,5**

Figura 3: Consumo de energía primaria no renovable de calefacción y ACS para una caldera de gas natural con rendimiento del 92%.



En la Figura 4 se presentan las emisiones de CO_2 de calefacción y ACS para la misma caldera anterior.

Figura 4: Emisiones de CO_2 de calefacción y ACS para una caldera de gas natural con rendimiento del 92%.



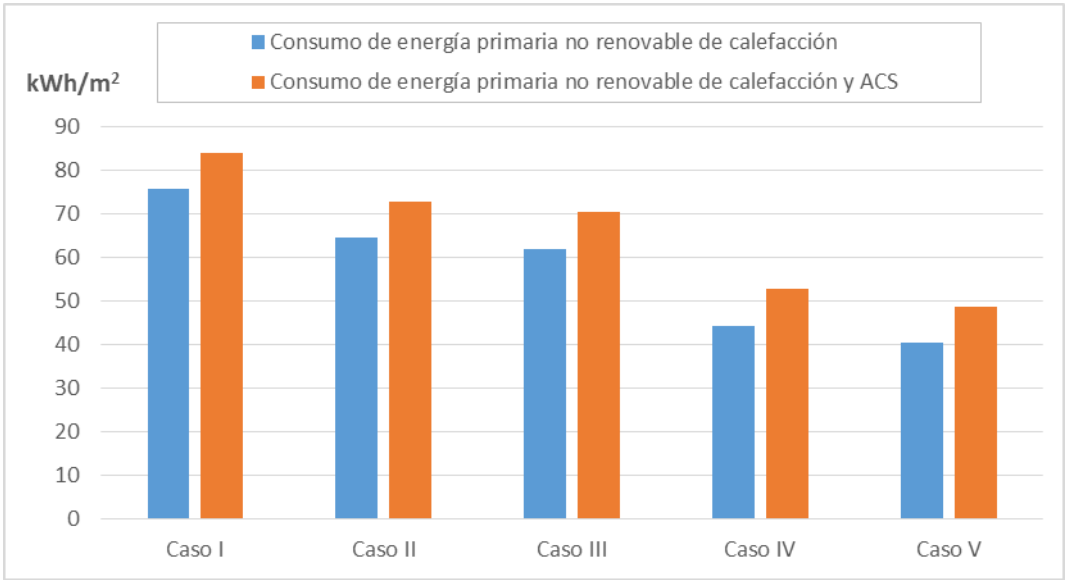
En la Tabla 5 se presentan el consumo de energía final, los consumos de energía primaria y las emisiones para una caldera de gas natural, con un rendimiento medio del 98 %.

En la Figura 5 se presenta en consumo de energía primaria no renovable de calefacción y ACS para la misma caldera anterior.

Tabla 5. Consumo de energía final, consumo de energía primaria y emisiones de CO_2 para una caldera de gas natural con rendimiento del 98%.

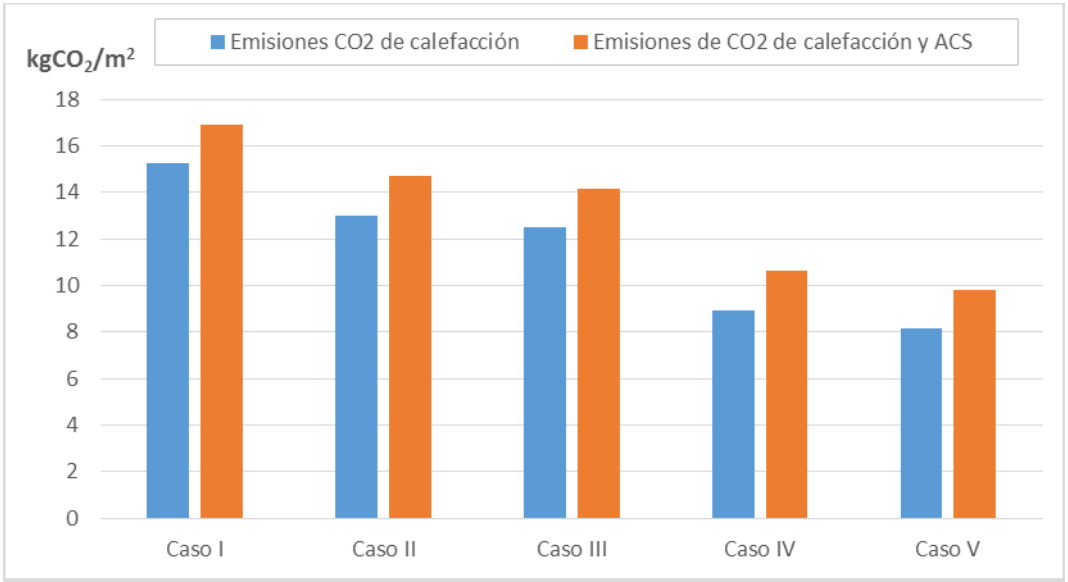
	Caso I	Caso II	Caso III	Caso IV	Caso V
Consumo de energía final de calefacción	74,7	63,7	61,2	43,8	39,9
Consumo de energía final de ACS	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Consumo de energía final total	**83,0**	**71,9**	**69,5**	**52,0**	**48,2**
Consumo de energía primaria de calefacción	75,5	64,4	61,9	44,3	40,3
Consumo de energía primaria de ACS	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
Consumo de energía primaria total	**83,9**	**72,7**	**70,3**	**52,6**	**48,7**
Emisiones de CO_2 de calefacción	15,2	13,0	12,5	8,9	8,1
Emisiones de CO_2 de ACS	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Emisiones de CO_2 total	**16,9**	**14,7**	**14,2**	**10,6**	**9,8**

Figura 5: Consumo de energía primaria no renovable de calefacción y ACS para una caldera de gas natural con rendimiento del 98%.



En la Figura 6 se presentan las emisiones de CO_2 de calefacción y ACS para la misma caldera anterior.

Figura 6: Emisiones de CO_2 de calefacción y ACS para una caldera de gas natural con rendimiento del 98%.



5.4 Empleo de una caldera de biomasa

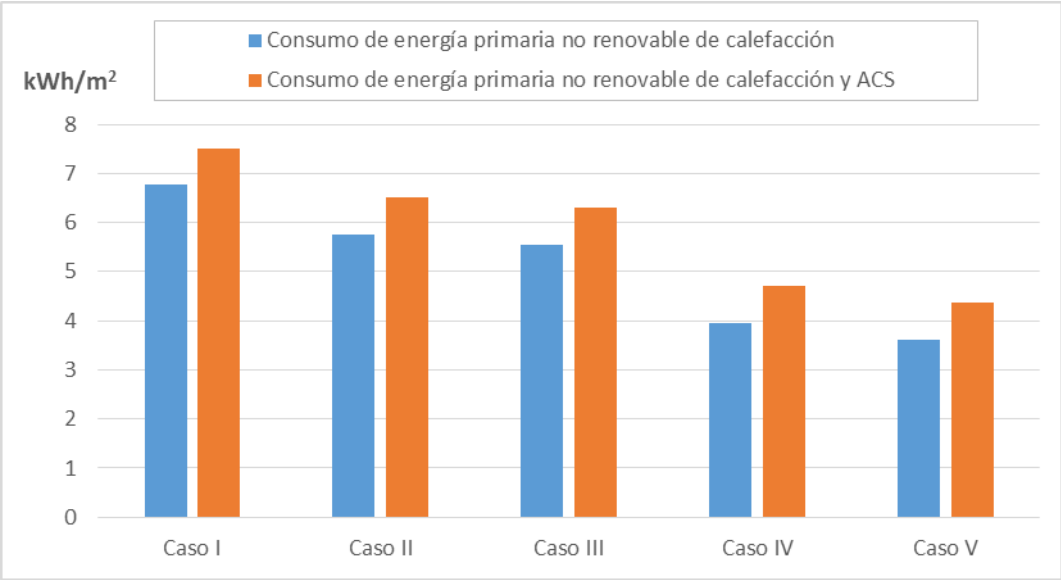
En la Tabla 6 se presentan el consumo de energía final, los consumos de energía primaria y las emisiones para una caldera de biomasa, con un rendimiento medio del 92 %.

En la Figura 7 se presenta en consumo de energía primaria no renovable de calefacción y ACS para la misma caldera anterior.

Tabla 6. Consumo de energía final, consumo de energía primaria y emisiones de CO_2 para una caldera de biomasa con rendimiento del 92%.

	Caso I	Caso II	Caso III	Caso IV	Caso V
Consumo de energía final de calefacción	79,6	67,8	65,2	46,6	42,5
Consumo de energía final de ACS	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
Consumo de energía final total	**88,4**	**76,6**	**74,0**	**55,4**	**51,3**
Consumo de energía primaria de calefacción	79,6	67,8	65,2	46,6	42,5
Consumo de energía primaria de ACS	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8
Consumo de energía primaria total	**88,4**	**76,6**	**74,0**	**55,4**	**51,3**
Consumo de energía primaria NR de calefacción	6,8	5,8	5,5	4,0	3,6
Consumo de energía primaria NR de ACS	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Consumo de energía primaria NR total	**7,5**	**6,5**	**6,3**	**4,7**	**4,4**
Emisiones de CO_2 de calefacción	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Emisiones de CO_2 de ACS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Emisiones de CO_2 total	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**

Figura 7: Consumo de energía primaria no renovable de calefacción y ACS para una caldera de biomasa con rendimiento del 92%.



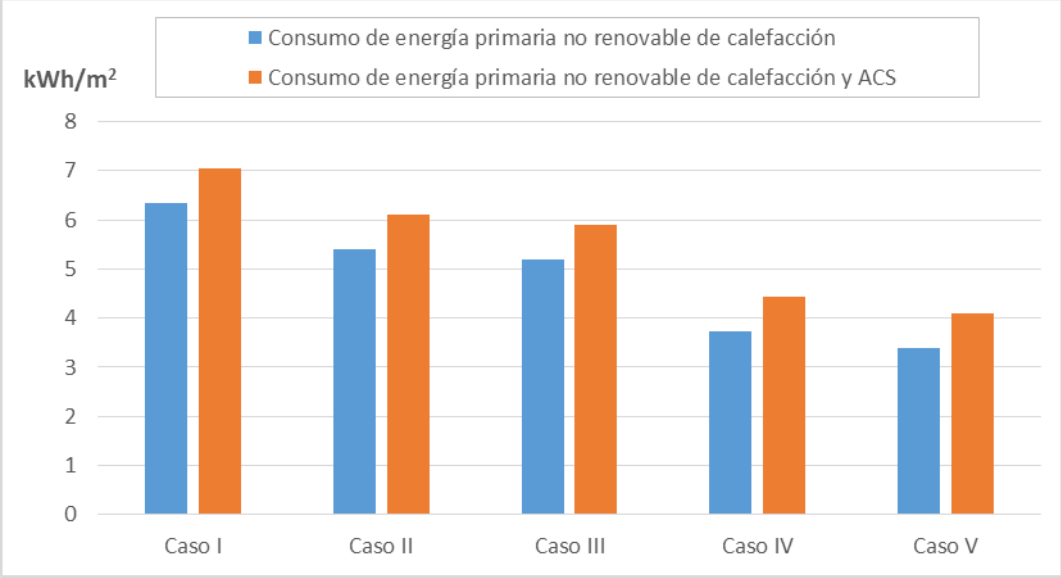
En la Tabla 7 se presentan el consumo de energía final, los consumos de energía primaria y las emisiones para una caldera de biomasa, con un rendimiento medio del 98 %.

En la Figura 8 se presenta en consumo de energía primaria no renovable de calefacción y ACS para la misma caldera anterior.

Tabla 7. Consumo de energía final, consumo de energía primaria y emisiones de CO_2 para una caldera de biomasa con rendimiento del 98%.

	Caso I	Caso II	Caso III	Caso IV	Caso V
Consumo de energía final de calefacción	74,7	63,7	61,2	43,8	39,9
Consumo de energía final de ACS	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Consumo de energía final total	**83,0**	**71,9**	**69,5**	**52,0**	**48,2**
Consumo de energía primaria de calefacción	74,7	63,7	61,2	43,8	39,9
Consumo de energía primaria de ACS	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Consumo de energía primaria total	**83,0**	**71,9**	**69,5**	**52,0**	**48,2**
Consumo de energía primaria NR de calefacción	6,3	5,4	5,2	3,7	3,4
Consumo de energía primaria NR de ACS	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Consumo de energía primaria NR total	**7,1**	**6,1**	**5,9**	**4,4**	**4,1**
Emisiones de CO_2 de calefacción	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Emisiones de CO_2 de ACS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Emisiones de CO_2 total	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**	**0,0**

Figura 8: Consumo de energía primaria no renovable de calefacción y ACS para una caldera de biomasa con rendimiento del 98%.



5.5 Análisis de resultados

Sólo cumple el vigente CTE-DB-HE el caso V de los estudiados.

Las transmitancias de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno deben reducirse en un 70,93% respecto al caso I. Las transmitancias térmicas de suelos (forjados en contacto con el aire exterior) deben reducirse en un 53,13% respecto al caso I. Las transmitancias térmicas de cubiertas deben reducirse en un 69,39% respecto al caso I. Las transmitancias térmicas de medianerías y particiones interiores deben reducirse en un 45,00% respecto al caso I. Las transmitancias térmicas de huecos deben reducirse en un 62,86% respecto al caso I.

La demanda energética total desciende un 39,33% empleando los cerramientos del caso V en lugar de los del caso I. De la misma forma, el consumo de energía primaria no renovable desciende un 41,88% y un 41,33%, empleando gas natural y biomasa, respectivamente, con una caldera con un rendimiento del 92%, cambiando los cerramientos del caso I por los del caso V.

Las emisiones de CO_2 descienden un 41,67% empleando gas natural con una caldera con un rendimiento del 92%, cambiando los cerramientos del caso I por los del caso V. Las emisiones de CO_2 son nulas empleando biomasa, sea cual sea el rendimiento de la caldera y el cerramiento empleado.

El consumo de energía primaria no renovable desciende un 91,60% empleando biomasa en vez de gas natural, con una caldera con un rendimiento del 92% y con los cerramientos del caso I. El consumo de energía primaria no renovable desciende un 91,52% empleando biomasa en vez de gas natural, con una caldera con un rendimiento del 92% y con los cerramientos del caso V. El consumo de energía primaria no renovable desciende un 41,95% y un 42,25%, empleando gas natural y biomasa, respectivamente, con una caldera con un rendimiento del 98%, cambiando los cerramientos del caso I por los del caso V.

Las emisiones de CO_2 descienden un 42,01% empleando gas natural con una caldera con un rendimiento del 98%, cambiando los cerramientos del caso I por los del caso V. Las emisiones de CO_2 son nulas empleando biomasa, sea cual sea el rendimiento de la caldera y el cerramiento empleado.

El consumo de energía primaria no renovable desciende un 91,54% empleando biomasa en vez de gas natural, con una caldera con un rendimiento del 98% y con los cerramientos del caso I. El consumo de energía primaria no renovable desciende un 91,58% empleando biomasa en vez de gas natural, con una caldera con un rendimiento del 98% y con los cerramientos del caso V.

El consumo de energía primaria no renovable desciende un 95,41% empleando los cerramientos del caso V y una caldera de biomasa con un rendimiento del 98% frente a emplear los cerramientos del caso I y una caldera de gas natural con un rendimiento del 92%.

Empleando una caldera de biomasa, las emisiones de CO_2 se hacen nulas, por lo que tenemos una ventaja adicional en el momento en que se valore el precio medio de cada tonelada equivalente de estas emisiones.

6. Conclusiones

Una disminución de la demanda energética supone un ahorro en energía final. Empleando tecnologías más eficientes este ahorro se acentúa. En todo momento se busca que parte de esta energía sea renovable y una reducción del consumo de energía primaria y de las emisiones de CO_2.

De esta forma se contribuye muy positivamente a alcanzar los objetivos del marco europeo conocido como 20-20-20 para el año 2020, en el sector residencial que nos ocupa.

Como era de esperar, sólo cumple el vigente CTE-DB-HE el caso V de los estudiados, que no es otro que la última versión del mismo, mucho más exigente que las anteriores.

Referencias

Sentencia de 4 de mayo de 2010, de la Sala Tercera del Tribunal Supremo, por la que se declara la nulidad del artículo 2.7 del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, así como la definición del

párrafo segundo de uso administrativo y la definición completa de uso pública concurrencia, contenidas en el documento SI del mencionado Código.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 74, de 28 de marzo de 2006, páginas 11816 a 11831 (16 págs.).

Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 254, de 23 de octubre de 2007, páginas 42992 a 43045 (54 págs.).

Real Decreto 1675/2008, de 17 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 252, de 18 de octubre de 2008, páginas 41655 a 41656 (2 págs.).

Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad. BOE núm. 61, de 11 de marzo de 2010, páginas 24510 a 24562 (53 págs.).

Corrección de errores del Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 304, de 20 de diciembre de 2007, páginas 52407 a 52407 (1 pág.).

ORDEN VIV/1744/2008, de 9 de junio, por la que se regula el Registro General del Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 148, de 19 de junio de 2008, páginas 27845 a 27849 (5 págs.).

Corrección de errores y erratas del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 22, de 25 de enero de 2008, páginas 4764 a 4771 (8 págs.).

Corrección de errores y erratas de la Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación, aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. BOE núm. 230, de 23 de septiembre de 2009, páginas 79880 a 79882 (3 págs.).

Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. BOE núm. 99, de 23 de abril de 2009, páginas 36395 a 36450 (56 págs.).

Corrección de errores de la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE núm. 268, de 8 de noviembre de 2013, páginas 89944 a 89945 (2 págs.).

Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE núm. 219, de 12 de septiembre de 2013, páginas 67137 a 67209 (73 págs.).

CTE. http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/

05-019

USE OF PHOTOVOLTAIC ENERGY AT A MUNICIPAL SPORTS CENTRE INDEPENDENT OF THE ELECTRICAL NETWORK

López González, Luis María; Las Heras Casas, Jesús; García Lozano, César;
López Ochoa, Luis María
Universidad de La Rioja

This paper presents the results of a study whose objective was to design and calculate a photovoltaic solar installation independent of the electrical network to meet the needs of a municipal sports centre. One of the primary drawbacks of those systems powered solely by photovoltaic solar energy is that while the goal may be to cover annual electrical needs, an energy deficit is at times inevitable, and this must be corrected by excess energy stored at other times. Two possible alternatives for operation have been examined. The first option attempts to fulfil the total annual electricity needs. And the second seeks only to cover annual lighting needs. Two possible solutions are analysed and compared for each of these options. The first solution consists of a photovoltaic installation run solely on batteries, and the second solution is a photovoltaic installation which has been economically optimised by increasing the number of photovoltaic modules so as to reduce the number of batteries. This study confirms that photovoltaic solar energy represents an adequate alternative to meet the electrical needs of municipal buildings independent of the network, although legal and economic frameworks still must adapt to the current needs of society.

Keywords: *Renewable energy; photovoltaic solar energy; electricity and lighting; energy storage; viability, State-run example.*

EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA EN UN POLIDEPORTIVO MUNICIPAL AISLADO DE LA RED ELÉCTRICA

Esta ponencia presenta los resultados de un estudio realizado cuyo objetivo era el diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica aislada de la red eléctrica para cubrir las necesidades eléctricas de un polideportivo municipal. Uno de los principales inconvenientes que presentan los sistemas aislados basados en energía solar fotovoltaica es que, aunque tratemos de cubrir todas las necesidades eléctricas anuales, existen periodos de tiempo que presentan un déficit energético que debe ser paliado almacenando la energía excedente en otros periodos. Se han estudiado dos alternativas de funcionamiento. La primera trata de cubrir las necesidades anuales totales de electricidad. La segunda únicamente las necesidades anuales de iluminación. Para cada una de estas alternativas se estudian y comparan dos posibles soluciones: Una solución basada en una instalación fotovoltaica apoyada únicamente con baterías y otra solución basada en una instalación fotovoltaica que se ha decidido optimizar económicamente, incrementando el número de módulos fotovoltaicos para reducir el número de baterías. Se comprueba que la energía solar fotovoltaica puede ser una buena alternativa para cubrir las necesidades eléctricas de edificios municipales aislados de la red, si bien los marcos legales y económicos deberán adecuarse a las necesidades que la sociedad plantea.

Palabras clave: *Energías renovables; energía solar fotovoltaica; electricidad e iluminación; almacenamiento de energía; viabilidad; el ejemplo de la Administración*

Correspondencia: Luis María López González luis-maria.lopez@unirioja.es

Agradecimientos: Nuestro agradecimiento al Gobierno de La Rioja por su apoyo y confianza, al Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) por su ayuda mediante las ayudas concedidas al Proyecto del Plan Nacional ENE2012-38633-C03-03, siendo co-financiado conjuntamente entre MINECO y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

1. Introducción

En esta ponencia se presentan los resultados de un estudio realizado cuyo objetivo era el diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica aislada de la red eléctrica para cubrir las necesidades eléctricas de un polideportivo municipal.

2. Objetivos

El objetivo es el diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica aislada de red para cubrir las necesidades eléctricas de un polideportivo municipal, realizando un estudio de viabilidad para cada una de las dos alternativas propuestas.

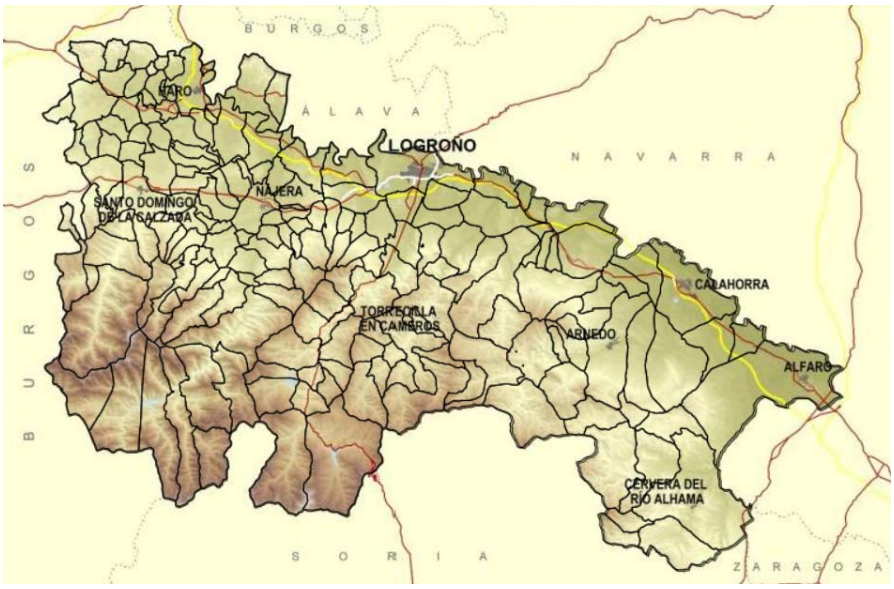
La primera alternativa consiste en cubrir todas las necesidades eléctricas del polideportivo, mientras que en la segunda se pretenden cubrir las necesidades de iluminación del mismo.

Para cada una de las dos alternativas hay dos casos diferentes planteados. Por un lado, se considera la posibilidad de cubrir con baterías los déficits que resultan de cubrir las necesidades anuales. Por el otro, se considera una solución optimizada reduciendo baterías y posibilitando el aumento del número de paneles solares.

3. Pabellón polideportivo

La instalación solar fotovoltaica se realizará en la cubierta de un pabellón polideportivo, situado en Calahorra (La Rioja), en el cual se pueden realizar todo tipo de actividades deportivas y de ocio (Figura 1).

Figura 1: Mapa de situación de Calahorra (La Rioja)



Su cubierta es metálica y se caracteriza por ser a dos aguas, teniendo una de ellas dos inclinaciones diferentes (Figura 2).

La extensión total de la cubierta es de 2.328,8 m^2. Esta superficie está repartida entre tres faldones: Uno de ellos, el más inclinado con 38,5º respecto a la horizontal; tiene una extensión de 703,2 m^2; el segundo, con 6,3º de inclinación, tiene 482,6 m^2; y, por último, otro faldón con 5,1º, con una superficie de 1.143,0 m^2.

Figura 2: Pabellón polideportivo municipal

3.1 Necesidades eléctricas del pabellón

Considerando los consumos anuales eléctricos de los últimos cinco años se han determinado la media de las necesidades, con un margen operativo en el lado de la seguridad. Para ello se han considerado los consumos de todas luminarias, proyectores, focos y sus equipos auxiliares.

El consumo anual eléctrico de la iluminación del pabellón asciende a 62.795 kWh, con un consumo del resto de elementos eléctricos de 14.771 kWh, lo que hace que el consumo anual eléctrico de todo el pabellón sea de 77.566 kWh/año.

Como el consumo eléctrico puede sufrir picos y alteraciones puntuales, se ha considerado un sobredimensionar de la instalación fotovoltaica en un 20 %, lo que posibilita el poder cubrir un consumo eléctrico total anual de 93.079 kWh/año.

3.2 Instalación fotovoltaica para el pabellón

La instalación para cubrir las necesidades eléctricas del pabellón polideportivo está compuesta por:

- 62 módulos fotovoltaicos, de 215 Wp de potencia cada uno.
- 4 ramales: tres con 18 módulos cada uno y uno con 8 módulos.
- 1 inversor de 20 kW.
- Sistema de almacenamiento.
- Protecciones eléctricas.
- Todos los cuadros y elementos auxiliares necesarios para un correcto funcionamiento.

La instalación de los módulos fotovoltaicos está prevista en el faldón de la cubierta cuya inclinación es de 38,5º, orientados al sur.

3.3 Producción eléctrica anual estimada

Se han considerado pérdidas por orientación e inclinación, por sombras, en el inversor, en la parte de corriente continua, por el deterioro de las células y por el cableado.

Todas ellas suman un total del 19,26%. Adicionalmente se considera un rendimiento del 95% por criterios de mantenimiento y una degradación anual de los paneles del 1 %.

Se pretende con ello estar con un margen operativo que garantice una lógica prudencia en la tomas de decisiones posteriores.

La energía total anual producida para cubrir todas las necesidades eléctricas, habiendo considerado todas las pérdidas y un coeficiente de seguridad adicional de ajuste debe alcanzar del orden de los 93.079 kWh/año.

3.4 Sistema de almacenamiento

En el mercado para este tipo de necesidades hay diversas soluciones, entre las que al día de hoy destacan las baterías. Se disponen de varios modelos, calidades, tipologías, etc. En esta ponencia se ha considerado un sistema de almacenamiento basado en baterías del tipo medio del mercado.

Para su cálculo se ha tenido en cuenta tanto una profundidad de descarga máxima estacional del 70% como una profundidad de descarga máxima diaria del 15%, de tal forma que se pueda tener autonomía tanto para un día como para un periodo de entre cuatro y cinco días.

4. Estudio de viabilidad

Se presentan dos alternativas diferentes, con dos soluciones para cada una de ellas:

- Alternativa 1: Se pretende cubrir todas las necesidades anuales de electricidad.
- Alternativa 2: Se pretende cubrir las necesidades eléctricas anuales de iluminación.

Para cada una de estas alternativas se estudian y comparan dos posibles soluciones:

- Caso A: Se plantea una solución basada en una instalación fotovoltaica apoyada con baterías para cubrir el déficit energético anual.
- Caso B: Se plantea una solución basada en una instalación fotovoltaica que se ha decidido optimizar económicamente, incrementando el número de módulos fotovoltaicos para conseguir reducir el número de baterías o asegurar una mejor autonomía, según la alternativa.

Para el estudio de viabilidad de cada una de las dos alternativas estudiadas y cada uno de los dos casos, se ha considerado que el consumo eléctrico anual del pabellón es de 93.079 kWh, que la inversión mínima requerida (sin sistema de almacenamiento) es de 97.927 €, que la tasa de incremento de ingresos y la de gastos es del 2,5%, y que el interés considerado es del 10%, por plantear una solución básica de referencia a partir de la cual se pueda afinar si procediere su realización posterior. Todo ello en el lado de la seguridad.

4.1 Alternativa 1: Cubrir todas las necesidades eléctricas

Caso A: Solución básica

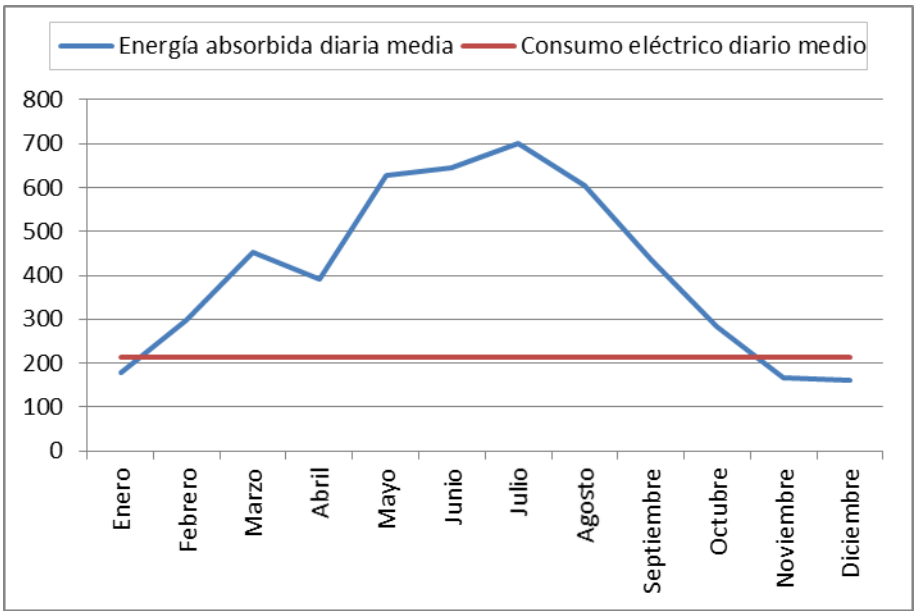
A partir de la energía absorbida diaria media (Figura 3), se ha evaluado el exceso o defecto medio del sistema fotovoltaico para cubrir todo el consumo eléctrico diario medio del pabellón polideportivo.

Existe un déficit a la hora de cubrir el consumo diario medio durante los meses de enero, noviembre y diciembre, siendo diciembre el mes más desfavorable con un déficit energético diario medio de 52,55 kWh/día.

Por lo tanto, las necesidades eléctricas que tienen que ser cubiertas con las baterías es la suma del déficit energético de los tres meses más, ya que son consecutivos, siendo dicho déficit acumulado del orden de los 4.129 kWh.

Esta solución, capaz de cubrir el déficit del consumo total del pabellón, requiere un total de 149 baterías de 24 V y 1.650 Ah de capacidad. Estas baterías son habituales en el mercado y están empleándose en varios edificios municipales de la zona con buenos resultados.

Figura 3: Energía absorbida diaria media y consumo eléctrico diario medio, en kWh/día



Caso B: Solución optimizada

En el mes de diciembre, que es el mes en que menos electricidad se genera, ya que la radiación es menor, se necesitan 21 módulos fotovoltaicos adicionales para eliminar dicho déficit.

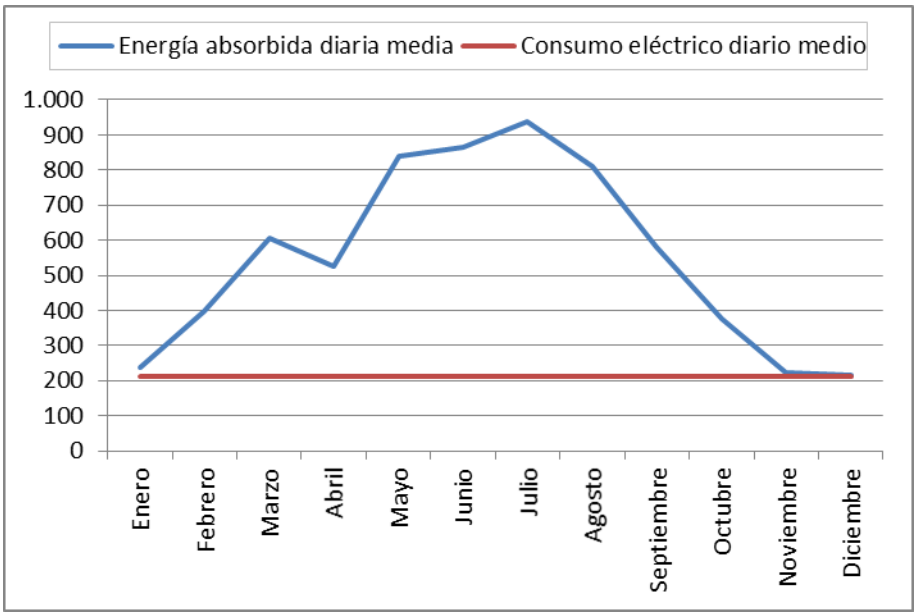
De esta forma, se asegura cubrir el consumo eléctrico total diario del pabellón en el mes más desfavorable y, por lo tanto, también en noviembre y enero, dejando de existir déficit energético (Figura 4).

Esta solución, capaz de cubrir el déficit del consumo total del pabellón, plantea un total de 21 módulos fotovoltaicos adicionales, 36 baterías de 24 V y 1.650 Ah de capacidad, con lo que se asegura una autonomía durante un día y un periodo de cuatro días y medio.

Resultados de las dos casos estudiados

La inversión requerida adicional para el caso A es de 713.040 €, ascendiendo el total a 810.967 €. Los gastos de mantenimiento anuales en el primer año son de 8.125 €. Tras el estudio de viabilidad se obtiene un VAN de -819.189 € y un gasto en un horizonte de veinte años de 901.108 €. Los precios y costes son medios de la zona.

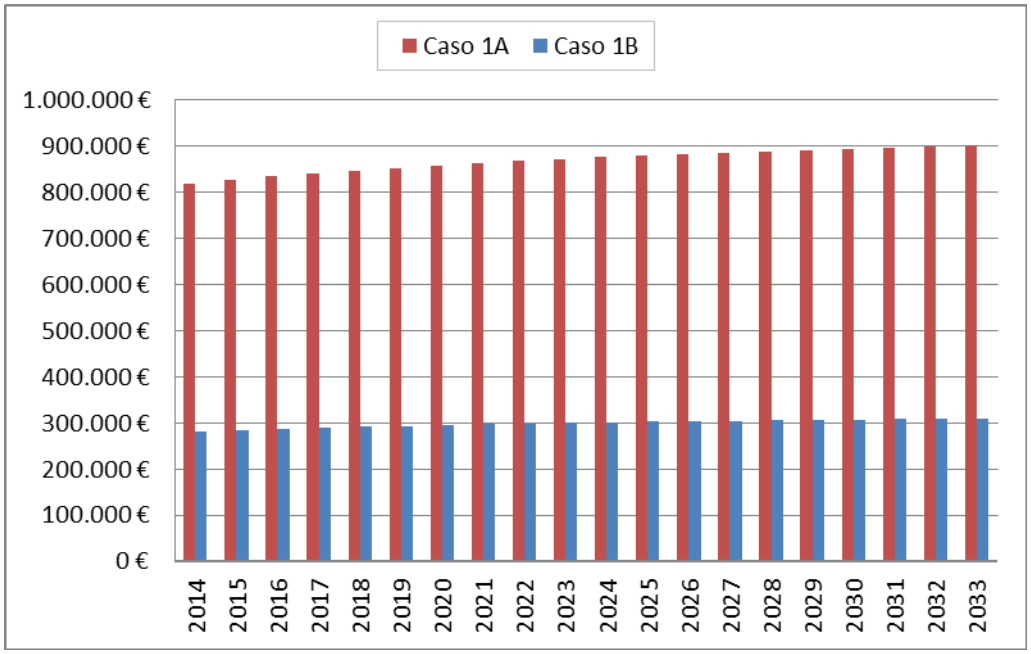
Figura 4: Energía absorbida diaria media y consumo eléctrico diario medio, en kWh/día



La inversión requerida adicional para el caso B es de 181.587 €, ascendiendo el total a 279.514 €. Los gastos de mantenimiento anuales en el primer año son de 2.750 €. Tras el estudio de viabilidad se obtiene un VAN de -281.839 € y un gasto en un horizonte de veinte años de 310.023 €. Los precios y costes son medios de la zona.

En la Figura 5 se enfrenta la evolución del gasto acumulado de los casos A y B de la primera alternativa.

Figura 5: Evolución del gasto acumulado de la alternativa 1: Casos A y B



4.2 Alternativa 2: Cubrir las necesidades eléctricas de iluminación

Caso A: Solución básica

A partir de la energía absorbida diaria media (Figura 6), se ha evaluado el exceso o defecto medio del sistema fotovoltaico para cubrir únicamente el consumo eléctrico de iluminación diario medio del pabellón polideportivo.

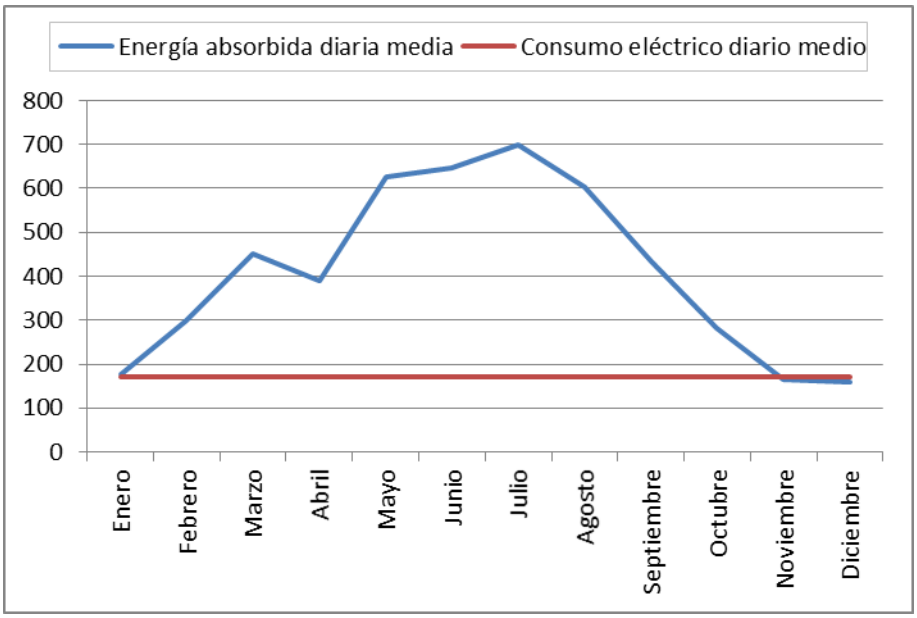
Existe un déficit a la hora de cubrir el consumo diario medio para la iluminación durante los meses de noviembre y diciembre, siendo diciembre el mes más desfavorable con un déficit energético diario medio de 12,08 kWh/día.

Por lo tanto la electricidad que tienen que cubrir las baterías es la suma del déficit energético de estos dos meses, ya que son consecutivos, siendo dicho déficit acumulado de 570 kWh.

Esta solución, capaz de cubrir el déficit del consumo de la iluminación del pabellón, requiere un total de 21 baterías de 24 V y 1.650 Ah de capacidad.

El problema de esta solución es que sólo asegura una autonomía diaria del 72,5% de las necesidades de iluminación y una autonomía de algo más del 70% de las necesidades durante un periodo de cuatro días y medio.

Figura 6: Energía absorbida diaria media y consumo eléctrico diario medio, en kWh/día



Caso B: Solución optimizada

En el mes de diciembre, que es el mes en que menos electricidad se genera, ya que la radiación es menor, se necesitan 5 módulos fotovoltaicos adicionales para eliminar dicho déficit.

De esta forma, se asegura cubrir el consumo eléctrico de iluminación diario del pabellón en el mes más desfavorable y, por lo tanto, también en noviembre, dejando de existir déficit energético (Figura 7).

Esta solución, capaz de cubrir el consumo de la iluminación del pabellón, requiere 5 módulos fotovoltaicos adicionales, 29 baterías de 24 V y 1.650 Ah de capacidad, asegurándonos autonomía durante un día y un periodo de cuatro días y medio.

Resultados de las dos casos estudiados

La inversión requerida adicional para el caso A es de 102.965 €, ascendiendo el total a 200.892 €. Los gastos de mantenimiento anuales en el primer año son de 1.950 €. Tras el estudio de viabilidad se obtiene un VAN de -202.296 € y un gasto en un horizonte de veinte años de 222.526 €. Los precios y costes son medios de la zona.

La inversión requerida adicional para el caso B es de 140.996 €, ascendiendo el total a 238.923 €. Los gastos de mantenimiento anuales en el primer año son de 2.400 €. Tras el estudio de viabilidad se obtiene un VAN de -241.408 € y un gasto en un horizonte de veinte años de 265.549 €. Los precios y costes son medios de la zona.

En la Figura 8 se compara la evolución del gasto acumulado de los casos A y B de la segunda alternativa.

Figura 7: Energía absorbida diaria media y consumo eléctrico diario medio, en kWh/día

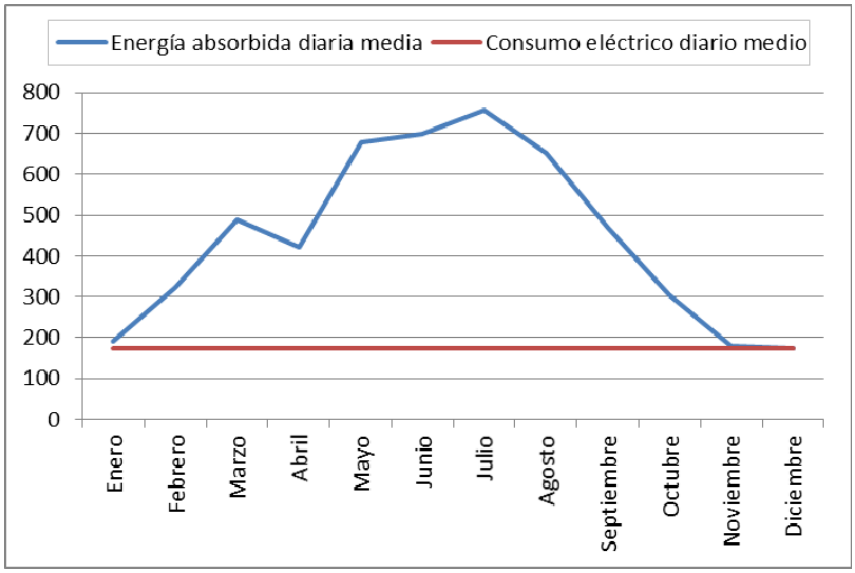
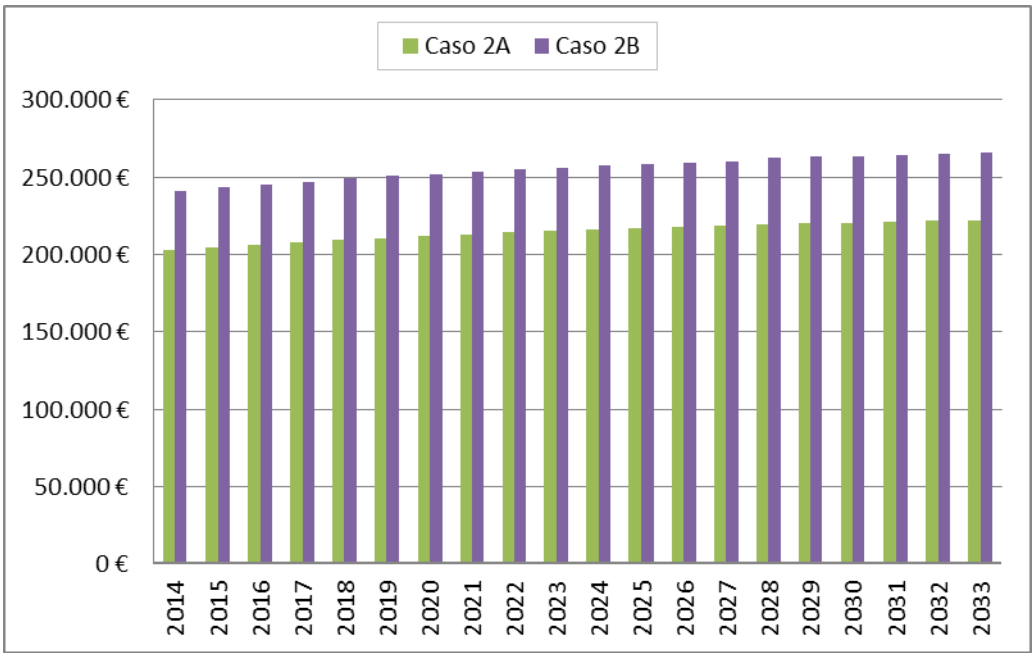


Figura 8: Evolución del gasto acumulado de la alternativa 2: Casos A y B



4.3 Solución óptima

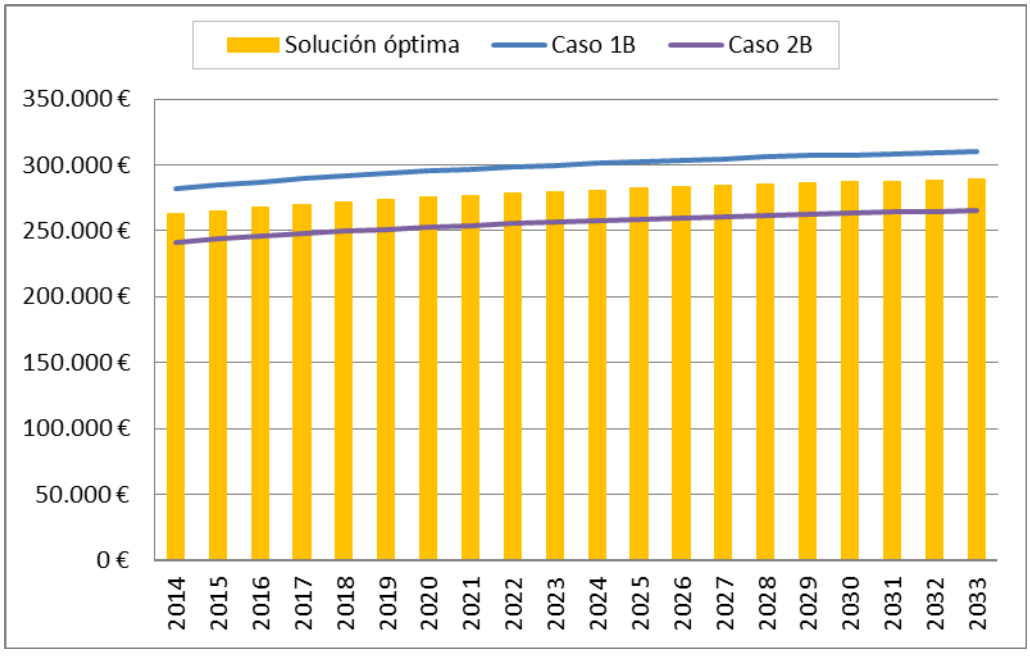
La solución mejor consiste en instalar 21 módulos fotovoltaicos adicionales para que no exista déficit eléctrico en ningún mes del año y 32 baterías de 24 V y 1.650 Ah de capacidad, cubriéndose las necesidades de electricidad diarias para iluminación, si bien sobredimensionadas por motivos de seguridad.

De esta forma se asegura un día de autonomía en el que se pueden cubrir el 100% de las necesidades de iluminación o el 89% de todas las necesidades eléctricas. Además, se pueden cubrir durante un periodo de cuatro días todas las necesidades eléctricas o durante un periodo de cinco días las necesidades de iluminación.

La inversión requerida adicional es de 162.445 €, ascendiendo el total a 260.372 €. Los gastos de mantenimiento anuales en el primer año son de 2.600 €. Tras el estudio de viabilidad se obtiene un VAN de -262.925 € y un gasto en un horizonte de veinte años de 289.217 €.

En la Figura 9 se comparan las soluciones optimizadas de las dos alternativas estudiadas y la solución óptima.

Figura 9: Evolución del gasto acumulado para el caso B de cada alternativa y para la solución óptima



5. Análisis de los resultados obtenidos

Siempre se han considerado precios medios y costes de la zona, en situaciones similares.

En la primera alternativa, la inversión requerida adicional para el primer caso (apoyo solamente con baterías) es de 713.040 €, ascendiendo el total de la misma a 810.967 €.

Los gastos de mantenimiento anuales en el primer año son del orden de 8.125 €. El gasto en un horizonte de veinte años de 901.108 €.

Para el segundo caso (solución optimizada), la inversión requerida adicional es de 181.587 €, ascendiendo el total a 279.514 €.

Los gastos de mantenimiento anuales en el primer año son de 2.750 €, con un gasto en un horizonte de veinte años de 310.023 €.

Para la segunda alternativa, en la que sólo se consideran las necesidades de iluminación, la inversión requerida adicional para el caso primero es de 102.965 €, ascendiendo el total de la misma a 200.892 €.

Los gastos de mantenimiento anuales en el primer año son de 1.950 €. El gasto en un horizonte de veinte años de 222.526 €.

Para el segundo caso, la inversión requerida adicional es de 140.996 €, ascendiendo el total a 238.923 €.

Los gastos de mantenimiento anuales en el primer año son de 2.400 €. El gasto en un horizonte de veinte años de 265.549 €.

6. Conclusiones

Uno de los principales inconvenientes que presentan los sistemas aislados basados en energía solar fotovoltaica es que, aunque se pretendan cubrir todas las necesidades eléctricas anuales, existen periodos de tiempo que presentan un déficit energético importante que debe ser paliado almacenando la energía excedente en otros periodos anteriores, si se quiere trabajar de forma aislada.

Para el correcto funcionamiento del polideportivo municipal se han considerado dos alternativas posibles de funcionamiento.

La primera trata de cubrir las necesidades anuales totales de electricidad que se consumen en el pabellón. La segunda, únicamente las necesidades anuales de iluminación del mismo.

Para cada una de estas dos alternativas se estudian y comparan dos posibles soluciones: Una solución basada en una instalación fotovoltaica apoyada únicamente con baterías y otra solución basada en una instalación fotovoltaica que se ha decidido optimizar económicamente, incrementando el número de módulos fotovoltaicos para reducir el número de baterías.

Es conocido ampliamente en el sector que cuando se ajusta la producción eléctrica al consumo, en el caso de las instalaciones conectadas, la viabilidad económica de las instalaciones, en general, es siempre negativa.

En el caso de las instalaciones aisladas, es preciso que se desarrolle una legislación más coherente y general con los objetivos perseguidos en Europa, como es el amparado en el denominado objetivo 20-20-20 para el 2020, teniendo las energías renovables un papel esencial en su cumplimiento, posibilitando una economía verde y sostenible.

Para cumplir este objetivo europeo serán necesarias, en el caso de edificios municipales, unas subvenciones estratégicas que aseguren una viabilidad y sostenibilidad, para estos casos y situaciones, lo que permitirá conseguir y servir de referencia a la propia Administración, en este caso la Comunidad Autónoma de La Rioja (CAR).

La Administración debe dar ejemplo, si bien debe disponer de los recursos necesarios para el mantenimiento de los servicios públicos, a ser posible siempre de forma sostenible en lo económico y en lo medioambiental.

Referencias

ASIF/UNEF (Asociación de la Industria Fotovoltaica/Unión Española Fotovoltaica).*La Energía fotovoltaica conquista el mercado. Informe anual 2014.* JOMAGAR. Madrid, 2015. También en: www.unef.es.

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. PROGENSA. Madrid, 2009.

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. PROGENSA. ISBN: 978-84-95693-62-4. Madrid, 2011.

LÓPEZ GONZÁLEZ, L. M. Las energías renovables y sus posibilidades en La Rioja. Logroño: López & Da Vinci Editores, 2015 (en preparación). 368 p.

LÓPEZ OCHOA, L. M. et al. Estudio previo de diferentes líneas estratégicas como base de un futuro Plan Energético de La Rioja (2014). Logroño: Gobierno de La Rioja, 2014 (acceso restringido). 258 p.

LÓPEZ OCHOA, L. M. et al. Estudio previo de diferentes líneas estratégicas como base de un futuro Plan Energético de La Rioja (2014). Logroño: Gobierno de La Rioja, 2015 (Disponible Resumen ejecutivo). 48 p.

05-020

POSSIBLE SCENARIOS AND STRATEGIES FOR 100 KWP SOLAR INSTALLATIONS

López González, Luis María; López Ochoa, Luis María; Las Heras Casas, Jesús;
García Lozano, César
Universidad de La Rioja

To calculate the energy theoretically produced by the proposed installation, this study utilises the PVGIS, which creates a compilation base map of the solar energy resources and an estimation of the electrical energy to be generated by the photovoltaic systems. The locations studied were: Alfaro (La Rioja), Sariñena (Aragón), Seville (Andalucía), and Tenerife (Canary Islands). Four different types of solar trackers were analysed at each location: Fixed mount, vertical axis, tilted axis, and dual axis. Initially, average statistical, annual, and cumulative productions were evaluated according to location and type of tracker, considering various economic and legal strategies with ample operating working capital. Afterwards, the cumulative production of all the locations and the four types of trackers was assessed, considering various alternatives for the annual degradation of photovoltaic modules and the average annual performance of the rest of the components and installations. And finally, an economic viability study was conducted of the base scenario for the different locations and types of trackers, evaluating amortisation periods according to selling prices, net present value (NPV), and profits over a 20 year time span.

Keywords: *Photovoltaic solar energy; installation performance; photovoltaic module degradation; economic viability; sustainability; strategic scenarios*

ESCENARIOS Y ESTRATEGIAS POSIBLES PARA UNA INSTALACIÓN SOLAR COMPUESTA POR MÓDULOS DE 100 KWP

El cálculo de la energía teórica producida por la instalación propuesta se ha realizado a través de la herramienta informática PVGIS, con el que se obtiene un mapa base recopilatorio de los recursos de energía solar y una estimación de la generación eléctrica. Las localizaciones objeto de estudio han sido: Alfaro (La Rioja), Sariñena (Aragón), Sevilla (Andalucía) y Tenerife (Islas Canarias). Para cada localización se han analizado cuatro tipos de seguidores solares: Fijo, de eje vertical, de eje inclinado y de dos ejes. Se han evaluado las producciones medias estadísticas, las producciones anuales y acumuladas en función de las localizaciones y tipos de seguidores, considerando diversas estrategias económicas y legales, con un amplio margen de maniobra operativa. Posteriormente, se ha evaluado la producción acumulada para las diversas localizaciones y los cuatro tipos de seguidores, considerando diversas alternativas de degradación anual de los módulos fotovoltaicos y del rendimiento medio anual del resto de los componentes e instalaciones. Finalmente, se realiza un estudio de viabilidad económica partiendo de un escenario base para las diferentes localizaciones y tipos de seguidores, evaluando, en función del precio de venta, los periodos de amortización, el VAN y el beneficio, en un horizonte de veinte años.

Palabras clave: *Energía solar fotovoltaica; rendimiento de instalaciones; degradación de módulos fotovoltaicos; viabilidad económica; sostenibilidad; escenarios estratégicos*

Correspondencia: Luis María López González luis-maria.lopez@unirioja.es

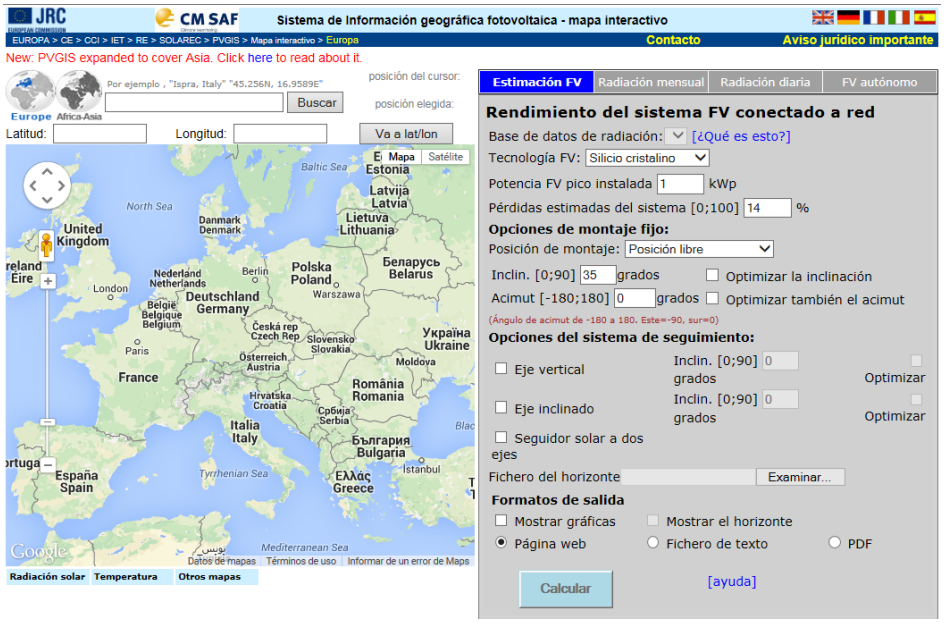
1. Introducción

El sistema PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) (Figura 1) proporciona un mapa base recopilatorio de los recursos de energía solar y estimación de la generación eléctrica procedente de sistemas fotovoltaicos en Europa, África y Sudeste Asiático. Este sistema contribuye a la implementación de la energía renovable en la Unión Europea como suministro de una energía sostenible a largo plazo.

El PVGIS es una herramienta concebida para evaluar diferentes alternativas dentro de su campo de influencia, disponiendo de una base de datos de radiación solar que se actualiza permanentemente. De esta forma es posible tener un algoritmo para toda Europa con una información comparativa muy coherente y con un planteamiento estadístico homogéneo y comparable entre diversas alternativas.

Esto significa que a nivel de estudios previos ante posibles instalaciones puedan determinarse los resultados medios esperables, que una vez sean depurados y comprobados permitirán acometer una serie de actuaciones para definir las instalaciones exactas a realizar. Y lo que es más importante, se pueden evaluar con gran precisión la diferencia entre las mismas, bien dentro de una zona concreta o de diversos emplazamientos, así como las diferencias entre los divesos tipos de seguidores.

Figura 1. Sistema PVGIS.



2. Objetivos

En esta ponencia se realiza un estudio sobre diversas estrategias para la instalación de una planta solar fotovoltaica de 100 kWp, en varias localidades: Alfaro (La Rioja), Sariñena (Huesca, Aragón), Sevilla (Andalucía) y Tenerife (Islas Canarias). Para cada localización se han analizado cuatro tipos de seguidores solares: Fijo, de eje vertical, de eje inclinado y de dos ejes.

Esto permitirá en el futuro la toma de decisiones sobre posibles inversiones y estrategias a seguir, si bien es necesario que el panorama legal español en lo que se refiere a las renovables se estabilice y se defina con claridad.

3. Metodología

El cálculo de la energía teórica producida por la instalación propuesta se ha realizado a través de la herramienta informática PVGIS del JOINT RESEARCH CENTRE perteneciente a la Unidad de Energías Renovables del Instituto para la Energía y el Transporte de la Comisión Europea.

Los datos empleados para el estudio se han extraído de la base de datos de radiación solar proporcionados por el Sistema de Monitorización de Clima por Satélite (*Climate Monitoring Satellite Application Facilitie* – CM-SAF) a la que PVGIS tiene acceso. Los valores de radiación solar se han extraído a partir de las imágenes captadas por el satélite en un amplio periodo, relativamente reciente, entre 1998 y 2010.

Los datos entregados por este sistema se han validado previamente contrastándolos con la información aportada por 18 estaciones instaladas en Europa, mostrando que la desviación estándar del error máximo local en la irradiación solar anual es en torno al 5 %.

Por otro lado, el software online empleado tiene en cuenta las siguientes consideraciones: Potencia nominal de la instalación fotovoltaica analizada, ubicación objeto de estudio (longitud, latitud y altura), pérdidas debidas a la temperatura y baja irradiación (empleando los datos de temperaturas medias de las ubicaciones seleccionadas), pérdidas producidas por efectos de reflectancia angular y otras pérdidas debidas a la instalación eléctrica del sistema (cables, inversor…). Además, se ha evaluado el performance ratio de la instalación fotovoltaica. El performance ratio es el conjunto de pérdidas que sufre la energía desde los módulos fotovoltaicos hasta el punto de conexión a red.

A los efectos de estudio previo para la determinación de posibles inversiones y estrategias esta herramienta está avalada por la práctica, independientemente de su posterior afino, en función de las inversiones a realizar y su importancia.

A efectos prácticos, tiene más riesgos e incertidumbres proyectar este tipo de instalaciones con un horizonte de 20 años que las posibles deficiencias de un programa común de este tipo. La práctica nos enseña que en lo referente a la naturaleza nada es seguro.

4. Cálculo del *Performance Ratio*

De acuerdo al Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red (2011) del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), para realizar el cálculo del *Performance Ratio* (PR), desglosamos cada una de las pérdidas (Tabla 1 y Tabla 2), a partir de los valores recomendados por ASIF/UNEF (Asociación de la Industria Fotovoltaica/Unión Española Fotovoltaica).

Tabla 1. Pérdidas generador fotovoltaico

Pérdidas generador fotovoltaico	Símbolo	%
Dispersión de parámetros	L_{dis}	4
Temperatura de célula	L_{temp}	5
Pérdida de transparencia (polvo, suciedad)	L_{pol}	5
Ratio de disponibilidad	RD	98
Eficiencia del inversor (seguimiento MPPT, umbral de arranque, conversión a diferentes niveles de potencia de entrada)	EI	94,8
Sección corriente continua	L_{cc}	1,5

Tabla 2. Pérdidas captación solar

Pérdidas captación solar	Símbolo	%
Pérdidas por desorientación e incidencia no perpendicular	L_{ref}	0
Pérdidas por sombras	L_{som}	4

El cálculo del *Performace Ratio* se realiza mediante la expresión siguiente:

$$PR=PRG\cdot PRC \quad (1)$$

Donde el Performance Ratio del Generador (PRG) se calcula con la ecuación 2 y el índice de pérdidas de captación (PRC) mediante la ecuación 3.

$$PRG = (1–L_{dis})\cdot(1–L_{temp})\cdot(1–L_{pol})\cdot RD\cdot EI\cdot(1–L_{cc}) \quad (2)$$

$$PRC = (1–L_{ref})\cdot(1–L_{som}) \quad (3)$$

Aplicando los valores mostrados en la Tabla 1 y Tabla 2 se obtienen los siguientes resultados.

- El *Performance Ratio del Generador* (PRG) para esta instalación es del 82,79%.
- El índice de pérdidas de captación (PRC) para este tipo de instalaciones es del 96%.
- El *Performance Ratio* (PR) para este tipo de instalaciones es del 79,48%.

Finalmente, se consideran unas pérdidas de transporte en la parte de alterna del 1,5% y unas pérdidas de interconexión a red del 2,5%.

En conjunto, el rendimiento global de los generadores fotovoltaicos será del 76,33 %, con el criterio conservador del IDAE, que deja un amplio margen para las mejoras, muchas de las cuales serán consecuencia de la buena gestión de las instalaciones y del propio desarrollo de la técnica, además de la calidad de los elementos seleccionados en su momento, entre otros.

Para evaluar la producción de energía eléctrica utilizando el programa anteriormente descrito para una instalación solar fotovoltaica de 100 kWp de potencia nominal para cada una de las cuatro localizaciones y analizando en cada localización los cuatro tipos de instalación previstos se calculan previamente los rendimientos globales para cada una de las localizaciones.

Las pérdidas combinadas generales son del 26,5% para Sevilla, 26,3% para Tenerife, 24,5% para Sariñena y 24,2% para Alfaro, obteniéndose los rendimientos globales para cada localización mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Rendimiento global de los generadores fotovoltaicos para cada localización

	Alfaro	Sariñena	Sevilla	Tenerife
Rendimiento global [%]	75,8	75,5	73,5	73,7

Estos rendimientos son menores que los marcados por el IDAE (76,33 %), de referencia, por lo que serán los que empleemos al estar del lado de la seguridad.

5. Cálculo de la energía anual producida

El programa PVGIS, para cada localización y los cuatro tipos de seguidores, nos proporciona la media de la producción de energía diaria (kWh), la media de la producción mensual de energía (kWh), la media diaria de la radiación global recibida por metro cuadrado (kWh/m^2), la media mensual de la radiación global recibida por metro cuadrado (kWh/m^2) y la temperatura media (ºC). Así, podemos obtener la energía anual producida que se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Energía anual producida, en kWh

Sistema	Alfaro	Sariñena	Sevilla	Tenerife
Fijo	132.760	153.740	158.820	162.400
Eje inclinado	172.820	205.970	219.400	214.900
Eje vertical	173.110	205.880	217.900	213.100
Dos ejes	177.360	211.510	225.600	220.900
Variación Dos ejes/Fijo [%]	33,6	37,6	42,0	36,0

Se observa claramente que la energía producida, empleando un seguidor de dos ejes en vez de un seguidor fijo, presenta una mejora entre el 33,6% en Alfaro y el 42,0% en Sevilla.

En el caso de una instalación fija el emplazamiento óptimo es Tenerife, mientras que en el caso de un seguidor de dos ejes es Sevilla.

El único caso en que es mejor emplear ejes verticales en vez de ejes inclinados es Alfaro.

6. Producciones acumuladas en función del rendimiento y la degradación

En este apartado, Inicialmente, se presenta la producción acumulada en veinte años con degradación del 1,25 % y rendimiento general del 92 %, para los cuatro tipos de seguidor en cada localización (Tabla 5).

Tabla 5. Producción acumulada para cada localización y tipo de seguidor en 20 años, en MWh

Tipo de Seguidor	Alfaro	Sariñena	Sevilla	Tenerife
Fijo	2.173	2.517	2.600	2.659
Eje inclinado	2.829	3.372	3.592	3.518
Eje vertical	2.834	3.370	3.567	3.489
Dos ejes	2.903	3.463	3.693	3.616

En la Tabla 6 y Figura 2 se presenta la producción acumulada con rendimiento del 92 % y variaciones en la degradación, y, en la Tabla 7 y Figura 3, se muestra la producción acumulada con degradación del 1,25 % y variaciones de rendimiento, para las diferentes localizaciones y los cuatro tipos de seguidores.

Tabla 6. Producción acumulada en las diferentes localizaciones con rendimiento del 92% para diferentes degradaciones, en MWh.

Alfaro				
Degradación	Fijo	E.I.	E.V.	D.E.
1,00%	2.224	2.895	2.900	2.971
1,25%	2.173	2.829	2.834	2.903
1,50%	2.124	2.765	2.770	2.838
1,75%	2.076	2.703	2.707	2.774
2,00%	2.030	2.642	2.647	2.712

Sariñena				
Degradación	Fijo	E.I.	E.V.	D.E.
1,00%	2.576	3.451	3.449	3.543
1,25%	2.517	3.372	3.370	3.463
1,50%	2.460	3.295	3.294	3.384
1,75%	2.404	3.221	3.220	3.308
2,00%	2.351	3.149	3.148	3.234

Sevilla				
Degradación	Fijo	E.I.	E.V.	D.E.
1,00%	2.661	3.676	3.650	3.779
1,25%	2.600	3.592	3.567	3.693
1,50%	2.541	3.510	3.486	3.610
1,75%	2.484	3.431	3.408	3.528
2,00%	2.428	3.355	3.332	3.449

Tenerife				
Degradación	Fijo	E.I.	E.V.	D.E.
1,00%	2.721	3.600	3.570	3.701
1,25%	2.659	3.518	3.489	3.616
1,50%	2.598	3.438	3.410	3.534
1,75%	2.540	3.361	3.333	3.455
2,00%	2.483	3.286	3.258	3.378

Figura 2. Producción acumulada en las diferentes localizaciones con rendimiento del 92% para diferentes degradaciones, en MWh (Elaboración propia).

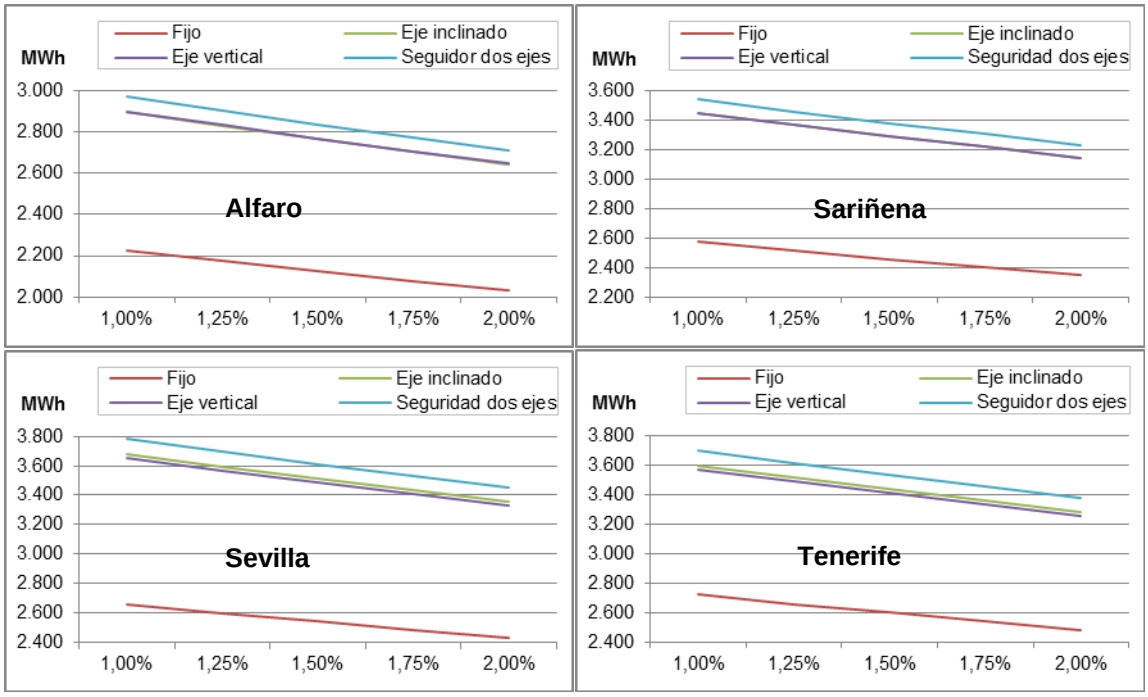


Tabla 7. Producción acumulada en las diferentes localizaciones con degradación del 1,25% para diferentes rendimientos, en MWh.

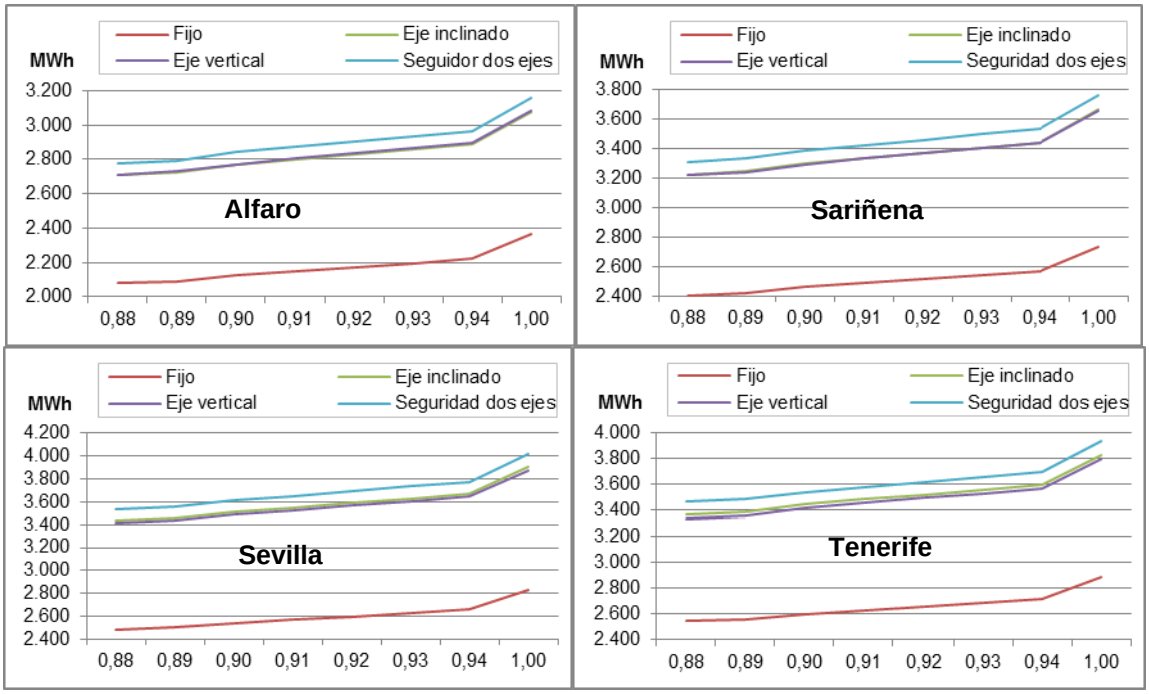
Alfaro				
Rendimiento	Fijo	E.I.	E.V.	D.E.
88%	2.079	2.706	2.711	2.777
90%	2.126	2.768	2.772	2.840
92%	2.173	2.829	2.834	2.903
94%	2.221	2.891	2.896	2.967
100%	2.362	3.075	3.080	3.156

Sariñena				
Rendimiento	Fijo	E.I.	E.V.	D.E.
88%	2.407	3.225	3.224	3.312
90%	2.462	3.299	3.297	3.387
92%	2.517	3.372	3.370	3.463
94%	2.572	3.445	3.444	3.538
100%	2.736	3.665	3.663	3.764

Sevilla				
Rendimiento	Fijo	E.I.	E.V.	D.E.
88%	2.487	3.436	3.412	3.533
90%	2.543	3.514	3.490	3.613
92%	2.600	3.592	3.567	3.693
94%	2.656	3.670	3.645	3.773
100%	2.826	3.904	3.877	4.014

Tenerife				
Rendimiento	Fijo	E.I.	E.V.	D.E.
88%	2.543	3.365	3.337	3.459
90%	2.601	3.442	3.413	3.538
92%	2.659	3.518	3.489	3.616
94%	2.716	3.595	3.564	3.695
100%	2.890	3.824	3.792	3.931

Figura 3. Producción acumulada en las diferentes localizaciones con degradación del 1,25% para diferentes rendimientos, en MWh (Elaboración propia).



7. Estudio de viabilidad

En la Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11, así como en la Figura 4, Figura 5, Figura 6 y Figura 7 siguientes se presentan los resultados del estudio de viabilidad económica realizados para el caso base (degradación del 1,25 % y rendimiento general del 92 %) para las diferentes localizaciones y los cuatro tipos de seguidores, evaluando para cada caso, en función del precio de venta, los periodos de amortización, el VAN y el beneficio en un horizonte de veinte años, considerando un interés del 5%, un incremento de ingresos del 4% y de gastos del 2,5 %.

Tabla 8. Estudio de viabilidad económica para Alfaro, con el periodo de amortización, en años, el precio de venta, en €/kWh, el VAN, en €, y el beneficio en el horizonte, en €.

	Sistema fijo	S. de eje inclinado	Sistema eje vertical	Sistema de dos ejes
Producción anual en el primer año [kWh]	122.139	158.994	159.261	163.171
Inversión [€]	175.000	185.000	190.000	210.000
Gastos en el primer año [€]	8.750	9.250	9.500	10.500

Sistema fijo			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,3708	404.166	424.374
10	0,2291	134.875	141.618
15	0,1818	44.984	47.233
20	0,1582	134	141

Sistema eje inclinado			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,3011	427.200	448.560
10	0,1860	142.456	149.578
15	0,1477	47.706	50.091
20	0,1285	207	218

Sistema eje vertical			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,3088	438.944	460.892
10	0,1907	146.288	153.603
15	0,1514	48.902	51.347
20	0,1317	84	89

Sistema seguidor dos ejes			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,3331	485.081	509.335
10	0,2058	161.883	169.977
15	0,1633	53.981	56.680
20	0,1421	156	164

Figura 4. Estudio de viabilidad económica para Alfaro (Elaboración propia).

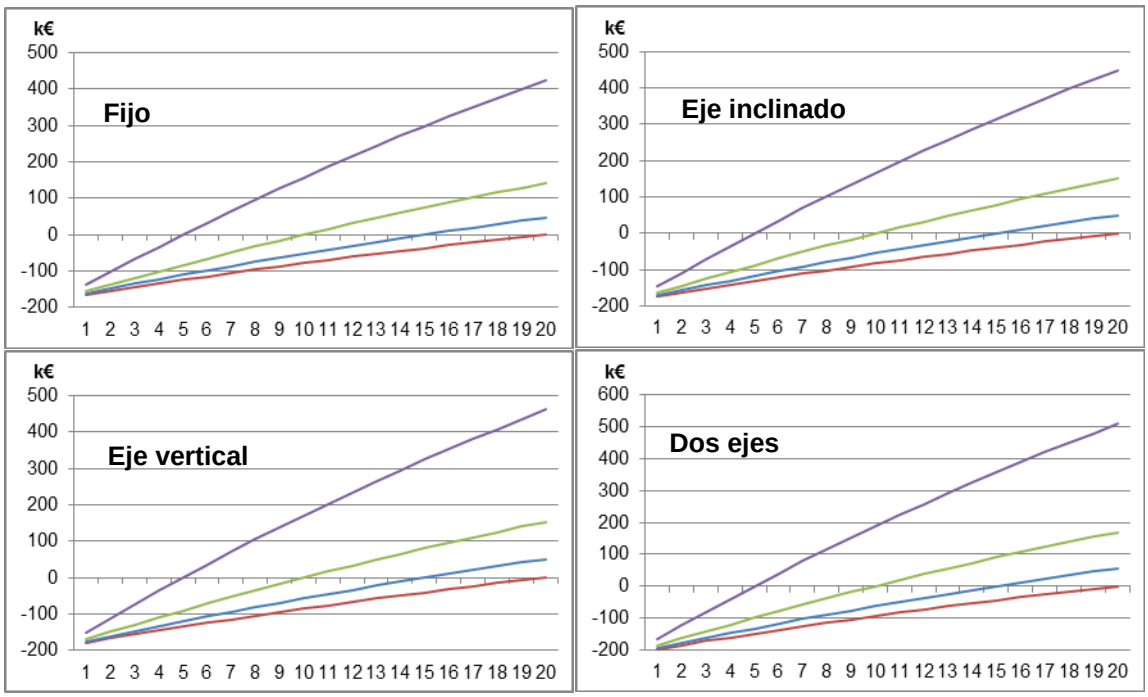


Tabla 9. Estudio de viabilidad económica para Sariñena, con el periodo de amortización, en años, el precio de venta, en €/kWh, el VAN, en €, y el beneficio en el horizonte, en €.

	Sistema fijo	Sistema eje inclinado	Sistema eje vertical	Seguidor dos ejes
Producción anual en el primer año [kWh]	141.441	189.492	189.410	194.589
Inversión [€]	175.000	185.000	190.000	210.000
Gastos en el primer año [€]	8.750	9.250	9.500	10.500

Sistema fijo			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,3202	404.168	424.377
10	0,1978	134.795	141.535
15	0,1570	45.004	47.255
20	0,1366	109	114

Sistema eje inclinado			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,2527	427.379	448.748
10	0,1561	142.562	149.690
15	0,1239	47.622	50.004
20	0,1078	153	160

Sistema eje vertical			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,2596	438.802	460.743
10	0,1604	146.447	153.769
15	0,1273	48.897	51.342
20	0,1108	269	283

Sistema seguidor dos ejes			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,2793	485.026	509.277
10	0,1725	161.665	169.748
15	0,1370	54.181	56.890
20	0,1192	287	302

Figura 5. Estudio de viabilidad económica para Sariñena (Elaboración propia).

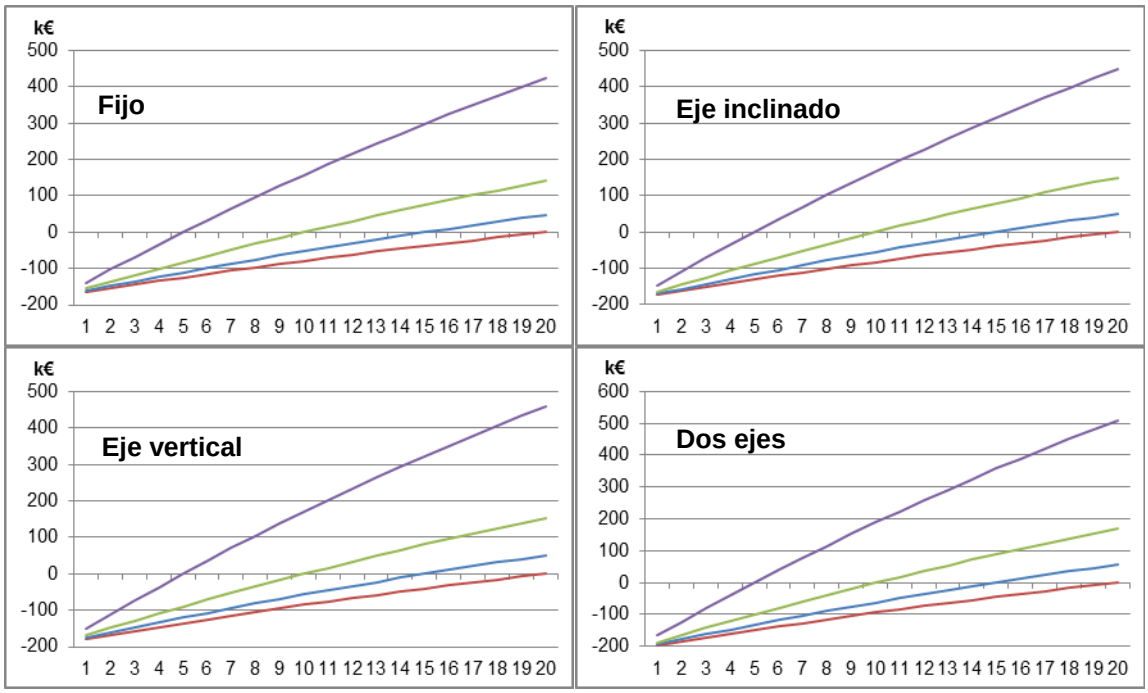


Tabla 10. Estudio de viabilidad económica para Sevilla, con el periodo de amortización, en años, el precio de venta, en €/kWh, el VAN, en €, y el beneficio en el horizonte, en €.

	Sistema fijo	Sistema eje inclinado	Sistema eje vertical	Seguidor dos ejes
Producción anual en el primer año [kWh]	146.114	201.848	200.468	207.552
Inversión [€]	175.000	185.000	190.000	210.000
Gastos en el primer año [€]	8.750	9.250	9.500	10.500

Sistema fijo			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,3100	404.263	424.476
10	0,1915	134.856	141.599
15	0,1520	45.054	47.307
20	0,1322	39	41

Sistema eje inclinado			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,2372	427.280	448.644
10	0,1465	142.421	149.542
15	0,1163	47.573	49.951
20	0,1012	149	156

Sistema eje vertical			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,2453	438.866	460.809
10	0,1515	146.285	153.599
15	0,1203	48.966	51.415
20	0,1047	307	322

Sistema seguidor dos ejes			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,2619	485.168	509.426
10	0,1618	161.903	169.998
15	0,1284	54.040	56.742
20	0,1117	109	114

Figura 6. Estudio de viabilidad económica para Sevilla (Elaboración propia).

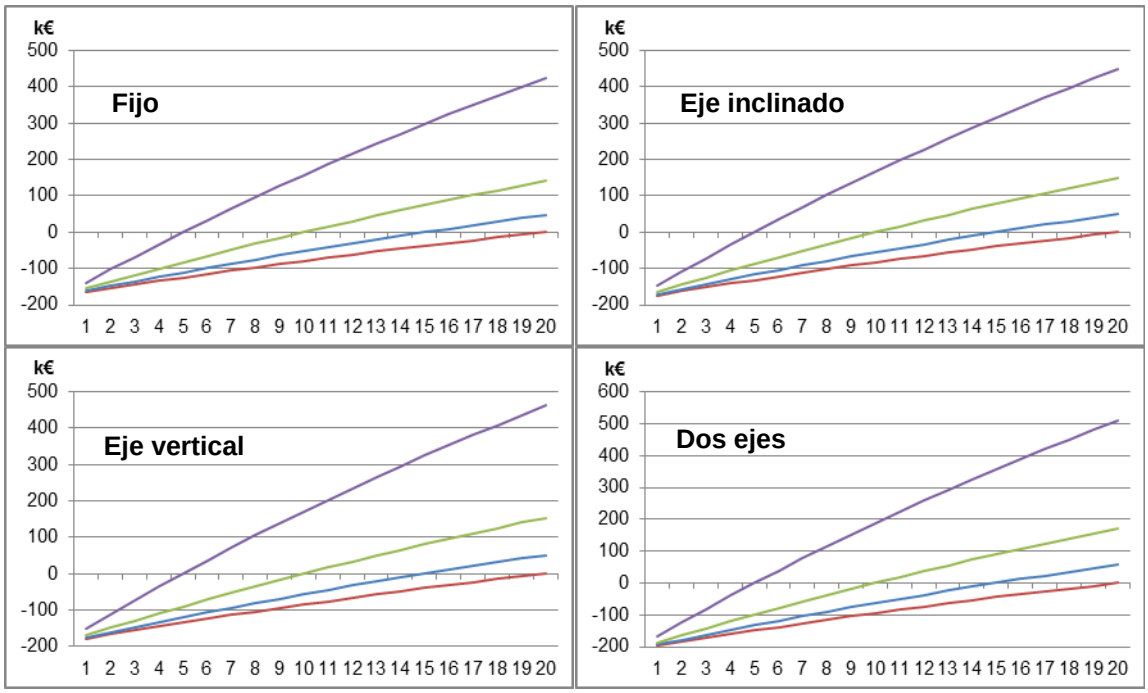


Tabla 11. Estudio de viabilidad económica para Tenerife, con el periodo de amortización, en años, el precio de venta, en €/kWh, el VAN, en €, y el beneficio en el horizonte, en €.

	Sistema fijo	Sistema eje inclinado	Sistema eje vertical	Seguidor dos ejes
Producción anual en el primer año [kWh]	149.408	197.708	196.052	203.228
Inversión [€]	175.000	185.000	190.000	210.000
Gastos en el primer año [€]	8.750	9.250	9.500	10.500

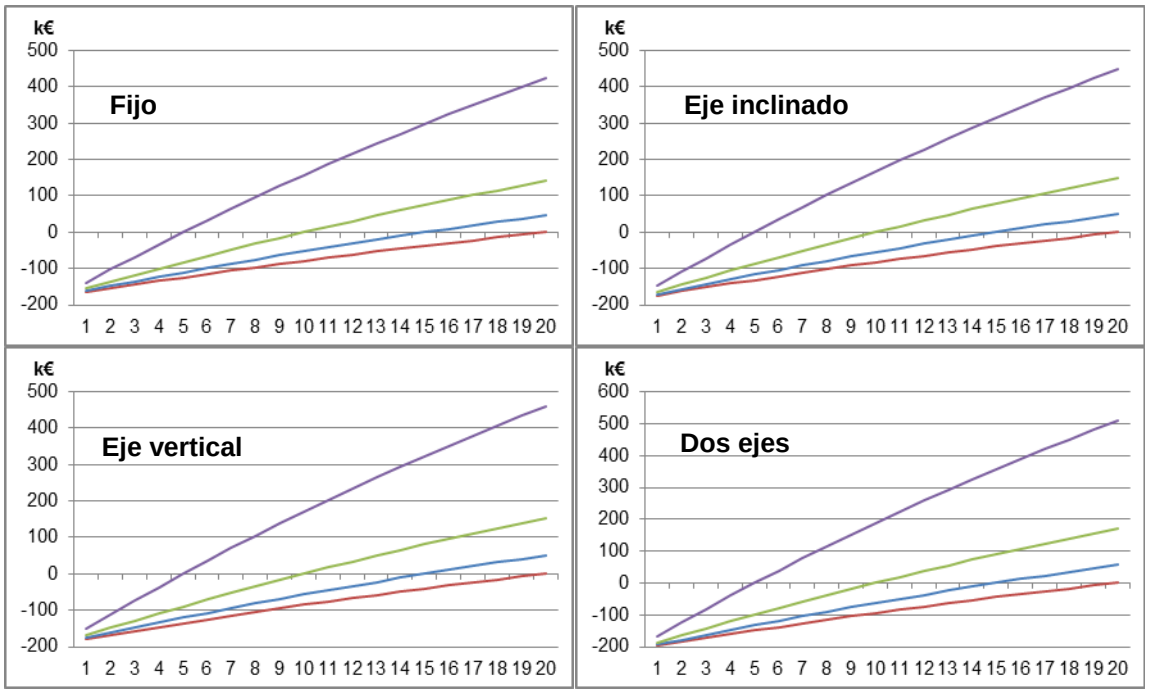
Sistema fijo			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,3031	404.109	424.315
10	0,1873	134.906	141.652
15	0,1486	44.939	47.186
20	0,1293	72	76

Sistema eje inclinado			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,2422	427.381	448.750
10	0,1496	142.520	149.646
15	0,1188	47.772	50.160
20	0,1033	90	94

Sistema eje vertical			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,2508	438.789	460.728
10	0,1550	146.552	153.880
15	0,1230	48.937	51.383
20	0,1070	129	135

Sistema seguidor dos ejes			
Amortización	Precio de venta	VAN	Beneficio en el horizonte
5	0,2674	484.939	509.186
10	0,1652	161.768	169.856
15	0,1311	53.939	56.636
20	0,1141	183	192

Figura 7. Estudio de viabilidad económica para Tenerife (Elaboración propia).



8. Resultados

Si consideramos una instalación media para amortizar en 20 años, en Alfaro necesitaríamos un precio de venta inicial de 0,1582 €/kWh para un sistema fijo y de 0,1421 €/kWh para el de dos ejes, lo que nos permitiría un margen de 1,61 c€ para el precio del kWh de partida.

En Sariñena necesitaríamos un precio de venta inicial de 0,1366 €/kWh para un sistema fijo y de 0,1192 €/kWh para el de dos ejes, lo que nos permitiría un margen de 1,74 c€ para el precio del kWh de partida, con un precio de venta de la electricidad del de dos ejes del orden del 83,88 % del de Alfaro.

En Sevilla, el sistema fijo necesitaría un precio inicial de 0,1322 €/kWh y el de dos ejes de 0,1117 €/kWh para amortizarlo en 20 años, lo que supone un margen de 2,05 c€ para el kWh de partida, siendo el precio necesario para la venta de la electricidad de Sevilla un 78,61 % del de Alfaro, o del 93,71 % del de Sariñena.

En Tenerife, el sistema fijo necesitaría un precio inicial de 0,1293 €/kWh y el de dos ejes de 0,1141 €/kWh para amortizarlo en 20 años, lo que supone un margen de 1,52 c€ para el kWh de partida, siendo el precio necesario para la venta de la electricidad de Tenerife un 80,30 % del de Alfaro, o un del 102,15 % del de Sevilla.

En la misma situación, el seguidor fijo en Tenerife es el que se rentabiliza con un menor precio y el seguidor de dos ejes más rentable es el situado en Sevilla. En ambos supuestos, el más caro es el situado en Alfaro. La proporción, en ambos casos, entre el precio más caro y el más barato necesarios para amortizar la instalación en 20 años es de 122,35 % en el fijo y del 127,22 % en el de dos ejes.

9. Conclusiones

El estudio económico se ha basado en datos internos de importantes empresas españolas, con un planteamiento de costes medios históricos de aplicación.

Estas instalaciones tendrán la necesidad de ser evaluadas y afinadas posteriormente, con un ajuste más fino de los resultados energéticos que se esperan de las mismas, degradaciones de los paneles seleccionados, soluciones constructivas, forma de operación y mantenimiento, ajustes climáticos locales, optimizaciones locales por microclimas, etc. Todo ello en función del nivel de inversión prevista y sus circunstancias generales y locales.

En nuestro caso hemos elegido cuantro emplazamientos de cuatro Comunidades Autónomas diferentes para ver sus posibilidades, si bien estos emplazamientos forman parte de varios estudios previos para una importante empresa española del ámbito energético y de la construcción.

Para las cuatro localidades seleccionadas se han evaluado las producciones medias estadísticas, las producciones anuales y acumuladas en función de las localizaciones y tipos de seguidores, considerando diversas estrategias económicas y legales, con un amplio margen de maniobra operativa. Posteriormente, se ha realizado un estudio de viabilidad económica partiendo de un escenario base para las diferentes localizaciones y tipos de seguidores, evaluando en función del precio de venta los periodos de amortización, el VAN y el beneficio, en un horizonte de veinte años, obteniéndose los anteriores resultados.

Una vez más, además de todo el potencial del PVGIS queda patente que es de vital importancia los costes de operación, gestión y mantenimiento por su repercusión directa en los resultados económicos, para una misma instalación dada, que son los que marcan las diferencias en la realidad.

Como toda inversión de este tipo, las proyecciones a veinte años son siempre muy sensibles a los cambios sociales, políticos, económicos, legales, etc. que, en definitiva, son los que harán posible que un planteamiento empresarial sea o no viable, a priori, con una margen de riesgo asumible, si bien esto debería ser objeto de otra ponencia futura.

Referencias

ASIF/UNEF (Asociación de la Industria Fotovoltaica/Unión Española Fotovoltaica*).La Energía fotovoltaica conquista el mercado. Informe anual 2014.* JOMAGAR. Madrid, 2015. También en: www.unef.es.

CM-SAF (Climate Monitoring Satellite Application Facilitie). Documentación diversa. http://www.cmsaf.eu/EN/Documentation/Documentation_node.html;jsessionid=825394F58DBE1E5867B2259FDA6974E3.live2051.

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red.* PROGENSA. ISBN: 978-84-95693-62-4. Madrid, 2011.

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). European Comission. Documentación diversa. https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis-geographical-assessment-solar-resource-and.

05-021

ECONOMIC SAVINGS FOR THE RESIDENT RESULTING FROM THE CURRENT CTE-DB-HE: APPLIED TO SINGLE-FAMILY HOMES IN LOGROÑO (LA RIOJA)

López Ochoa, Luis María; López González, Luis María; García Lozano, César; Las Heras Casas, Jesús
Universidad de La Rioja

The CTE-DB-HE (2013) aims not only to reduce buildings' energy demands, but also to employ as many efficient technologies as possible to meet buildings' thermal needs, and save on primary non-renewable energy consumption, support renewable energy use, and decrease CO2 emissions. Decreasing energy demand entails reducing the power installed in the systems that comprise different heating and domestic hot water installations in buildings, in addition to lowering fuel consumption and henceforth, the associated positive effects. This paper presents a study of the expenses accrued throughout the lifetime of a heating and domestic hot water installation in a single-family home in Logroño (La Rioja). On the one hand, the previous CTE-DB-HE (2009) regulations are considered and on the other hand, the CTE-DB-HE (2013) in force at this time. Aside from the implications for new construction, these new regulations make energy rehabilitation of buildings an increasingly attractive option for the residents of these older homes and not only because housing sales and renting require energy certification, but also because of the opportunity to easily recoup the initial necessary investment, thanks to the savings on energy consumption which come about when the building is rehabilitated.

Keywords: *Technical building code; economic savings and energy savings; domestic hot water and heating; solar energy support; thermal envelope; sustainability*

AHORRO ECONÓMICO PARA EL USUARIO COMO CONSECUENCIA DE LA APLICACIÓN DEL VIGENTE CTE-DB-HE. APLICACIÓN A UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LOGROÑO

El CTE-DB-HE (2013) pretende, además de reducir la demanda energética de los edificios, el empleo de tecnologías lo más eficientes posibles para cubrir las necesidades térmicas de los edificios, ahorrar en el consumo de energía primaria no renovable, apoyar el uso de energías renovables y disminuir las emisiones de CO2. Una reducción de la demanda energética implica una reducción en la potencia instalada de los equipos de las instalaciones de calefacción y ACS de los edificios, además de una reducción en el consumo de combustible y los efectos positivos asociados. Se presenta un estudio de los gastos acumulados a lo largo de la vida útil de una instalación de calefacción y ACS, para una vivienda unifamiliar en Logroño (La Rioja), considerando el escenario del CTE-DB-HE (2009) y el del CTE-DB-HE (2013). Además de las implicaciones para la obra nueva, todo esto hace que la rehabilitación energética de los edificios sea una opción cada vez más interesante para los usuarios de viviendas antiguas, no sólo porque en la actualidad se exija la certificación energética para la venta y alquiler de las viviendas, sino por la facilidad de recuperar la inversión necesaria, gracias al ahorro en los consumos energéticos que se producirán.

Palabras clave: *CTE-DB-HE; Ahorro; agua caliente sanitaria y calefacción; apoyo solar; envolvente térmica; sostenibilidad.*

Correspondencia: Luis María López Ochoa luis-maria.lopezo@unirioja.es

1. Introducción

A través del CTE-DB-HE0 del vigente CTE-DB-HE (2013) se pretende, además de reducir la demanda energética de los edificios, el empleo de tecnologías lo más eficientes posibles para cubrir las necesidades térmicas de los edificios, ahorrar en el consumo de energía primaria no renovable, apoyar el uso de energías renovables y disminuir las emisiones de CO_2.

Una reducción de la demanda energética implica una reducción en la potencia instalada de los equipos que componen las diversas instalaciones de calefacción y agua caliente sanitaria de los edificios, además de una reducción en el consumo de combustible y los efectos positivos asociados, destacando la reducción del consumo de energía primaria y de las emisiones de CO_2.

2. Objetivos

Estudiar a nivel técnico y económico los cambios que supone la implantación del vigente CTE-DB-HE a lo largo de la vida útil de una instalación de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), para una vivienda unifamiliar tipo en Logroño (La Rioja).

3. Metodología

En el caso 1 se va a estudiar el sistema de calefacción y ACS a nivel técnico y económico cumpliendo el CTE-DB-HE (2009), y en el caso 2 se va a estudiar el sistema de calefacción y ACS a nivel técnico y económico cumpliendo el CTE-DB-HE (2013), incluyendo ambos un sistema de apoyo solar para el ACS.

Las transmitancias de los edificios en cada caso se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Transmitancias térmicas empleadas para los diferentes casos, en W/m²·K

Transmitancia térmica	Caso 1	Caso 2
Muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	0,66	0,25
Suelos (forjados en contacto con el aire exterior)	0,49	0,30
Cubierta	0,38	0,15
Medianeras	1,00	0,55
Particiones interiores	1,00	0,55
Huecos	2,50	1,30

El factor solar de huecos se ha tomado de 0,5.

Inicialmente se ha construido el edificio en la herramienta informática LIDER y se ha comprobado que dicho edificio cumplía, es decir, que las transmitancias de la envolvente del edificio objeto son inferiores a las transmitancias de la envolvente del edificio de referencia (Apéndice D del CTE-DB-HE1), que no existen condensaciones superficiales ni intersticiales y el porcentaje de la demanda energética de calefacción del edificio objeto respecto a la del edificio de referencia, el porcentaje de la demanda de la refrigeración del edifico objeto a la del edificio de referencia y las proporciones relativas entre ambas.

A continuación se ha calculado un sistema de calefacción monotubo para cubrir todas las necesidades de las zonas habitables de la vivienda.

Finalmente, con la herramienta informática CALENER VYP se ha introducido la instalación diseñada y se han obtenido las demandas energéticas, consumos de energía primaria y emisiones de CO_2 de la vivienda.

Para nuestro estudio, se ha calculado la contribución solar necesaria empleando el método f-chart y cumpliendo el CTE-DB-HE4.

4. Vivienda objeto de estudio

Se trata de una vivienda unifamiliar adosada, constituida por planta baja, una altura y ático. La fachada principal está orientada al norte y la fachada este está en contacto con otra vivienda unifamiliar de características similares a la vivienda objeto de estudio.

En la planta baja se encuentra el garaje, un aseo, un local para cualquier uso y los cuartos propios de instalaciones además del portal.

En la planta primera se encuentran los dormitorios, baños y aseos, cocina y salón comedor. Además, la vivienda cuenta con una terraza exterior, a la que se puede acceder desde uno de los dormitorios.

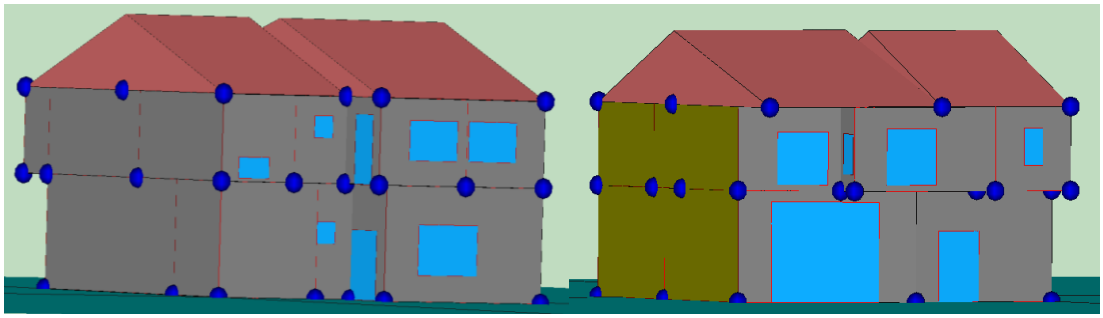
El ático se usa de trastero.

En la Tabla 2 se muestra la clasificación de los espacios de la vivienda y en la Figura 1 el modelo 3D desarrollado en LIDER-CALENER VYP.

Tabla 2. Clasificación de los espacios del edificio

Planta	Espacio	Espacios habitables	Espacios no habitables	Higrometría
Baja	Local	x		3
	Garaje		x	-
	Aseo	x		3
	Portal		x	-
	Trastero		x	-
Primera	Hueco escalera		x	-
	Vestíbulo+pasillo	x		3
	Aseo	x		3
	Baño	x		3
	Cocina	x		3
	Lavadero	x		4
	Estar/comedor	x		3
	Terraza		x	-
	Dormitorio 1	x		3
	Dormitorio 2	x		3
	Dormitorio 3	x		3
Ático	Trastero		x	-

Figura 1. Modelo 3D vivienda objeto de estudio en LIDER



Los espacios habitables poseen una baja carga interna. Además todos presentan una higrometría clase 3, excepto un lavadero que es de clase 4.

La superficie total de la vivienda es de 262,59 m^2, de los cuales 132 m^2 son habitables.

Como Logroño se encuentra en la zona climática D2, para cumplir el CTE-DB-HE1 vigente no deberemos superar los siguientes valores:

- El valor límite de la demanda de calefacción es de 42,10 kWh/m^2·año.
- El valor límite de la demanda de refrigeración es de 15,00 kWh/m^2·año.

Para cumplir el CTE-DB-HE0 vigente no deberemos superar el valor límite de la consumo energético de energía primaria no renovable, el cual es de 82,65 kWh/m^2·año.

Además, el CTE-DB-HE4, con la demanda de ACS de la vivienda (168 l/día) y al encontrarnos en la zona climática solar III, nos exige que la contribución solar mínima para ACS sea al menos del 40%.

5. Diseño de las instalaciones térmicas

5.1 Instalación de apoyo solar para ambos casos

La instalación de apoyo solar para ACS consiste en un depósito acumulador de 200 litros y un captador solar con un área de absorción de 2,327 m^2, con el que se logra una contribución solar del 45,76%.

5.2 Instalación de calefacción para el caso 1

Inicialmente, conociendo todas las transmitancias térmicas de cerramientos y huecos, para unas temperaturas de diseño acordes a la zona, se han calculado las necesidades térmicas de calefacción. Estas necesidades térmicas (Tabla 3) son la suma de las pérdidas por transmisión y las pérdidas por infiltraciones, multiplicada por unos factores de uso y orientación.

Tabla 3. Necesidades térmicas de calefacción, en W

	PÉRDIDAS TÉRMICAS	
Planta Baja	Bodega	7.347
	Aseo bodega	369
Planta Primera	Cocina	1.584
	Baño	391
	Dormitorio 1	1.526
	Dormitorio 2	1.089
	Dormitorio 3	1.190
	Aseo	206
	Sala de estar/comedor	2.427
	Pasillo y vestíbulo	498

Se instalará una caldera mixta de condensación de gas natural de 30 kW y un rendimiento del 97%.

El sistema de distribución del calor a lo largo de la vivienda va a ser de tipo monotubo. Para ello, se ha decidido repartir las necesidades a cubrir entre tres anillos de forma equilibrada tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Distribución de las necesidades térmicas en 3 anillos, en W

		Necesidades	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3
Planta Baja	Bodega	7.347	5.814		1.533
	Aseo bodega	369			369
Planta Primera	Cocina	1.584		1.584	
	Baño	391			391
	Dormitorio 1	1.526			1.526
	Dormitorio 2	1.089			1.089
	Dormitorio 3	1.190		1.190	
	Aseo	206			206
	Sala de estar/comedor	2.427		2.427	
	Pasillo y vestíbulo	498		498	

En las tablas Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, se muestra para cada uno de los anillos la carga térmica a cubrir, la potencia de cada elemento, el número de radiadores, el número de elementos y se comprueba que el sistema cubre las necesidades sin problemas.

Tabla 5. Anillo 1 de calefacción

Anillo 1	Carga térmica (W)	Emisión calorífica real (W/elemento)	Nº Radiadores	Nº Elementos	Potencia radiador (W)
Bodega	5.814	104	4	56	5.848

Tabla 6. Anillo 2 de calefacción

Anillo 2	Carga térmica (W)	Emisión calorífica real (W/elemento)	Nº Radiadores	Nº Elementos	Potencia radiador (W)
Cocina	1.584	137	1	12	1.649
Sala de estar/comedor	2.427	121	2	20	2.428
Dormitorio 3	1.190	116	1	11	1.278
Pasillo y vestíbulo	498	114	1	5	571

Tabla 7. Anillo 3 de calefacción

Anillo 3	Carga térmica (W)	Emisión calorífica real (W/elemento)	Nº Radiadores	Nº Elementos	Potencia radiador (W)
Bodega	1.533	137	1	12	1.645
Aseo bodega	369	137	1	3	410
Baño	391	134	1	3	402
Dormitorio 1	1.526	122	1	13	1.591
Dormitorio 2	1.089	116	1	10	1.162
Aseo	206	117	1	2	233

En la Tabla 8 se presenta un resumen de todo el sistema de calefacción monotubo.

Tabla 8. Resumen del sistema de calefacción

	Carga térmica (W)	Emisión calorífica real (W/elemento)	Nº Radiadores	Nº Elementos	Potencia radiador (W)
Bodega	7.347	110	5	68	7.493
Aseo bodega	369	137	1	3	410
Cocina	1.584	137	1	12	1.649
Baño	391	134	1	3	402
Dormitorio 1	1.526	122	1	13	1.591
Dormitorio 2	1.089	116	1	10	1.162
Dormitorio 3	1.190	116	1	11	1.278
Aseo	206	117	1	2	233
Sala de estar/comedor	2.427	121	2	20	2.428
Pasillo y vestíbulo	498	114	1	5	571

5.3 Instalación de calefacción para el caso 2

Inicialmente, conociendo todas las transmitancias térmicas de cerramientos y huecos, para unas temperaturas de diseño acordes a la zona, se han calculado las necesidades térmicas de calefacción. Estas necesidades térmicas (Tabla 9) son la suma de las pérdidas por transmisión y las pérdidas por infiltraciones, multiplicada por unos factores de uso y orientación.

Tabla 9. Necesidades térmicas de calefacción, en W

	PÉRDIDAS TÉRMICAS	
Planta Baja	Bodega	6.389
	Aseo bodega	305
Planta Primera	Cocina	1.234
	Baño	309
	Dormitorio 1	1.103
	Dormitorio 2	846
	Dormitorio 3	916
	Aseo	176
	Sala de estar/comedor	1.927
	Pasillo y vestíbulo	425

Se instalará una caldera mixta de condensación de gas natural de 25 kW y un rendimiento del 97%.

El sistema de distribución del calor a lo largo de la vivienda va a ser de tipo monotubo. Para ello, se ha decidido repartir las necesidades a cubrir entre tres anillos de forma equilibrada tal como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Distribución de las necesidades térmicas en 3 anillos, en W

		Necesidades	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3
Planta Baja	Bodega	6.389	4.644		1.745
	Aseo bodega	305			305
Planta Primera	Cocina	1.234		1.234	
	Baño	309			309
	Dormitorio 1	1.103			1.103
	Dormitorio 2	846			846
	Dormitorio 3	916		916	
	Aseo	176			176
	Sala de estar/comedor	1.927		1.927	
	Pasillo y vestíbulo	425		425	

En las tablas Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13, se muestra para cada uno de los anillos la carga térmica a cubrir, la potencia de cada elemento, el número de radiadores, el número de elementos y se comprueba que el sistema cubre las necesidades sin problemas.

Tabla 11. Anillo 1 de calefacción

Anillo 1	Carga térmica (W)	Emisión calorífica real (W/elemento)	Nº Radiadores	Nº Elementos	Potencia radiador (W)
Bodega	4.644	104	4	45	4.699

Tabla 12. Anillo 2 de calefacción

Anillo 2	Carga térmica (W)	Emisión calorífica real (W/elemento)	Nº Radiadores	Nº Elementos	Potencia radiador (W)
Cocina	1.234	138	1	9	1.240
Sala de estar/comedor	1.927	122	2	16	1.951
Dormitorio 3	916	117	1	8	936
Pasillo y vestíbulo	425	114	1	5	571

Tabla 13. Anillo 3 de calefacción

Anillo 3	Carga térmica (W)	Emisión calorífica real (W/elemento)	Nº Radiadores	Nº Elementos	Potencia radiador (W)
Bodega	1.745	133	1	14	1.865
Aseo bodega	305	134	1	3	401
Baño	309	131	1	3	394
Dormitorio 1	1.103	122	1	10	1.217
Dormitorio 2	846	116	1	8	928
Aseo	176	116	1	2	232

En la Tabla 14 se presenta un resumen de todo el sistema de calefacción monotubo.

Tabla 14. Resumen del sistema de calefacción

	Carga térmica (W)	Emisión calorífica real (W/elemento)	Nº Radiadores	Nº Elementos	Potencia radiador (W)
Bodega	6.389	111	5	59	6.564
Aseo bodega	305	134	1	3	401
Cocina	1.234	138	1	9	1.240
Baño	309	131	1	3	394
Dormitorio 1	1.103	122	1	10	1.217
Dormitorio 2	846	116	1	8	928
Dormitorio 3	916	117	1	8	936
Aseo	176	116	1	2	232
Sala de estar/comedor	1.927	122	2	16	1.951
Pasillo y vestíbulo	425	114	1	5	571

6. Comprobación del cumplimiento del CTE-DB-HE (2013)

Tras simular ambos casos mediante la herramienta informática CALENER VYP se ha obtenido la demanda energética, consumo de energía final, consumo de energía primaria y emisiones de CO_2, recogidos en la Tabla 15.

Tabla 15. Demanda energética (kWh/m^2), consumo de energía final (kWh/m^2), consumo de energía primaria (kWh/m^2) y emisiones de CO_2 (kgCO_2/m^2)

	Caso 1	Caso 2
Demanda energética de calefacción	62,4	39,1
Demanda energética de refrigeración	2,7	3,1
Demanda energética de ACS	13,5	13,5
Demanda energética total	78,6	55,7
Consumo de energía final de calefacción	75,2	47,6
Consumo de energía final de refrigeración	1,6	1,8
Consumo de energía final de ACS	8,8	8,8
Consumo de energía final total	85,6	58,2
Consumo de energía primaria de calefacción	76,0	48,1
Consumo de energía primaria de refrigeración	4,2	4,8
Consumo de energía primaria de ACS	8,9	8,9
Consumo de energía primaria total	89,0	61,8
Emisiones de CO_2 de calefacción	18,0	11,5
Emisiones de CO_2 de refrigeración	1,0	1,2
Emisiones de CO_2 de ACS	1,8	1,8
Emisiones de CO_2 total	20,8	14,5

Se puede comprobar que en el caso 2 se cumple el CTE-DB-HE4, el CTE-DB-HE1 y el CTE-DB-HE0.

7. Coste económico de las instalaciones térmicas

El coste del sistema de calefacción en el caso 1 asciende a 5.910 €.

En el caso 1, el consumo anual de energía final para calefacción y ACS es de 20.088 kWh, lo que supone la necesidad de 1.718 m^3 anuales de gas natural, que suponen, sumando además los gastos fijos y mantenimiento asociados, un total de 1.390 € anuales.

El coste del sistema de calefacción en el caso 2 asciende a 4.938 €.

En el caso 2, el consumo anual de energía final para calefacción y ACS es de 14.830 kWh, lo que supone la necesidad de 1.268 m^3 anuales de gas natural, que suponen, sumando además los gastos fijos y mantenimiento asociados, un total de 1.092 € anuales.

8. Resultados

En ambos casos se emplean 3 anillos de calefacción y hay un total de 15 radiadores. El número de elementos pasa de ser 147 en el primer caso a 123 en el segundo caso, lo que supone una reducción del 16,33%.

La caldera de condensación de gas natural con un rendimiento del 97% pasa de ser de 30 kW en el primer caso a 25 kW en el segundo caso, lo que supone una reducción del 16,67%.

Se ahorra en la instalación un 16,45% en el segundo caso respecto al primer caso.

La demanda de calefacción pasa de ser 62,4 kWh/m^2 en el primer caso a ser 39,1 kWh/m^2 en el segundo caso, lo que supone un descenso del 37,34%. La demanda de refrigeración pasa de ser 2,7 kWh/m^2 en el primer caso a ser 3,1 kWh/m^2 en el segundo caso, lo que supone un aumento del 14,81%.

El consumo de energía final pasa de ser 85,6 kWh/m^2 en el primer caso a ser 58,2 kWh/m^2 en el segundo caso, lo que supone un descenso del 31,97%.

Se ahorra en combustible un 21,44% anualmente en el segundo caso respecto al primer caso.

El consumo de energía primaria pasa de ser 89,0 kWh/m^2 en el primer caso a ser 61,8 kWh/m^2 en el segundo caso, lo que supone un descenso del 30,58%.

Las emisiones de CO_2 pasan de ser 20,8 kgCO_2/m^2 en el primer caso a ser 14,5 kgCO_2/m^2 en el segundo caso, lo que supone un descenso del 30,58%.

Se obtiene una calificación en consumo de energía primaria C en el primer caso y B en el segundo caso, teniendo el edificio de referencia una calificación C.

Se obtiene una calificación en emisiones de CO_2 C en el primer caso y B en el segundo caso, teniendo el edificio de referencia una calificación C.

9. Conclusiones

Las mejoras obtenidas al aislar más y mejor los edificios suponen, siempre, una clara ventaja económica debido al ahorro y eficiencia energética. Estos ahorros que el usuario percibe de inmediato deberán compensar las inversiones requeridas para ello, con un reparto de las cargas económicas de las soluciones.

Los costes y complejidad de las soluciones influyen en las propias instalaciones y en su operativa. En este sentido, la simplificación de componentes y sistemas llevan aparejados un menor coste inversor y una menor eficiencia energética, en general.

Las mejores soluciones energéticas implican claras ventajas para los usuarios, con reducciones del consumo e importantes ahorros, lo que a su vez implican una disminución del consumo de energía primaria y una reducción de las emisiones de CO_2. También favorecen al propietario en el sentido de que suponen una mejor calificación energética y medioambiental de la vivienda y una ventaja competitiva frente a otros, si su fin es el alquiler, y para sí mismo, si tiene la doble condición de propietario y usuario.

Además de las implicaciones para la obra nueva, la rehabilitación energética de los edificios es una opción cada vez más interesante para los usuarios de viviendas antiguas, independientemente de su tipología.

Es muy positiva la exigencia de la certificación energética para la venta y alquiler de las viviendas, aunque de cara al propietario y/o usuario suele ser determinante la facilidad de recuperar la inversión necesaria, en la mayoría de los casos, gracias al ahorro en los consumos energéticos que se producirán con la rehabilitación, si se hace correctamente.

Una inversión es viable cuando los ahorros derivados de la misma compensan no sólo la inversión, sino también los demás gastos que puedan surgir en su desarrollo. Desde el punto de vista del usuario, las ventajas para su economía son siempre positivas, si bien los

intereses de los promotores y de los propietarios de las viviendas no siempre son coincidentes con los del usuario.

El ahorro y la eficiencia energética son líneas estratégicas que deben seguirse, siempre, desde el punto de vista de los intereses generales y de los planteamientos de la Unión Europea, si bien tienen la dificultad de poder garantizar el equilibrio de todos los intereses de los actores implicados, que no siempre son coincidentes y del mismo sentido.

Estas líneas, junto al fomento y utilización de las energías renovables son la solución a los planteamientos de la Unión Europea y su famoso objetivo 20-20-20 para el 2020, que ya trazó en su día y que se encuentra entre todos los objetivos energéticos europeos.

Referencias

López González, L. M. et al. *Manual para el diseño de instalaciones térmicas en edificios*. Logroño: López & Da Vinci, 2014. 478 p.

Sentencia de 4 de mayo de 2010, de la Sala Tercera del Tribunal Supremo, por la que se declara la nulidad del artículo 2.7 del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, así como la definición del párrafo segundo de uso administrativo y la definición completa de uso pública concurrencia, contenidas en el documento SI del mencionado Código.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 74, de 28 de marzo de 2006, páginas 11816 a 11831 (16 págs.).

Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 254, de 23 de octubre de 2007, páginas 42992 a 43045 (54 págs.).

Real Decreto 1675/2008, de 17 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el Documento Básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 252, de 18 de octubre de 2008, páginas 41655 a 41656 (2 págs.).

Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad. BOE núm. 61, de 11 de marzo de 2010, páginas 24510 a 24562 (53 págs.).

Corrección de errores del Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 304, de 20 de diciembre de 2007, páginas 52407 a 52407 (1 pág.).

ORDEN VIV/1744/2008, de 9 de junio, por la que se regula el Registro General del Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 148, de 19 de junio de 2008, páginas 27845 a 27849 (5 págs.).

Corrección de errores y erratas del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 22, de 25 de enero de 2008, páginas 4764 a 4771 (8 págs.).

Corrección de errores y erratas de la Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación, aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto

1371/2007, de 19 de octubre. BOE núm. 230, de 23 de septiembre de 2009, páginas 79880 a 79882 (3 págs.).

Orden VIV/984/2009, de 15 de abril, por la que se modifican determinados documentos básicos del Código Técnico de la Edificación aprobados por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. BOE núm. 99, de 23 de abril de 2009, páginas 36395 a 36450 (56 págs.).

Corrección de errores de la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE núm. 268, de 8 de noviembre de 2013, páginas 89944 a 89945 (2 págs.).

Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE núm. 219, de 12 de septiembre de 2013, páginas 67137 a 67209 (73 págs.).

CTE. http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/

05-022

USE OF THE PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY AT A MUNICIPAL SPORTS CENTRE CONNECTED TO THE ELECTRICITY NETWORK

López Ochoa, Luis María; Las Heras Casas, Jesús; García Lozano, César; López González, Luis María
Universidad de La Rioja

This paper presents the results of a study whose objective was to design and calculate a photovoltaic solar installation connected to the network to meet the electrical needs of a municipal sports centre, while also having the option of selling excess energy production to the network or putting it to use for other public purposes. Three options are presented. The first and second options propose covering the entire roof with photovoltaic modules in order to produce the maximum quantity of electrical energy possible. However, while the first option purchases necessary energy from the network and sells all the energy produced to the network, the second employs a net balance system with the network. The third alternative utilises the minimum number of photovoltaic modules necessary to satisfy the sports centre's annual electrical consumption. In addition to evaluating the cumulative savings produced, this study also examines how the selling price of the energy produced affects the amortisation of the installation and its viability. The importance of a suitable relationship between the selling and purchase prices was also confirmed, so as to guarantee the project's economic viability and its environmental sustainability.

Keywords: *Photovoltaic solar energy; electricity; energy storage; viability and sustainability; State-run example; European energy policy*

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA EN UN POLIDEPORTIVO MUNICIPAL CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA

Esta ponencia presenta los resultados de un estudio realizado cuyo objetivo era el diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica conectada a red para cubrir las necesidades eléctricas de un polideportivo municipal y tener la posibilidad de vender la producción sobrante a la red o poder ser aprovechada por el municipio para otros fines públicos. Se presentan tres alternativas. En la primera y segunda alternativas se contempla cubrir todo el faldón de la cubierta de módulos fotovoltaicos para producir la máxima cantidad de energía eléctrica posible. Mientras que en la primera se compra a la red toda la energía requerida y se vende a la red toda la energía producida, en la segunda se emplea un sistema de balance neto con la red. En la última alternativa se colocan los módulos fotovoltaicos mínimos necesarios para satisfacer el consumo eléctrico anual del polideportivo. Además de evaluar el ahorro acumulado se ha estudiado cómo afecta el precio de venta de la energía producida a la amortización de la instalación y su viabilidad. También se ha comprobado la necesidad de una relación adecuada de precio de compra y de precio de venta para garantizar la viabilidad económica y la sostenibilidad medioambiental.

Palabras clave: *Energía solar fotovoltaica; electricidad; almacenamiento de energía; viabilidad y sostenibilidad; el ejemplo de la Administración; política energética europea*

Correspondencia: Luis María López Ochoa luis-maria.lopezo@unirioja.es

1. Introducción

Esta ponencia presenta los resultados de un estudio realizado cuyo objetivo era el diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica conectada a red para cubrir las necesidades eléctricas de un polideportivo municipal y tener la posibilidad de vender la producción sobrante a la red o poder ser aprovechada por el municipio para otros fines públicos.

2. Objetivos

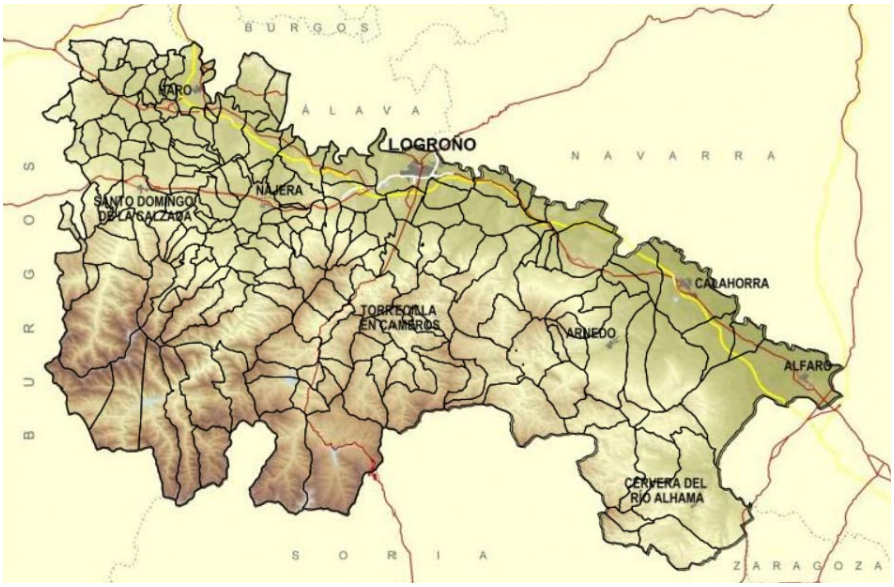
El objetivo es el diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica conectada a red para cubrir las necesidades eléctricas de un polideportivo municipal y tener la posibilidad de vender la producción sobrante a la red, realizando un estudio de viabilidad de la instalación para las tres alternativas propuestas.

Se presentan tres alternativas. Mientras que en la primera se compra a la red toda la energía requerida y se vende a la red toda la energía producida, en la segunda se emplea un sistema de balance neto con la red. En la última alternativa se colocan los módulos fotovoltaicos mínimos necesarios para satisfacer el consumo eléctrico anual del polideportivo.

3. Pabellón polideportivo

La instalación solar fotovoltaica se realizará en la cubierta de un pabellón polideportivo, situado en Calahorra (La Rioja) (Figura 1), en el cual se pueden realizar todo tipo de actividades deportivas y de ocio.

Figura 1: Mapa de situación de Calahorra



Su cubierta es metálica y se caracteriza por ser a dos aguas, teniendo una de ellas dos inclinaciones diferentes (Figura 2).

La extensión total de la cubierta es de 2.328,8 m^2. Esta superficie está repartida entre tres faldones: Uno de ellos, el más inclinado con 38,5º respecto a la horizontal; tiene una extensión de 703,2 m^2; el segundo, con 6,3º de inclinación, tiene 482,6 m^2; y, por último, otro faldón con 5,1º, con una superficie de 1.143,0 m^2.

Figura 2: Pabellón polideportivo

3.1 Necesidades eléctricas

A partir de los consumos anuales eléctricos del pabellón de los últimos cinco años y un análisis pormenorizado de las potencias de todos los elementos de la instalación eléctrica y su tiempo medio estimado de funcionamiento, se han determinado las necesidades eléctricas del pabellón.

Para determinar el consumo eléctrico de la iluminación del pabellón (Tabla 1) se han contabilizado los consumos de todas las luminarias, focos y proyectores de todos los recintos del pabellón.

Tabla 1: Consumo anual eléctrico de iluminación, en kWh

Planta	Recinto	Consumo	Subtotal
Baja	Baños y vestuarios	9.305	24.447
	Pasillos	9.388	
	Zona sauna y botiquín	275	
	Sala polivalente 1: Spinning	1.261	
	Sala polivalente 2: Gimnasia	591	
	Gimnasio	3.627	
Primera	Graderío	742	38.348
	Pista fútbol sala	6.132	
	Frontón 1	17.082	
	Frontón 2	13.140	
	Squash	1.252	
		TOTAL	**62.795**

Para determinar el consumo del resto de elementos eléctricos del pabellón (Tabla 2) se ha contabilizado el consumo de bicicletas elípticas, cintas de correr, aparatos de música, máquinas expendedoras y otros.

Tabla 2: Consumo anual del resto de elementos elécricos, en kWh

Recinto	Consumo
Gimnasio	6.099
Sala spinning	176
Recinto polideportivo general	7.154
Sala instalaciones	1.342
TOTAL	**14.771**

El consumo anual eléctrico de la iluminación asciende 62.795 kWh. El consumo anual del resto de elementos eléctricos es de 14.771 kWh. Por lo tanto, el consumo eléctrico anual de todo el pabellón es de 77.566 kWh.

Dado que el consumo eléctrico puede sufrir picos, se ha decidido sobredimensionar la instalación fotovoltaica en un 20 %, para poder cubrir un consumo eléctrico anual de 93.079 kWh.

3.2 Instalación fotovoltaica

Se plantean dos diseños: Uno que permita producir la máxima cantidad de energía eléctrica posible y otra que permita cubrir las necesidades eléctricas del pabellón polideportivo.

La instalación para obtener la producción máxima posible está compuesta por:

- 432 módulos fotovoltaicos, de 215 Wp de potencia cada uno.
- 24 ramales, contando cada uno con 18 módulos fotovoltaicos.
- 2 inversores de 50 kW cada uno.
- Protecciones eléctricas.
- Todos los cuadros y elementos auxiliares necesarios para un correcto funcionamiento.

La instalación para cubrir las necesidades eléctricas del pabellón polideportivo está compuesta por:

- 62 módulos fotovoltaicos, de 215 Wp de potencia cada uno.
- 4 ramales: tres con 18 módulos cada uno y uno con 8 módulos.
- 1 inversor de 20 kW.
- Protecciones eléctricas.
- Todos los cuadros y elementos auxiliares necesarios para un correcto funcionamiento.

Los módulos fotovoltaicos se instalarán en el faldón de la cubierta cuya inclinación es de 38,5º.

3.3 Producción estimada

Se han considerado pérdidas por orientación e inclinación, por sombras, en el inversor, en la parte de corriente continua, por el deterioro de las células y por el cableado. Todas ellas suman un 19,26%. Adicionalmente se considera un rendimiento del 95% por criterios de mantenimiento y una degradación anual de los paneles del 1 %.

La energía total real anual producida con el diseño para producción máxima, habiendo considerado todas las pérdidas y un coeficiente de seguridad adicional, es de 802.573 kWh.

La energía total real anual producida con el diseño para cubrir todas las necesidades eléctricas, habiendo considerado todas las pérdidas y un coeficiente de seguridad adicional, es de 93.079 kWh.

4. Estudio de viabilidad

Se presentan tres alternativas diferentes:

- Alternativa 1: Contempla producir la máxima cantidad de energía eléctrica posible, comprando a la red toda la energía requerida y vendiendo a la red toda la energía producida.
- Alternativa 2: Contempla producir la máxima cantidad de energía eléctrica posible, empleando un sistema de balance neto con la red.
- Alternativa 3: Contempla instalar los módulos fotovoltaicos mínimos necesarios para satisfacer el consumo eléctrico anual del polideportivo durante todo el periodo de utilización, empleándose un sistema de balance neto con la red.

Para el estudio de viabilidad de cada una de las alternativas estudiadas se ha considerado que el consumo eléctrico anual del pabellón es de 93.079 kWh, que la tasa de incremento de ingresos y la de gastos es del 2,5%, y que el interés es del 10%.

4.1 Alternativa 1

En esta alternativa, partiendo de que la cubierta del faldón está cubierta completamente por módulos fotovoltaicos (producción máxima posible), se considera que se venderá todo lo que se produce y se comprará todo lo que se necesite.

La producción fotovoltaica anual en el primer año es de 802.573 kWh y, que debido a la degradación de los paneles, dicha producción disminuye un 1% anual.

La inversión inicial requerida asciende a 770.504 €.

Los costes de mantenimiento y otros costes anuales son de 8.250 € en el primer año.

Se han calculado los precios de venta a la red en el primer año para poder amortizar la instalación en 5, 10, 15 y 20 años, suponiendo en todos los casos que el precio de compra de la red en el primer año es de 0,1790 €/kWh. Además se compara con una instalación fotovoltaica de referencia, de similares características, cuyo precio de venta a la red y de compra a la red sea de 0,1790 €/kWh.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1268 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 20 años, con un VAN de 508 € y un beneficio en el horizonte de 559 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1392 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 15 años, con un VAN de 93.627 € y un beneficio en el horizonte de 102.990 €.

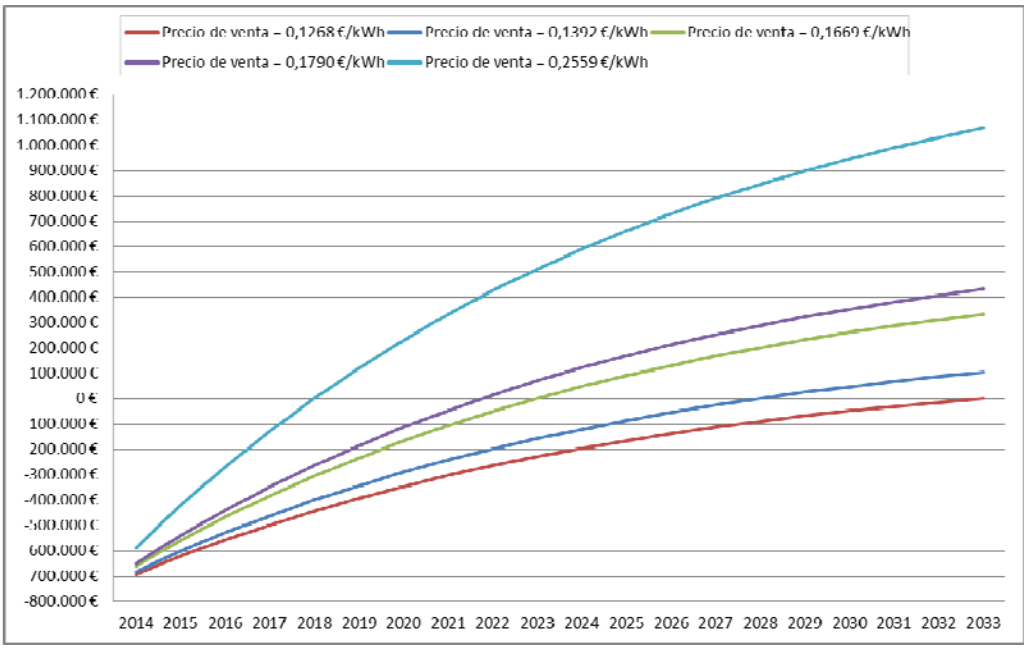
Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1669 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 10 años, con un VAN de 301.642 € y un beneficio en el horizonte de 331.806 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1790 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 9 años, con un VAN de 392.508 € y un beneficio en el horizonte de 431.759 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,2559 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 5 años, con un VAN de 969.994 € y un beneficio en el horizonte de 1.066.994 €.

En la Figura 3 se presenta la evolución del beneficio acumulado, obtenido a partir del precio de venta en el primer año para amortizar la instalación en los diferentes periodos establecidos y a partir del precio correspondiente para la instalación de referencia.

Figura 3: Estudio económico de viabilidad con precio de venta a la red para amortizar en distintos periodos



En la Tabla 3 se presentan los resultados económicos, a modo de resumen, obtenidos a partir de los precios de venta en el primer año para los que la instalación se amortizaría en los periodos establecidos y los correspondientes a la instalación de referencia.

Tabla 3: Resultados económicos para la Alternativa 1

Tiempo de amortización (años)	Precio de venta en el primer año (€/kWh)	VAN (€)	Beneficio en el horizonte (€)
5	0,2559	969.994	1.066.994
9	0,1790	392.508	431.759
10	0,1669	301.642	331.806
15	0,1392	93.627	102.990
20	0,1268	508	559

4.2 Alternativa 2

En esta alternativa, partiendo de que la cubierta del faldón está cubierta completamente por módulos fotovoltaicos (producción máxima posible), se considera que se empleará un sistema de balance neto con la red.

La producción fotovoltaica anual en el primer año es de 802.573 kWh y, que debido a la degradación de los paneles, dicha producción disminuye un 1% anual.

La inversión inicial requerida asciende a 770.504 €.

Los costes de mantenimiento y otros costes anuales son de 8.250 € en el primer año.

Se han calculado los precios de venta a la red y de compra de la red en el primer año para poder amortizar la instalación en 5, 10, 15 y 20 años, suponiendo en todos los casos que el precio de compra de la red en el primer año es igual al precio de venta. Además se compara con una instalación fotovoltaica de referencia, de similares características, cuyo precio de venta a la red y de compra a la red sea de 0,1790 €/kWh.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1193 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 20 años, con un VAN de 231 € y un beneficio en el horizonte de 254 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1336 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 15 años, con un VAN de 94.194 € y un beneficio en el horizonte de 103.613 €.

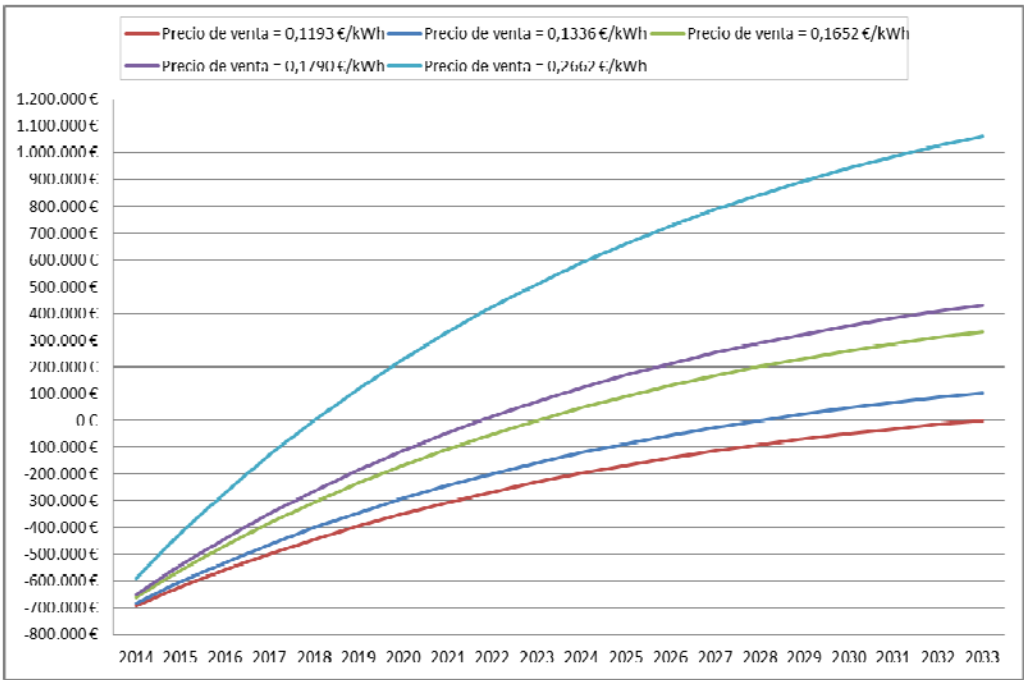
Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1652 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 10 años, con un VAN de 301.831 € y un beneficio en el horizonte de 332.014 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1790 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 9 años, con un VAN de 392.508 € y un beneficio en el horizonte de 431.759 €.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,2662 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 5 años, con un VAN de 965.482 € y un beneficio en el horizonte de 1.062.030 €.

En la Figura 4 se presenta la evolución del beneficio acumulado, obtenido a partir del precio de venta en el primer año para amortizar la instalación en los diferentes periodos establecidos y a partir del precio correspondiente para la instalación de referencia.

Figura 4: Estudio económico de viabilidad con precio de venta a la red para amortizar en distintos periodos



En la Tabla 4 se presentan los resultados económicos, a modo de resumen, obtenidos a partir de los precios de venta en el primer año para los que la instalación se amortizaría en los periodos establecidos y los correspondientes a la instalación de referencia.

Tabla 4: Resultados económicos para la Alternativa 2

Tiempo de amortización (años)	Precio de venta en el primer año (€/kWh)	VAN (€)	Beneficio en el horizonte (€)
5	0,2662	965.482	1.062.030
9	0,1790	392.508	431.759
10	0,1652	301.831	332.014
15	0,1336	94.194	103.613
20	0,1193	231	254

4.3 Alternativa 3: Balance neto, considerando producción mínima

En esta alternativa, partiendo de tener el mínimo número de módulos fotovoltaicos que nos aseguren poder cubrir el consumo eléctrico anual del pabellón (producción mínima), se considera que se empleará un sistema de balance neto con la red.

La producción fotovoltaica anual en el primer año es de 114.912 kWh y, que debido a la degradación de los paneles, dicha producción disminuye un 1% anual.

La inversión inicial requerida asciende a 97.927 €.

Los costes de mantenimiento y otros costes anuales son de 850 € en el primer año.

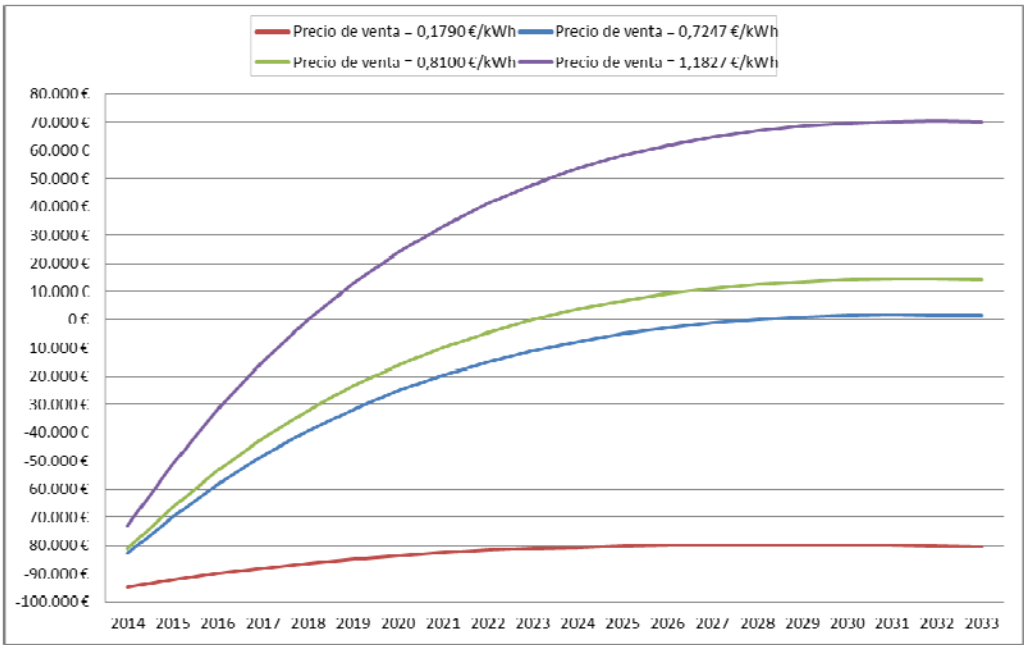
Se han calculado los precios de venta a la red y de compra de la red en el primer año para poder amortizar la instalación en 5, 10, 15 y 20 años, suponiendo en todos los casos que el precio de compra de la red en el primer año es igual al precio de venta. Además se compara

con una instalación fotovoltaica de referencia, de similares características, cuyo precio de venta a la red y de compra a la red sea de 0,1790 €/kWh.

Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,1790 €/kWh, no se logra amortizar la instalación en 20 años, y se obtienen un VAN de -73.173 € y un beneficio en el horizonte de -80.490 €. Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,7247 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 5 años, con un VAN de 63.782 € y un beneficio en el horizonte de 70.160 €. Con un precio de venta a la red en el primer año de 0,8100 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 10 años, con un VAN de 12.927 € y un beneficio en el horizonte de 14.220 €. Con un precio de venta a la red en el primer año de 1,1827 €/kWh, se logra amortizar la instalación en 15 años, con un VAN de 1.288 € y un beneficio en el horizonte de 1.417 €.

En la Figura 5 se presenta la evolución del beneficio acumulado, obtenido a partir del precio de venta en el primer año para amortizar la instalación en los diferentes periodos establecidos y a partir del precio correspondiente para la instalación de referencia.

Figura 5: Estudio económico de viabilidad con precio de venta a la red para amortizar en distintos periodos



En la Tabla 5 se presentan los resultados económicos, a modo de resumen, obtenidos a partir de los precios de venta en el primer año para los que la instalación se amortizaría en los periodos establecidos y los correspondientes a la instalación de referencia.

Tabla 5: Resultados económicos para la Alternativa 3

Tiempo de amortización (años)	Precio de venta en el primer año (€/kWh)	VAN (€)	Beneficio en el horizonte (€)
15	1,1827	1.288	1.417
10	0,8100	12.927	14.220
5	0,7247	63.782	70.160
-	0,1790	-73.173	-80.490

5. Resultados

La solución clásica para el pabellón polideportivo consiste en que toda la energía eléctrica demandada es comprada a la red y no existe ningún sistema de producción eléctrica. De esta forma, se obtiene un VAN de -183.169 € y un gasto acumulado en un horizonte de 20 años de 201.486 €.

Para dicha solución, se han considerado unos costes de mantenimiento en el primer año de 1.500 €, un precio de compra de la red de 0,1790 €/kWh en el primer año y se han mantenido una tasa de incremento de gastos del 2,5%.

Comparando la primera alternativa con la solución clásica se observa que la primera alternativa sale rentable cuando el precio de venta en el primer año se encuentra entre 0,1512 €/kWh y 0,1790 €/kWh. Si esta comparación la realizamos con la segunda alternativa y la solución clásica se observa que la segunda alternativa sale rentable cuando el precio de venta en el primer año es igual o superior a 0,1472 €/kWh.

Comparando la tercera alternativa con la solución clásica se observa que nunca es viable, económicamente hablando.

6. Conclusiones

Además de evaluar el ahorro acumulado se ha estudiado cómo afecta el precio de venta de la energía producida a la red a la amortización de la instalación y su viabilidad.

También se ha comprobado la necesidad de una relación adecuada de precio de compra a la red y de precio de venta para no sólo garantizar la viabilidad económica de la actuación, sino también la sostenibilidad medioambiental, que deben ser compatibles para garantizar el cumplimiento de la política energética de la Unión Europea.

En general, la influencia de los precios de compra y venta de la energía eléctrica es altísima, independientemente de que haya autoconsumo.

La modulación de la instalación es un factor determinante en la operativa de las instalaciones, así como de los resultados económicos de las mismas.

Una vez más, la fase de diseño es crítica para asegurar la viabilidad económica. Si se ajusta la producción al consumo la viabilidad económica de las instalaciones, en general, es siempre negativa.

Hay un factor que será determinante, cual es un escenario de emisiones tasadas en electricidad de las toneladas de CO_2 evitado, lo que aportaría nuevas ventajas futuras. Seguramente este escenario podrá darse en el futuro cuando se desarrolle una legislación más coherente con los objetivos perseguidos en Europa para este tipo de instalaciones.

Referencias

ASIF/UNEF (Asociación de la Industria Fotovoltaica/Unión Española Fotovoltaica).La Energía fotovoltaica conquista el mercado. Informe anual 2014. JOMAGAR. Madrid, 2015. También en: www.unef.es.

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. PROGENSA. ISBN: 978-84-95693-62-4. Madrid, 2011.

05-023

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR OPTIMIZATION AND INTEGRATION OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY IN AGRICULTURAL AREAS WITH ENERGY DEFICIENCY AND WATER SCARCITY

Rubio Aliaga, Álvaro; García-Cascales, M. Socorro; Molina García, Angel; Sánchez-Lozano, Juan Miguel
Universidad Politécnica de Cartagena

The current situation of agriculture in Spain presents serious energy difficulties due to the high costs of fossil fuels required by agricultural production and for irrigation pumping. Moreover, maintenance costs and water scarcity provide additional drawbacks, characteristic of the Mediterranean Climate. New proposals are therefore necessary for sustainable rural development, with the key being the optimization of both water and energy resources. Geographic Information Systems (GIS) are tools widely used in the analysis of meteorological data (solar irradiation and temperature), physical data (topography and water depth) and technical data (solar potential). Their potential is mainly focused on reducing energy consumption and optimizing water resources. Nowadays, the interest in reducing emissions has led to the incorporation of renewable energy resources, offering an alternative application field for GIS tools. In this new scenario, this paper discusses an example of decision-making based on GIS for the optimal layout of photovoltaic solar installations in rural areas.

Keywords: *Renewable Energy Source (RES); Resource optimization, Energy Efficiency (EE); Sustainable Rural Development; Geographic Information Systems (GIS)*

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA OPTIMIZACIÓN E INTEGRACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA EN ZONAS AGRÍCOLAS CON DIFICULTADES ENERGÉTICAS E HÍDRICAS

La situación actual de la agricultura en España presenta serias dificultades energéticas debido a los altos costes de los combustibles fósiles necesarios para las labores de producción agrícola y para el riego por bombeo, añadiendo a esto los costes de mantenimiento y la escasez de agua propia del clima mediterráneo. Se hace pues necesaria, la propuesta de una nueva forma de desarrollo rural sostenible donde la clave sea la optimización de los recursos tanto hídricos como energéticos. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas ampliamente utilizadas en el análisis de datos tanto meteorológicos del área de estudio (irradiación solar y temperatura), como físicos (relieve y profundidad del agua), y técnicos (potencial solar). Su potencial se centra en la reducción del consumo energético y la optimización de los recursos hídricos. En la actualidad, el interés en la reducción de emisiones ha supuesto la incorporación de las EERR, ofreciendo un nuevo campo de aplicación a las herramientas SIG. En este nuevo escenario, este artículo presenta un ejemplo de toma de decisiones basada en SIG para obtener la mejor disposición de instalaciones solares fotovoltaicas en el desarrollo rural.

Palabras clave: *Energías Renovables (EERR); Optimización de recursos, Eficiencia Energética (EE); Desarrollo rural sostenible; Sistemas de Información Geográfica (SIG)*

Correspondencia: Mª del Socorro García-Cascales socorro.garcia@upct.es

Agradecimientos: Me gustaría agradecer que este artículo sea una realidad y haya sido financiado por el Programa EU Marenostrum-Erasmus Mundus con referencia (204195-EM-1-2011-1-ES-ERA MUNDUS-EMA21) con fondos FEDER por la DGICYT mediante el proyecto (TIN2011-27696-C02-01, TIN2014-55024-P) y por La Junta de Andalucía (P11-TIC-8001), respectivamente. Los autores también agradecen las aportaciones de Ángel Bernao un Ingeniero Agrícola, conocedor de la realidad de la agricultura manchega.

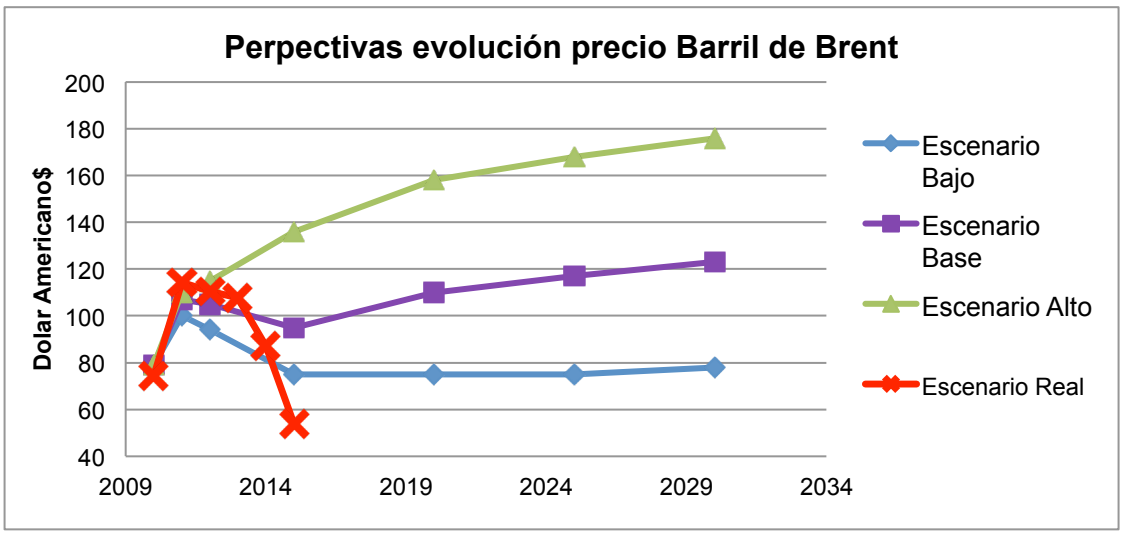
1. Introducción

Ante la notoria crisis energética y a consecuencia de un modelo energético globalizado, subyacen otras crisis asociadas a la subida de precios de los carburantes, como la problemática de la energía en la agricultura. Este problema es más complejo de lo que a priori cabe esperar y se hace notar con más virulencia en zonas áridas, allá donde existe un problema evidente de escasez hídrica y es necesario bombearla del subsuelo. Concretamente para este artículo, se trata de un área asentada sobre un acuífero que se ha declarado sobreexplotado. La agricultura de regadío que se practica aquí está en riesgo a causa de años de extracciones insostenibles, formas de riego ineficientes y permisividad a cultivos de altas necesidades hídricas, las cuales han ido minando las oportunidades de dicha zona agrícola. Esta necesidad de bombeo de agua con grupos electrógenos diesel consume la economía del agricultor proporcionándole cada día un menor margen de beneficio.

Para explicar este problema se hace necesario atender primeramente la demanda energética mundial, la cual crece a un ritmo del 5% en 2010 y previsiblemente lo hará hasta un tercio más hasta 2035 según la IEA (Agencia Internacional de la Energía).

Esto es debido a que nuevos países en desarrollo y densamente poblados, como China o India intentan acceder a la electricidad. Lo cual acelera la demanda de crudo, su agotamiento y a la vez eleva su coste. Así para el año 2035 la IEA preveía que los combustibles fósiles, aunque continúen teniendo un papel importante en su participación global, disminuirán ligeramente su uso. Además dibujaba varios escenarios para las perspectivas de comportamiento del barril de Brent, como se aprecia en la Figura 1. Esas subidas generarán a su vez subidas en otros ámbitos, como son en la electricidad en el transporte, en los alimentos o en la industria.

Figura 1: Perspectivas evolución del precio del barril Brent



Nota: Gráfica a la que se ha añadido la curva real del precio del Barril Brent hasta Marzo de 2015.

Fuente: Boston ConsoultingGroup, "Evolución tecnológica y prospectiva de costes por tecnologías de Energías Renovables a 2020-2030".

Aunque a día de hoy parece que el petróleo ha dado un respiro bajando sus precios, analistas económicos aseguran que una mezcla de factores ha propiciado esta situación, como afirma A. Gary Shilling de Bloomberg View en el artículo *"Get Ready for $10 Oil"*. Entre estos factores, está la crisis económica que ha reducido la demanda, estrategias ofensivas geopolíticas de países productores, y un aumento de la oferta, en parte, hipotecando las reservas de crudo del futuro. Otros van más allá, profetizando un repentino efecto rebote del precio, la tendencia a la baja terminará posiblemente en el segundo semestre del 2015, según la AIE.

Pero aparece otro protagonista en esta situación actual, el silicio. El precio del silicio solar y por ende el de los módulos solares va en descenso progresivo debido principalmente a que la industria ha crecido debido a la alta demanda de módulos, así como la competitividad entre fabricantes. También los procesos industriales en la obtención de silicio y en la eficiencia de su producción han mejorado sustancialmente. Lo que pone de manifiesto la competitividad de la energía solar, augurando una necesidad de apostar por ella pudiendo competir por precio y seguridad de suministro con los equipos diesel.

De esta forma, se hace necesario estudiar el potencial de conversión de sistemas de riego con fuentes fósiles a sistemas soportados por energía solar, valorando la viabilidad de su funcionamiento. Esto permitiría alcanzar un desarrollo sostenible y respetuoso con los recursos naturales, haciendo necesario desarrollar nuevos modelos viables para el cambio energético capaces de generar un beneficio medioambiental y socioeconómico, ya sea a nivel local como a otras escalas superiores.

El objetivo principal de este artículo está en el estudio de la zona agrícola concreta de La Mancha, haciendo hincapié en su actividad agrícola, en su acuífero, en el grado de sobreexplotación de éste y la situación socioeconómica de la agricultura de dicha zona. Usando para ello un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

2. Problemática hídrica y energética de la Agricultura Manchega

La región de estudio, La Mancha, es una extensa llanura asentada sobre un acuífero. Una cuenca sedimentaria formada por la orogenia alpina y rellenada con sedimentos detríticos en la base, cubiertos por mantos aluviales y "rellenos continentales del Mioceno y Plioceno" (García Rodríguez, 1996), en el que predominan las calizas responsables del sistema kárstico.

El área manchega es declarada según la clasificación climatológica Köppen-Geiger como Bsk o Semiárido frio, viene determinada por un clima mediterráneo continentalizado asociado a veranos secos y calurosos llegando a los 43ºC, con elevada insolación. Con una temperatura media anual que "oscilan entre los 14,1ºC y 15,3ºC" (Pérez González, 1998), en la que los inviernos son fríos a menudo por debajo de 0ºC y con un periodo de heladas. Quedando las estaciones de la primavera y el otoño suaves y húmedos. Sus escasas precipitaciones (300-500mm) y una evaporación muy elevada son reflejo evidente de la aridez del clima manchego como atestigua el Índice Martone, con valores entre 10 y 20, confirmando un estatus semiárido.

La agricultura mediterránea (olivo, cereal y vid) ha jugado aquí el papel de sustento de culturas autóctonas, como atestiguan algunas construcciones como acequias, azudes, molinos, etc. Ahora se debe afrontar una serie de problemas de cara al futuro. Por un lado el cambio climático augura menos precipitaciones, un aumento de la temperatura y más sequías. Por otro lado, la pérdida de una agricultura tradicional más sostenible ha traído consigo el abandono de las pequeñas parcelas y la despoblación de amplias zonas rurales.

En general en España, como en esta zona, hay un acusado descenso de la población activa agraria, pero mientras que a nivel nacional la participación de la agricultura en el PIB es muy

baja frente a otros sectores, en la zona de estudio el sector agrícola tiene mucho peso en la economía local y, en mayor medida, es su sustento. De ello dependen los 486296 habitantes que viven sobre el Acuífero 23, con ciudades importantes como Ciudad Real, Tomelloso, Villarrobledo, Alcázar de San Juan, Valdepeñas o Manzanares. La despoblación comienza a ser un problema, habiendo un claro decremento entre 2013-2014.

2.1 Caso de Estudio

En la zona de estudio (el Acuífero 23 con 5500 km^2) el regadío es una mejora esencial en la producción agrícola. La Mancha ofrece la mejor muestra de las vastas llanuras de secano que se han ido poniendo en regadío durante el último siglo ya sea por embalses construidos, por medio de canales o desecando las riberas y zonas pantanosas, o por la explotación hídrica de los acuíferos. Así comenzó a usarse el agua del Acuífero 23 debido a una gran inversión en tecnología de bombeo. Durante los últimos 40 años la modernización del campo y la alta producción que aportaban los grandes regadíos de agua de pozo hizo que las pequeñas explotaciones tradicionales no pudieran seguir adelante, compitiendo (económica y productivamente) con las grandes parcelas recientemente puestas en regadío, que iban en aumento propiciando de esta forma una gran presión hídrica sobre el Acuífero 23.

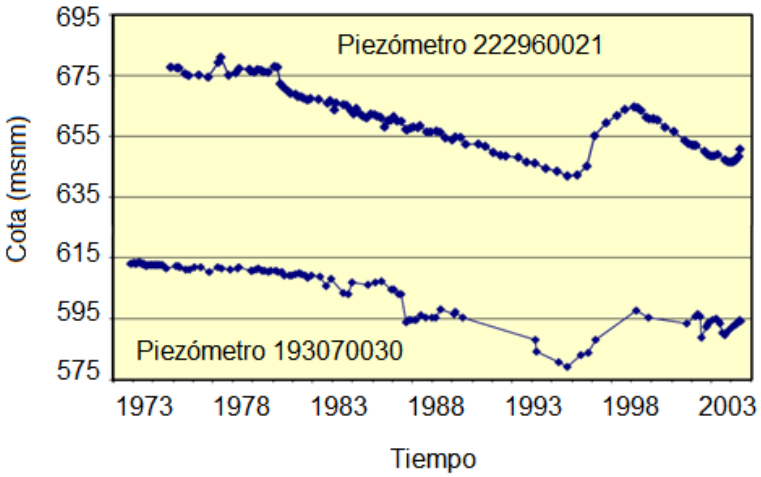
Debido a años y años de excesivos cultivos con elevada demanda hídrica y unas formas de riego ineficientes e incoherentes con las característica hidrológicas de la zona, extracciones insostenibles, unido a una deficiente formación medioambiental de los agricultores y una nula falta de control de los responsables para que no se produjeran sobrexplotaciones, ha propiciado que el nivel freático haya bajado de forma drástica. “De 1988 a 1995, que engloba un periodo de sequía y los valores máximos de explotación, con extracciones en torno a 600hm^3/año, los descensos se acentúan llegando a un valor medio de 2,3 m/año” (IGME, 2004). A día de hoy existen aún luchas por el acceso al agua, creando problemas para conciliar la agricultura con el medioambiente. (Figura 2)

Hoy en La Mancha se ha tomado conciencia que recursos naturales (y el acuífero) no son inagotables. También que existe la necesidad de regularlo y de tomar medidas en la gestión del agua, modernizando las formas de regadío por goteo y por aspersión, ya que la demanda y eficiencia del uso del agua repercuten inevitablemente en la vida del agricultor.

La bajada del nivel freático es un problema difícil de soportar por el agricultor, ya que obliga a tomar una parte importante de los beneficios de su producción en costear el combustible para el bombeo del agua necesaria si no quiere echar a perder su tierra y su cosecha. Ello provoca una reducción del margen de beneficio del agricultor que solo puede aumentar del precio de los productos a riesgo de perder competencia con productos más baratos provenientes de países en desarrollo, que de hecho es lo que ocurre en muchas ocasiones. O algunas veces abandonar el cultivo o la parcela, que aunque perfectamente apta para el cultivo de secano, la producción genera tan pocos beneficios que imposibilita subsistir de ella. Así, las pequeñas parcelas de 2-6 hectáreas con un pozo van desapareciendo en tanto que no es rentable mantener el pozo, en beneficio de agrupaciones particulares mayores de 20 o más hectáreas.

Ello obliga al Gobierno de España a subvencionar el carburante de uso agrícola necesario para que al menos pueda mantenerse la agricultura y con ello la vida del agricultor. Según el artículo 52, de la Ley 38/1992 de Impuestos Especiales reconoce el derecho a la devolución parcial de las cuotas del Impuesto sobre Hidrocarburos a los agricultores y ganaderos.

Figura 2: Ejemplo del descenso del nivel freático del Acuífero 23 en dos piezómetros.



Nota: Se observa una rápida recuperación entre 1997-2000, debido principalmente a un periodo húmedo y a algunas restricciones impuestas en las extracciones derivadas de su sobreexplotación.

Fuente: Instituto Geológico y Minero de España IGME.

Una subida de los precios energéticos en el futuro pone en una gravísima situación a aquellos sectores que dependen del petróleo, en este caso la agricultura. Lo cual puede generar un abandono masivo de tierras en las cuales no sea económicamente viable su riego por bombeo. Por lo tanto, muestra la clara evidencia de cómo el problema energético emerge finalmente, condicionando la viabilidad económica de muchos cultivos y zonas agrícolas, y necesitando encontrar una solución a corto plazo.

De esta forma, y atendiendo a la integración paulatina de recursos renovables y propios de cada zona, se hace necesario analizar el recurso solar como una buena herramienta para mejorar esta situación y estudiar la potencial conversión de sistemas de riego con fuentes fósiles a sistemas alimentados con energía solar, valorando su viabilidad.

3. Metodología

Los SIG (aparecidos en los últimos 20 años) son herramientas constituidas por bases de datos gráficos y alfanuméricos con funciones de cartografía digital. Esto es, operan a la vez con dos tipos de información, ubicación espacial y temática, y deben ser capaz de integrar, almacenar, editar, analizar y compartir los datos, además de presentar los resultados obtenidos. Por tanto los SIG son herramientas de consulta, análisis, visualización y edición geográfica que tienen como objetivo proporcionar las soluciones a problemas y retos planteados en el territorio, permitiendo crear modelos de evaluación, realizar procesos de simulación, planificar y analizar la realidad espacial con la intención de gestionar los modelos propuestos para una óptima actuación sobre el territorio, y valorar las consecuencias de una acción minimizando sus riesgos. Permitiendo, al fin, “una actualización continua de la información, lo que hace de un SIG un sistema dinámico” (Basildo, 1998). Con el SIG lo que se quiere en este caso es determinar las parcelas agrícolas y su aplicabilidad al bombeo solar de la zona de estudio.

3.1 Proceso de aplicación del SIG al Caso de Estudio determinación de las parcelas agrícolas y su aplicabilidad de bombeo solar.

Se ha seguido una metodología en la que se buscaba aislar las parcelas de uso agrícola sobre el acuífero exclusivamente, tal y como se aprecia en la figura 3. Así, se tienen varios bloques de mapas de la zona de estudio, por un lado unos mapas con información cuya utilidad es solamente para describir, enmarcar y localizar la zona de estudio y son: a) Capa de Administraciones y Términos Municipales, b) Capa de Ortofoto, y c) Capa de Relieve.

Por otro lado, las capas de operación a su vez se dividen en:

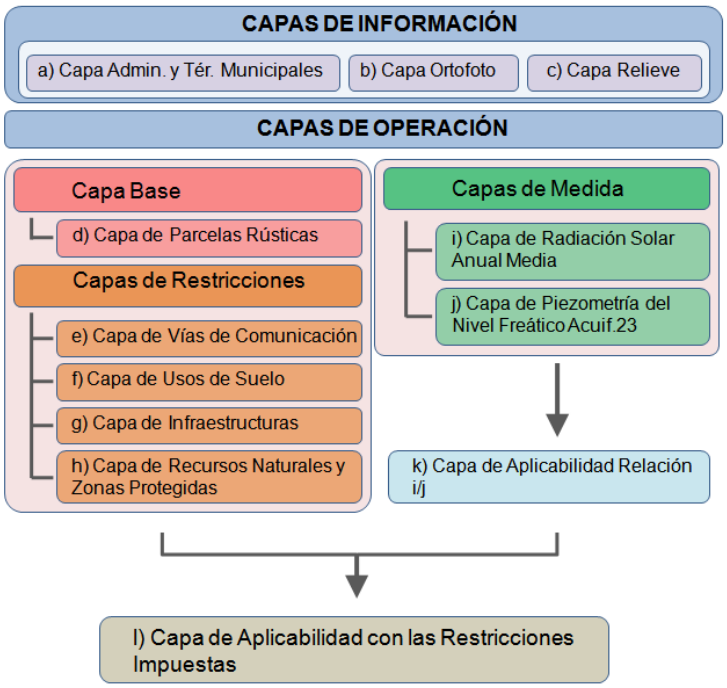
- Subbloque de capa base de parcelas rústicas que es sobre la que se trabaja.

- Subbloque de restricciones, con las cuales se extraen elementos de la capa base que no tienen un uso agrícola.

- Subbloque de capas de medida, entre las que están el mapa de radiación solar y el mapa de profundidad de acuífero.

Se tomó como base *d) Capa de Parcelas Rústicas* sobre el acuífero 23, abriendo el archivo en el SIG utilizado. Sobre este mapa se realizó una intensa labor de precisión, eliminando los datos que aparecen en las siguientes capas para obtener las parcelas en las que no se desarrolla otra actividad que no sea la estrictamente ligada a la producción de alimentos y productos agrícolas de la zona (Olivar, viñedo, cereal, hortalizas, etc.).

Figura 3: Proceso de Aplicación del SIG al Caso de Estudio



Fuente: Elaboración Propia.

Etapa 1. Se cargaron las capas de restricciones y se extrajeron con la herramienta "diferencia" o desde la tabla de atributos las parcelas con una codificación referente a alguna de las restricciones. Si es una línea lo que se va a sustraer, previamente hubo que generar con la herramienta buffer un polígono.

Etapa 2. Se realizó la diferencia con *e) Capa de Vías de Comunicación* a la *d) Capa de Base de Parcelas Rústicas*.

Etapa 3. Tras ello la diferencia con *f) Capa de Usos de Suelo* a la Capa Resultante en la etapa anterior.

Etapa 4. Más tarde la diferencia de *g) Capa de Infraestructuras* a la Capa Resultante en la etapa 3.

Etapa 5. Posteriormente la diferencia con la *h) Capa de Recursos Naturales y Zonas Protegidas* a la Capa Resultante de la etapa 4, obteniendo así una capa con las parcelas rusticas en las que solamente existe una actividad agrícola.

Etapa 6. Se plasmaron los datos de las estaciones meteorológicas sobre *i) Capa de Radiación Solar,* conformando un mapa de radiación solar de la zona.

Etapa 7. Lo mismo se hizo con los datos piezométricos, se introdujeron en *j) Capa de Piezometría del Nivel Freático del Acuífero 23* para dar lugar a un mapa de profundidad.

Etapa 8. Se realiza *k) Capa de Relación Radiación Solar/Profundidad,* obteniendo así la capa de aplicabilidad en la totalidad del Acuífero 23 (a esta capa todavía no se le han impuesto las restricciones anteriores).

Etapa 9. Finalmente, se aplicó la capa de aplicabilidad a la capa de parcelas rusticas, a las parcelas que quedaban posteriormente de imponer las restricciones; obteniendo *l) Capa de Aplicabilidad Con Las Restricciones Impuestas*, una capa con las parcelas rústicas que se asientan sobre el acuífero y que son susceptibles de regarse con agua subterránea y, por ende, de tener producción agrícola con las restricciones impuestas por el estudio y con el grado de aplicabilidad para bombeo solar.

3.2 Capas utilizadas

En este paso se ha buscado delimitar la zona de estudio a la zona del Acuífero 23 de Castilla La Mancha. Los 65 municipios que tienen parte de su término municipal sobre el Acuífero 23 y ubicados en las confluencias de las provincias de Toledo, Cuenca, Albacete y Ciudad Real, siendo la gran parte de esta última provincia.

Una vez que se conoce la zona de estudio se pasa a estudiar y describir la zona en todas sus características que sean de utilidad para la investigación. Para ello, se detallan las capas que señalan algunas restricciones o aportan información u orientación.

a) Capas de Administraciones y Términos Municipales. Como capa informativa, como referencia nacional y regional para que se pueda ubicar de una manera fácil la zona de estudio y se valoren las administraciones en las que recae la conservación de la agricultura en dicha zona. Ver Figura 6 en Anexo A.

b) Capa Ortofoto. Es necesaria esta capa para una mayor descripción del entorno y entendimiento de lo que a nivel del suelo ocurre, aunque no aporte información específica vinculante con el resultado final. Ver Figura 7 en Anexo A.

c) Capa de Relieve. Con la cual se pretende proporcionar la información referente a la orografía y la altitud del terreno del área de estudio, usando las curvas de nivel asociadas, posibilitando ver con certeza la orografía llana de esta zona cercada por pequeñas elevaciones. Ver Figura 8 en Anexo A.

d) Capa Parcelas. Para profundizar más en detalle se hizo necesaria la descarga a través de la Sede Electrónica del Catastro de los mapas de parcelas rústicas de todos y cada uno de los municipios asentados sobre el Acuífero 23 y que a su vez riegan sus campos de él. Ver Figura 9 en Anexo A.

e) Capa de Vías de Comunicación. En esta capa se muestran las principales arterias destinadas al transporte, las autovías y autopistas, junto a carreteras nacionales y autonómicas y otras de menor importancia como las pistas entre localidades. A su vez se incluyen también pistas de aterrizaje y los medios de transporte por ferrocarril, como la línea de alta velocidad AVE Madrid-Sevilla a su paso por Ciudad Real o el tren convencional. Ver Figura 10 en Anexo A.

f) Capa de Usos de Suelo. Aquí se recogen todos los polígonos que se refieren a construcciones y explotaciones, entre las cuales se pueden encontrar: suelo urbano, construcciones diseminadas, como chalets o construcciones agrícolas. También en esta capa se puede encontrar las zonas de uso industrial. Otro tipo de parcelas se pueden encontrar en esta capa, como son las canteras o minas a cielo abierto. Ver Figura 11 en Anexo A.

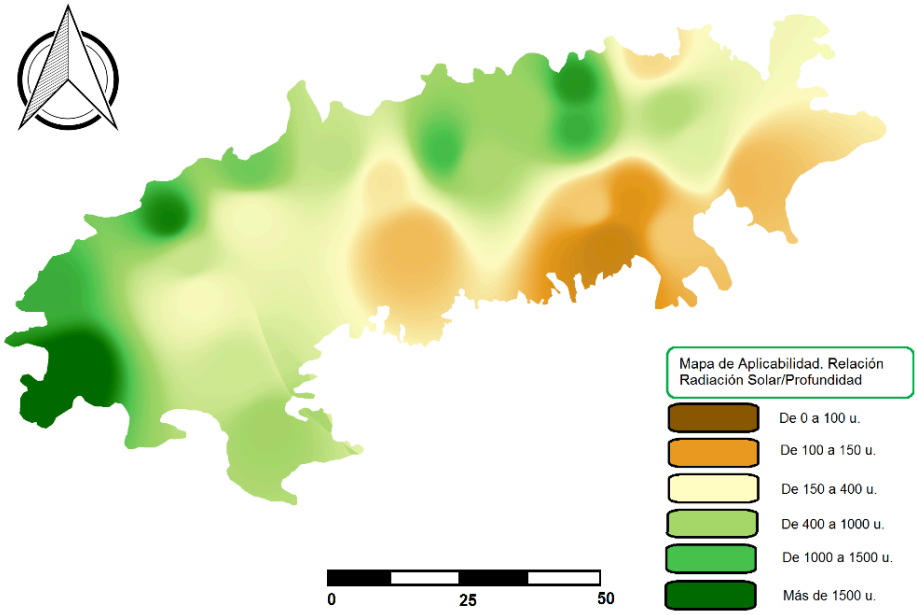
g) Capa de Infraestructuras. En dicha capa se indican las infraestructuras de tipo eléctrico, como son las líneas eléctricas y las instalaciones de generación eléctrica que están comprendidas dentro de la zona de estudio, en este caso, huertos solares o parques eólicos. También, se muestra indicado la distribución de las conducciones de combustibles. Ver Figura 12 en Anexo A.

h) Capa de Recursos Naturales y Zonas Protegidas. En esta capa se muestran los cauces de los ríos de la Cuenca del Guadiana (el Guadiana-Alto Guadiana) y sus afluentes (Záncara, Córcoles, Cigüela, Azuer), como también los encauzamientos realizados artificialmente (Canal del Gran Prior) y las zonas regables con aguas superficiales como la recientemente renovada Zona Regable del Estrecho de Peñarroya. Por otro lado, también muestra las lagunas y humedales entre los que hay que destacar Las Tablas de Daimiel que es una zona protegida. A éstas hay que añadir las que se forman entre Pedro Muñoz y Alcázar de San Juan producto del afloramiento de manantiales de agua, señalándola también como zonas de especial interés y protección. Ver Figura 13 en Anexo A.

i) Capa de Radiación Solar Anual Media. A través de los datos de las 9 estaciones en el área de estudio que posee del SiaR de Castilla La Mancha, un organismo agrícola que usa dichos datos para valorar y asesorar a los agricultores en el riego y que cuenta con piranómetros especializados SKYE SP1110 (CAMPBELL), se ha realizado un análisis del recurso solar incidente en el área del acuífero. Con los datos anuales de cada una de las estaciones se ha elaborado un mapa de radiación solar detallado con un SIG, de la distribución de la radiación sobre la zona de estudio. Ver Figura 14 en Anexo A.

j) Capa de Piezométria del nivel freático del Acuífero 23. Se ha realizado una capa con un SIG del área del acuífero y además cuenta con la profundidad a la que se encuentra el acuífero en diferentes puntos de la zona de estudio gracias a la información recogida de 26 estaciones piezométricas que la Confederación Hidrográfica del Guadiana usa para hacer un seguimiento de dicha masa de agua y en colaboración con la Comunidad de Regantes del Acuífero 23. Dicho mapa no toma la referencia de la cota en metros sobre nivel del mar (msnm) del nivel freático del Acuífero, sino su profundidad desde la superficie. Ver Figura 15 en Anexo A.

Figura 4: Mapa de Aplicabilidad



Nota: Se observa la graduación de colores entre las zonas con mayor relación Radiación/Profundidad en verde y las que menos en marrón.

Fuente: Elaboración Propia.

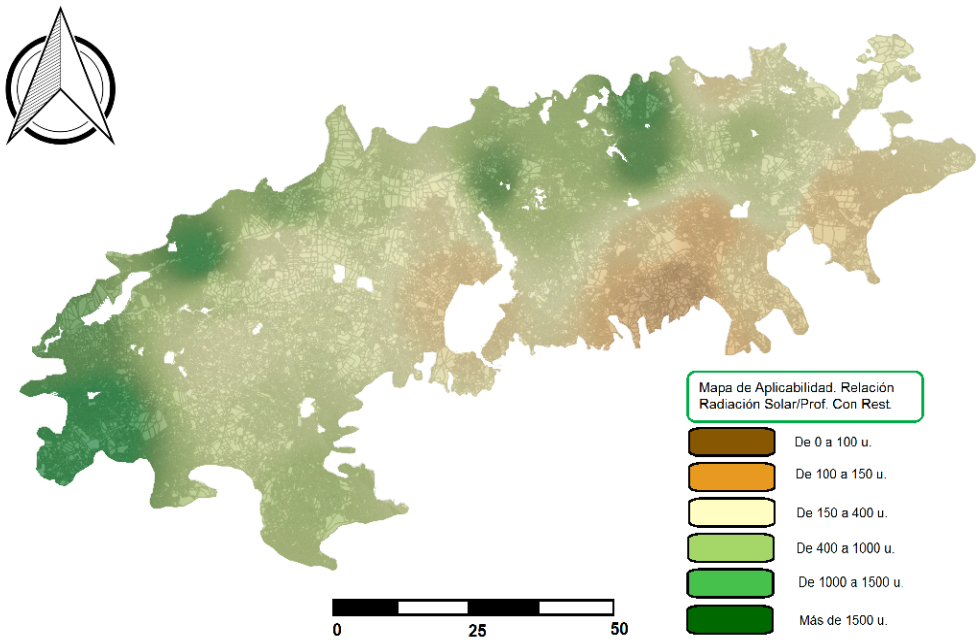
Cabe señalar la dificultad a la hora de contornear el acuífero, ya que es una masa de agua dinámica en la que influyen dos factores principalmente: la altura del nivel freático y los materiales geológicos que le sirven de continente, los cuales pueden ser impermeables como en el caso de los Montes de Toledo o por el contrario ser permeables y tener una muy difusa línea de delimitación. Asimismo, se han tomado varios mapas de delimitación del acuífero para realizarlo, tomar constancia de sus dimensiones y determinar cuál de ellos se ajusta más realmente al terreno.

4. Resultados

Por un lado los resultados proporcionan la Capa de Aplicabilidad, la cual muestra un índice de aplicabilidad asociado a la relación entre radiación solar incidente y cota del nivel freático (Ver Figura 4). Por otro lado la Capa de Aplicabilidad con las restricciones impuestas, que muestra la aplicabilidad de la energía solar a dicha zona en las parcelas que quedan disponibles para un uso estrictamente agrícola (Ver Figura 5).

Es evidente que los resultados dan una amplia zona de color verde que sirve para mostrar el potencial que tiene la energía solar en dicha zona. Es importante señalar que esta capa final muestra el grado de aplicabilidad, o dicho de otro modo, la facilidad con que se obtiene el agua con bombeo solar. Como ya se ha dicho, esta última capa indica en qué lugares para el mismo uso (irrigación de un nº equivalente de hectáreas), la inversión sería mayor o menor. Teniendo en cuenta que rentable o viable económicamente pueden ser ambas zonas, tanto en el tono verde o como en el tono marrón, sólo será necesario más adelante compararlo con los gastos actuales de los agricultores en el bombeo con diesel.

Figura 5: Capa de Aplicabilidad con las restricciones Impuestas



Nota: Se observa con más evidencia cómo ya se han recortado poblaciones, zonas protegidas y zonas de irrigación con aguas superficiales.

Fuente: Elaboración Propia.

5. Conclusiones

Con el presente artículo se puede apreciar cómo la energía solar tiene un gran futuro en su integración en aplicaciones agrícolas. Concretamente, para las zonas que tienen dificultades con el precio de los combustibles fósiles dedicado al bombeo de agua del subsuelo, y más concretamente en el área de estudio del Acuífero 23 de Castilla La Mancha donde este estudio ha demostrado que otra forma de obtener agua para los cultivos es posible. También es un hito a la hora de modernizar, en base a programas SIG, la agricultura manchega que se abastece del Acuífero 23.

De acuerdo con los objetivos del artículo, el análisis se centra en la sustitución de fuentes de energía y la reorganización agrícola para hacer más eficiente el uso de la energía solar. A su vez pueden generarse otros beneficios asociados en temas tan importantes como empleo, seguridad en instalaciones agrícolas o eficiencia hídrica.

Como trabajo futuro, se propone valorar el grado de agrupación de parcelas a fin de crear instalaciones de riego con balsas donde puedan los agricultores regar de una forma automática, eficiente hídrica y energéticamente, y buscando además la sostenibilidad económica, social y medio ambiental que puede acarrear dicha reorganización agrícola.

Así pues, se muestra que las fuentes renovables aplicadas a la agricultura es un campo que, aunque lleva años de desarrollo, aún queda mucho camino por recorrer y aplicar, principalmente en la modernización y automatización de procesos agrícolas y en el cooperativismo agrícola en busca del beneficio común.

6. Referencias

Basildo Martín, R. M. & López Nieva, P. (1998). Aproximación bibliográfica a los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Ordenación del Territorio y los Recursos Naturales. Revistas Científicas Complutenses. Anales de Geografía de la Universidad Complutense nº 18: 319-335.

Bengoetxea, C.& Rebollo, F. (2006 Mayo). Energía Renovable y Desarrollo Sostenible. Revista DYNA Vol. LXXXI-4: 41-44.

Bernao Berruguete, A. (2002). El Sector Agrario de Tomelloso. Tomelloso España. Ediciones Soubriet. I.S.B.N.:84-95410-15-X

Confederación Hidrográfica del Guadiana CHG. (2013). Propuesta para la declaración de la masa de agua subterránea Mancha Occidental I en Riesgo de no alcanzar un buen estado cuantitativo y químico. Documentos para la Información Pública. Confederación Hidrográfica del Guadiana.

Confederación Hidrográfica del Guadiana CHG. (Enero 2008). Plan Especial Alto Guadiana.

Cruces de Abia, J.; Casado, M.; Llamas Madurga, M.R.; Hera Portillo, A.; Martínez Cortina, L. (1997). El Desarrollo sostenible de la cuenca Alta del río Guadiana: Aspectos hidrológicos. Revista de Obras Públicas nº 3362. pp. 7-18.

Cruces de Abia, J.; Hernández, J.M.; López Sanz, G; y Rosell, J. (1998). De la noria a la bomba: conflictos sociales y ambientales en la cuenca alta del río Guadiana. Colección Nueva Cultura.

Garcia Rodriguez, M. & Llamas Madurga, M. (1996). Características geológicas del borde Suroccidental de la Unidad Hidrogeológica 04.04 y su influencia sobre la hidrogeología de Las Tablas de Daimiel. Dept. de Geodinámica Fac. de CC Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. Geogaceta 20/[6].

Instituto Geológico y Minero de España, IGME. (2004, Julio). Evolución Piezométrica en la Unidad Hidrogeológica 04.04. Informe número 4. Pág. 11-15.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDAE. (2010). Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (PANER) 2011 – 2020. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.

Instituto Tecnológico Geominero de España (1989). Descripción del acuífero de La Mancha Occidental. Madrid.

Lamo de Espinosa, J. (2009). La crisis económica global y la crisis agraria española.Universidad Politécnica de Madrid. Colección Mediterráneo Económico, nº. 16,págs. 47-83.

Lara Coira, M. (2007 Diciembre). Escenario energético mundial. Energía DYNA Vol. 82, nº 9: 471-478.

López Sanz, G. (1993 Noviembre). El Acuífero 23 de la Mancha Occidental y el Acuífero 24 del Campo de Montiel: Funcionamiento, Gestión, Problemática y Alternativas. Universidad de Castilla-La Mancha. UCLM. Área de Economía Española e Internacional. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales (Albacete).

Mejías Moreno, M. & López Gutiérrez J. & Martínez Cortina L. (2012). Características hidrogeológicas y evolución piezométrica de la Mancha Occidental. Influencia del periodo húmedo 2009-2011. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

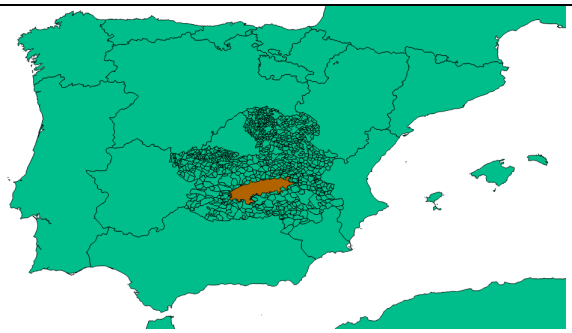
Naredo, J.M. & Campos, P. (1980). Los balances energéticos de la agricultura española. España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España.

Pérez González, M.E. & Sanz Donaire, J.J. (1998). Clima y microclima de La Mancha Húmeda. Revistas Científicas Complutenses. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, nº 8: 239-256.

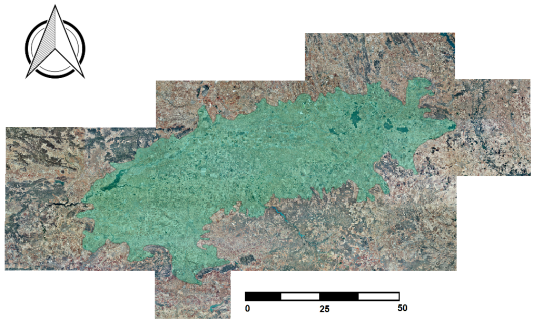
Sánchez-Lozano J. M. & García-Cascales M. S. & Cavas-Martínez F. & Lamata M.T. (2012, Julio). Base de datos mediante SIG para la búsqueda de ubicaciones óptimas de instalaciones de energías renovables. XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Valencia.

Anexo. A

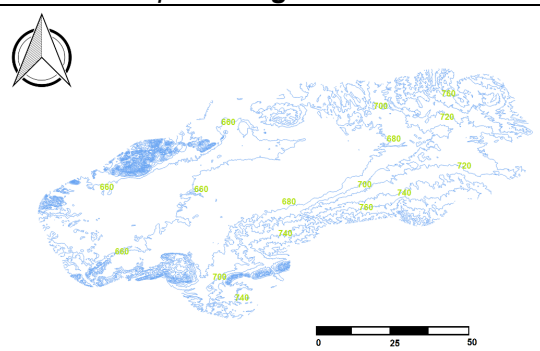
Capas Usadas en el Proceso de Caracterización de la Aplicabilidad de bombeo solar a la zona de estudio



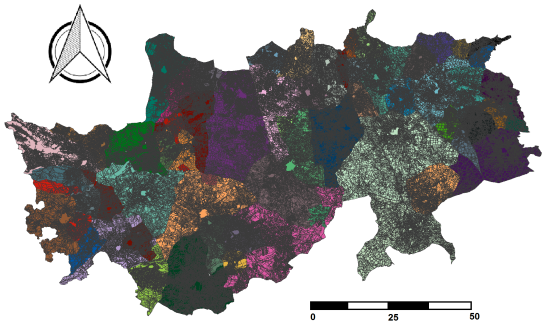
a) *Capa de Administraciones y Términos Municipales.* ***Figura 6.***



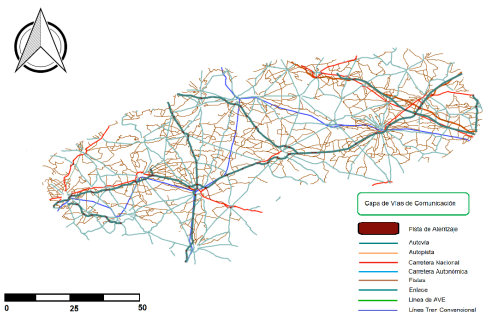
b) *Capa de Ortofoto.* ***Figura 7.***



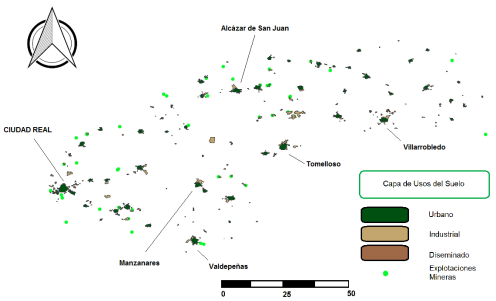
c) *Capa de Relieve.* ***Figura 8.***



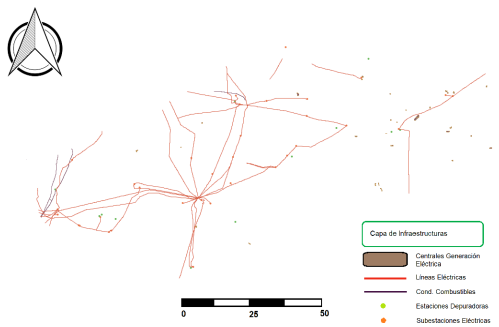
d) *Capa de Parcelas.* ***Figura 9.***



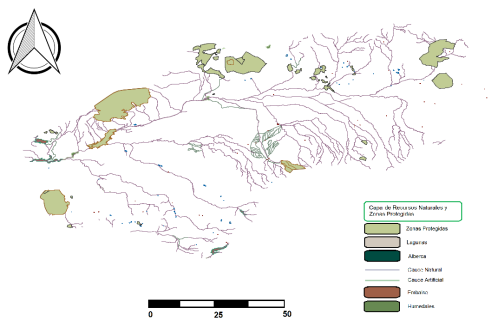
e) *Capa de Vías de Comunicación.* ***Figura 10.***



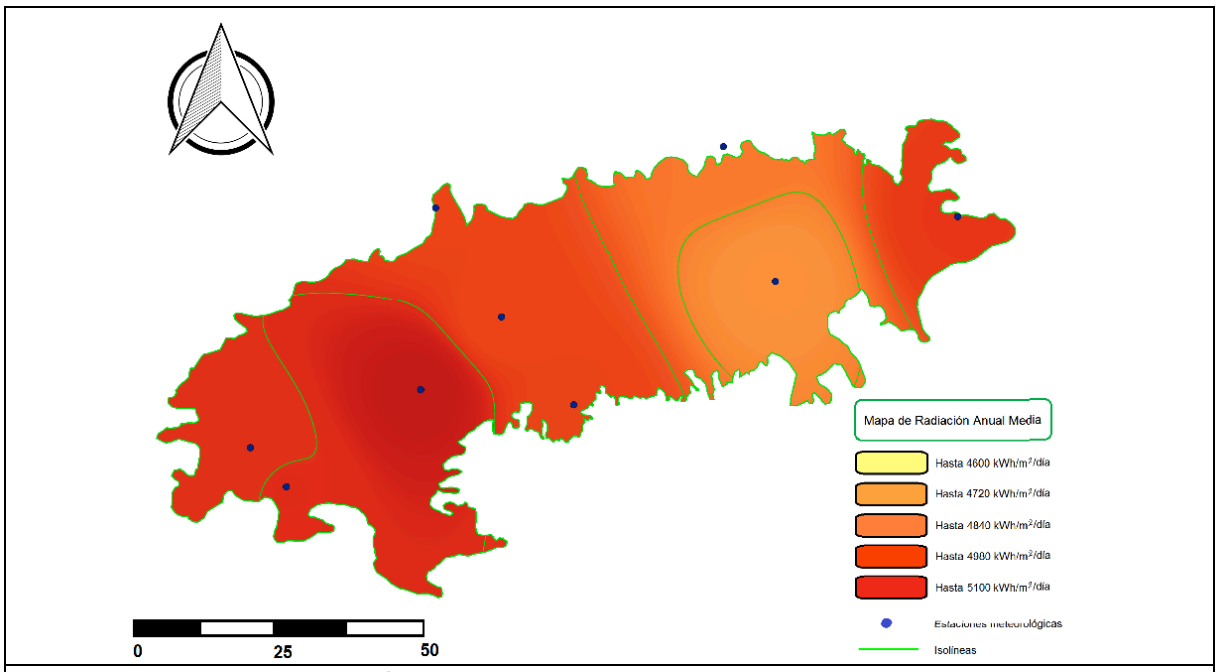
f) *Capa de Usos de Suelo.* ***Figura 11.***



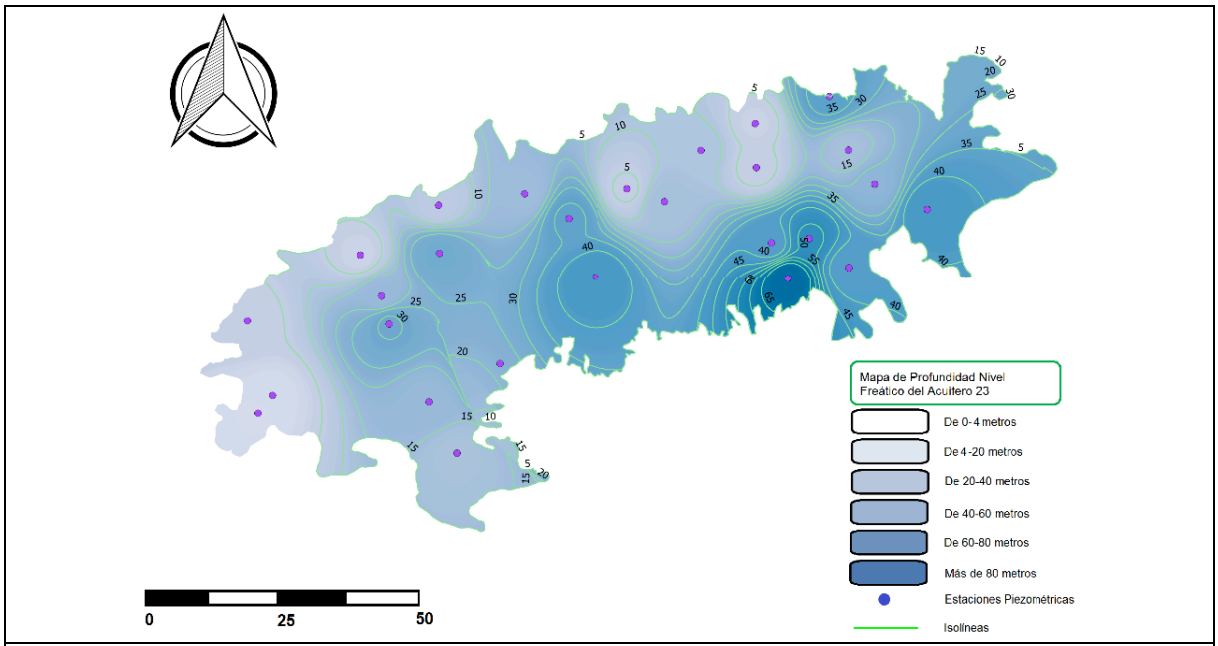
g) *Capa de Infraestructuras.* ***Figura 12.***



h) *Capa de Recursos Naturales y Zonas Protegidas.* ***Figura 13.***



i) Mapa de Radiación Solar Anual Media. ***Figura 14.***



j) Mapa de Piezometría del Nivel Freático del Acuífero 23. ***Figura15.***

05-024

DEVIATION OF POWER PRODUCTION IN A LOWER-TEMPERATURE SOLAR THERMAL POWER PLANT DUE TO USUAL SIMPLIFICATIONS ADOPTED IN DESIGN PARAMETERS

Garrido Padró, Jorge
Kalkener Energy Saving Solutions S.L.

Mandatory installation of lower-temperature solar thermal power plants in building projects should motivate an increasing accuracy during the design stage that should be proportional to its deployment. However, it is still common to find designers that, during the design phase, submit calculations to important simplifications that, however, undermine the real performance of the installation and thus undermine the interests of those consumers who paid the service as well. This paper summarizes the results of calculating the energy production of a solar thermal power plant using the same simulation software in two different scenarios, one in which part of its design parameters are simplified and a second scenario, identical to the previous one except for the aforementioned design parameters, which are not simplified. The difference between both outcomes evidences the need to improve design methods, using accurate and impartial simulation software, requiring stringent designers with their calculations, avoiding simplifications that distort the energy performance of the power plants and jeopardize the interests of both, project promoter and users.

Keywords: *Energy efficiency; Solar simulation software; Lower-temperature solar thermal power plant; Thermal energy production; Profitability of solar installations*

DESVIACIÓN EN LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA DEBIDA A SIMPLIFICACIONES ADOPTADAS EN SUS PARÁMETROS DE DISEÑO

La obligada presencia de instalaciones solares térmicas a baja temperatura en los proyectos de edificación debiera motivar un creciente rigor en su diseño, proporcional a su volumen de implantación. Sin embargo, es todavía habitual encontrar proyectistas que durante la fase de diseño someten los cálculos a una serie de simplificaciones que, sin embargo, perjudican el rendimiento real de la instalación y, por ende, los intereses de los consumidores a quienes presta servicio. La presente comunicación técnica resume los resultados de calcular la producción de energía de una instalación solar dada mediante un mismo software de simulación en dos escenarios diferentes, uno en el cual parte de sus parámetros de diseño han sido sometidos a simplificaciones y un segundo escenario, idéntico al anterior salvo en los mismos parámetros antes indicados, no simplificados. De la diferencia de ambos resultados se evidencia la necesidad de mejorar los métodos de diseño, usando software de simulación preciso e imparcial, exigiendo a los proyectistas más rigor en sus cálculos, evitando simplificaciones que falsean el comportamiento energético de la instalación y perjudican los intereses tanto del promotor de la instalación como de sus usuarios finales.

Palabras clave: *Eficiencia energética; Software de simulación solar; Instalaciones solares térmicas; Producción de energía térmica; Rentabilidad de instalaciones solares*

Correspondencia: Jorge Garrido Padró jorge.garrido@kalkener.com

Agradecimientos: Mi agradecimiento a todos los socios de Kalkener Energy Saving Solutions S.L. que siempre confiaron incondicionalmente en un proyecto difícil y arriesgado.

1. Introducción

La entrada en vigor el 29 de marzo de 2006 del Código Técnico de la Edificación (en adelante CTE) marcó una nueva etapa en el proceso de diseño y ejecución de los edificios de obra nueva, motivada por la mejora de la calidad de la edificación, de la protección de sus usuarios finales y del desarrollo sostenible. En este último ámbito, la exigencia básica HE4 del CTE regula la contribución mínima de energía de origen solar que debe ser generada en los edificios para satisfacer su demanda de agua caliente sanitaria y el Documento Básico HE4 del CTE establece reglas y procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía antes mencionado.

El CTE ha sido por lo tanto uno de los principales impulsores en España (ASIT, 2014) del desarrollo de las tecnologías asociadas a las instalaciones solares térmicas a baja temperatura (en adelante IST), pero las características particulares de estas instalaciones, que han de incluir un sistema de apoyo que proporcione hasta el 100% de la energía demandada en caso de ausencia de radiación, lo cual dificulta el diagnóstico ante un mal funcionamiento, unido al interés de promotores y constructores de ejecutar este tipo de instalaciones de la forma más rápida y barata posible, motivados únicamente por el cumplimiento de la legislación pero sin necesidad de acreditar *a posteriori* certificados que verifiquen su correcto funcionamiento, ha degenerado finalmente en un porcentaje altísimo de instalaciones mal diseñadas y peor ejecutadas (Terra.org, 2011).

2. Objetivo

En la fase de diseño, someter los cálculos de dimensionado de las IST a determinadas simplificaciones perjudican el rendimiento y la rentabilidad real de la instalación una vez ejecutada y, por ende, los intereses de los consumidores a quienes presta servicio. Sin embargo, el desconocimiento técnico, la consideración de los Documentos Básicos del CTE como dogmas, la dejadez profesional o la parquedad de costes eludiendo el pago de software imparcial y preciso, degenera en el uso habitual de un exceso simplificaciones durante el dimensionado de las IST. El objetivo del presente documento es mostrar, utilizando el software de simulación solar Kalkener, la producción de energía de una IST en dos escenarios diferentes: Uno en el cual parte de sus parámetros de diseño han sido sometidos a simplificaciones y un segundo escenario idéntico al anterior en el que dichas simplificaciones han sido sustituidos por cálculos más rigurosos. De la diferencia entre los resultados de ambos escenarios se evidencia la necesidad de mejorar el proceso de diseño debiéndose exigir a los proyectistas de las IST el uso de software de mayor precisión en sus cálculos, evitando simplificaciones que a la postre falsean el comportamiento energético de la instalación y perjudican los intereses tanto del promotor de la instalación como de sus usuarios finales.

3. Metodología

A continuación se describen todos los condicionantes y parámetros que caracterizan el funcionamiento de una IST en dos escenarios diferentes. Con el software disponible a través de https://kalkener.com se ejecuta un proceso de simulación determinista, dinámico y discreto en base a eventos horarios a lo largo de un ciclo anual, obteniéndose información detallada sobre el comportamiento energético de la IST en cada uno de los escenarios y

permitiendo así comparar y analizar los efectos asociados a los diferentes parámetros de cada escenario.

3.1. Características comunes

Se simula una IST configurada con acumulación solar centralizada, la cual se conecta a un sistema tradicional de producción de ACS ya existente con caldera y acumulación centralizadas. La única acometida de agua fría es conectada por lo tanto a un depósito denominado 'acumulador solar' donde es almacenada y precalentada por un intercambiador de placas hasta su entrega al sistema previo de ACS. Dicho intercambiador de placas está a su vez conectado al circuito hidráulico –circuito primario– de un campo de captadores solares planos, que es el elemento generador de energía. Conectada la IST al sistema de ACS, la caldera y su acumulador de ACS previos pasan a ser el sistema de apoyo de la IST. Los diferentes escenarios a comparar y analizar tienen además en común las siguientes características:

3.1.1. Condiciones del entorno

3.1.1.1. Localización

Coordenadas geográficas (notación decimal)	
Latitud:	38,34
Longitud:	-0,39
Localidad:	Alicante
Provincia:	Alicante
Altitud (msnm):	30,00

Tabla 1. Situación geográfica

Mes	Radiación horizontal H_h(Wh/m^{2}dia)	Temperatura Agua de red (ºC)	Temperatura ambiente día (ºC)
Ene	2.490,00	7,85	12,85
Feb	3.400,00	8,85	13,85
Mar	4.950,00	10,85	15,85
Abr	5.800,00	12,92	17,85
May	6.910,00	13,92	20,85
Jun	7.700,00	14,92	24,85
Jul	7.650,00	15,92	27,85
Ago	6.750,00	14,92	27,85
Sep	5.210,00	13,92	25,85
Oct	3.980,00	12,85	20,85
Nov	2.680,00	10,85	16,85
Dic	2.170,00	7,85	13,85

Tabla 2. Radiación solar y Temperaturas del entorno

*Los datos de radiación se han obtenido a través de Photovoltaic Geographical Information System - Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology, del Instituto de energía y Transporte de la Comisión Europea

3.1.1.2. Demanda de ACS a 60ºC

En el cálculo de la demanda energética de la IST se han adoptado el siguiente consumo medio diario anual de ACS a 60ºC, acorde al criterio del CTE:

Tipología de instalación:	Gimnasio
Usuarios consumidores:	350
Consumo (l/día y persona):	21,00
Consumo total (l/día):	7.350,00

Tabla 3. Demanda de ACS a 60ºC

3.1.1.3. Instalación de agua caliente sanitaria (ACS)

Previamente a la ejecución de la IST la edificación cuenta con una caldera asociada al sistema de producción de ACS la cual pasa a dar el apoyo energético necesario a la IST siempre que la energía disponible de origen solar no sea suficiente para atender la demanda de ACS de los usuarios. Sus características son:

Combustible:	Gas natural
Potencia (kW):	130,00
Rendimiento (%):	94%

Tabla 4. Características caldera ACS

El sistema de distribución de ACS es el mismo que el existente previamente a la conexión de la IST, siendo su rendimiento energético:

Rendimiento (%)	85,00 %

Tabla 5. Rendimiento sistema de distribución

3.1.1.4. Características de la cubierta

Desviación*:	0º
Pendiente:	25,00%

Tabla 6. Disposición espacial cubierta inclinada

*Angulo formado entre la dirección Sur y la cumbrera de la cubierta inclinada, tomando como valor positivo el sentido de las agujas del reloj desde una vista en planta (es decir, mirando hacia el suelo)

3.1.1.5. Perfil de sombras circundantes

En los alrededores del campo de captadores no se ha evidenciado la existencia de ningún obstáculo que genere sombras a lo largo del año.

3.1.2. Campo de captadores

3.1.2.1. Campo de captadores solares planos

Fabricante	Modelo
LUMELCO	ST-2500

Tabla 7. Modelo de captador solar

Ecuación de rendimiento cuadrática:

$$\mu = \eta_0 - a_1 \left(\frac{t_m - t_a}{G_\beta}\right) - a_2 \left(\frac{(t_m - t_a)^2}{G_\beta}\right)$$

Siendo:

Constantes	
η_0 (adimensional):	0,7671
a_1 (W/m^2 ºC) :	3,7479
a_2 (W/m^2 ºC^2):	0,0147

Variables	
t_m (ºC):	Temperatura media del fluido en el captador
t_a (ºC):	Temperatura ambiente
G_β (W/m^2):	Irradiancia sobre el plano del captador

Tabla 8. Ecuación cuadrática de rendimiento del captador solar

Altura (m):	2,05	Q (l/m^{2}h):	125,00	Sup. Útil (m^2):	2,32
Anchura (m):	1,275	$\Delta P_{cap.}$ (mm.c.a):	14,87	Uds en serie:	6

Tabla 9. Dimensiones físicas del captador solar

Tipo de integración en cubierta:	General

Tabla 10. Integración de captadores en la edificación

3.1.2.2. Circuito primario

$\Delta P_{accesorios.}$ (mm.c.a):	800	Longitud circuito (m):	120,00
$\Delta P_{tubería.}$ (m.c.a):	1,20	Potencia bomba (W):	0,47

Tabla 11. Características del circuito primario

3.1.3. Resto de componentes

3.1.3.1. Intercambiador de placas

Potencia (W/m^2_{cap}):	1.000	$\Delta P_{primario.}$ (mm.c.a):	4.000
Eficiencia(%):	70%	$\Delta P_{secundario.}$ (mm.c.a):	4.000

Tabla 12. Características del intercambiador

3.1.3.2. Circuito secundario

Longitud de circuito (m)	1.000		
$\Delta P_{primario.}$ (mm.c.a):	20	Potencia bomba (W):	0,38

Tabla 13. Características del circuito secundario

3.1.3.3. Acumulador solar

Volumen de acumulación (l):	10.000	Tª máx. admisible (ºC):	90,00
ΔP (mm.c.a):	300		

Tabla 14. Características del acumulador solar

3.1.3.4. Sistema de apoyo

Volumen de acumulación (l):	1.834	Tª máx. admisible (ºC):	90,00
ΔP (mm.c.a):	300		

Tabla 15. Características del sistema de apoyo

3.1.4. Condicionantes económicos

Costes de ejecución y mantenimiento	
Coste instalación por m^2 de captación (€/m^2):	400,00
Mantenimiento anual por m2 de captación (€/m^2):	3,00
Costes por contratación de seguros	
Valor de reposición declarado por m^2 de captación (€/m^2):	400,00
Coste del seguro (% del valor de reposición):	0,7%

Tabla 16. Costed de ejecución, mantenimiento y seguros

Indicadores económicos generales	
TAE de referencia (%):	3,95%
IPC (% del valor de reposición):	2,60%

Tabla 17. Indicadores de capitalización

3.2. Escenario 1: Escenario simplificado

3.2.1. Orientación e inclinación óptimas de los captadores

El Documento Básico HE4 del CTE establece que puede considerar el sur como orientación óptima y como inclinación óptima la latitud geográfica. Estas indicaciones dan por supuesto que los captadores están situados sobre una superficie horizontal, lo que no siempre es así, como ocurre en el presente caso de estudio, donde la cubierta inclinada que soporta los captadores, cuya cumbrera está alineada hacia el sur, tiene una pendiente negativa de 14,03º. Ante estos casos, en vez de estudiar la trigonometría espacial que orienta los captadores hacia la posición que optimiza la mayor radiación anual absorbida, es habitual orientar los captadores en base al 'sentido común', sin usar métodos analíticos complejos.

En este escenario es habitual entre los proyectistas el emplear el siguiente razonamiento: Puesto que la cumbrera de la cubierta inclinada está alineada hacia el sur, para orientar los captadores en esa dirección situarán sus bases perpendiculares a la cumbrera, procediendo a dar la inclinación recomendada por el Documento Básico HE4 del CTE, corregida ésta en función de la pendiente de inclinación de la cubierta inclinada. Siendo α el ángulo formado entre la cumbrera o alero y la base del captador (α es positivo en sentido horario), y β el ángulo de inclinación entre la cubierta y el captador, se procede a situar los captadores con los siguientes valores, entendiendo que así se habrá logrado su posición óptima, sin pérdidas por orientación ni inclinación por lo tanto.

α:	90º	Base del captador perpendicular a la cumbrera, por estar ésta alineada hacia el sur
β:	62º	= 38º (Criterio del CTE: Latitud) + 10º (Criterio del CTE: demanda preferente en invierno) + 14º (corrección de pendiente cubierta)

Tabla 18. Parámetros de posición del captador sobre la cubierta del edificio

3.2.2. Curvas de demanda de ACS a 60ºC

Establecido el consumo diario de ACS que como media se consumirá a lo largo de un año medio, el Documento Básico HE4 del CTE establece la necesidad de definir demandas mensuales que caractericen la demanda de energía a lo largo de un año. No se menciona sin embargo la necesidad de caracterizar la demanda acorde a curvas de consumo semanales y diarias, lo cual acarrea suponer que los hábitos de consumo de todos los días de un mismo mes son idénticos y homogéneos. Por lo tanto, en este escenario simplificado, se consideran las siguientes curvas de demanda:

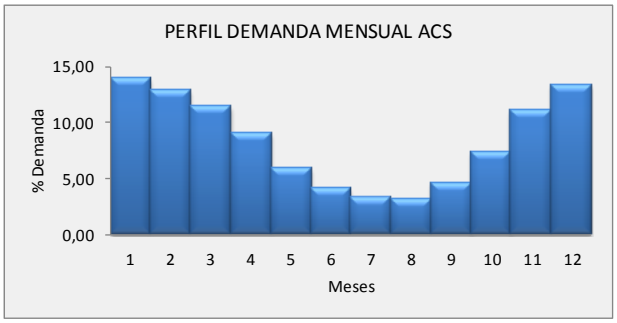


Figura1 Perfil mensual (%)

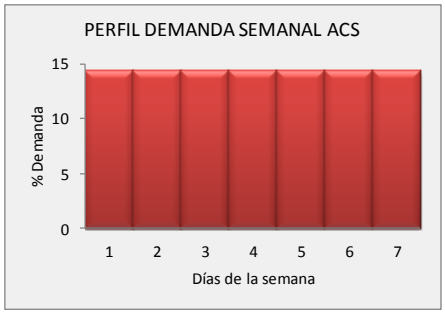


Figura2. Perfil semanal (%)

3.2.3. Coste de la energía eléctrica demandada por la IST

El escenario simplificado sólo tiene en cuenta el coste de la energía del sistema de apoyo, no teniendo en cuenta el coste del consumo eléctrico demandado por la instalación solar, imprescindible para su correcto funcionamiento.

Tabla 19. Indicadores del precio de la energía

Energía	Precio (c€/kWh)	IPE* (%)
Gas natural	5,00	5,00%

*Estimación del aumento anual del precio de la energía

3.3. Escenario 2: Escenario corregido

3.3.1. Orientación e inclinación óptimas de los captadores

La orientación e inclinación óptimas se calculan en base a la metodología de cálculo de irradiación solar incidente sobre superficies inclinadas acorde a un modelo isótropo (Cañada, 2008), mediante el software de simulación desarrollado por Kalkener Energy Saving Solutions disponible a través de kalkener.com. Partiendo de datos empíricos de radiación anual sobre una superficie horizontal en una latitud concreta, definido el periodo de funcionamiento en el que la IST estará funcionando y las características geométricas (orientación y pendiente) de la superficie base sobre la que se apoyarán los captadores, este software de simulación solar, calcula el diagrama solar y las horas de luz disponibles acorde a la latitud elegida y simula la radiación captada para diferentes posiciones relativas (orientaciones e inclinaciones) del captador sobre dicha superficie base, obteniendo como resultado los parámetros α y β (orientación e inclinación relativas de los captadores respecto de la superficie base) gracias a los cuales se obtiene la mayor radiación durante el periodo seleccionado. Realizada la simulación, los parámetros α y β óptimos obtenidos son:

Tabla 20. Parámetros de posición del captador sobre la cubierta del edificio

α:	115º
β:	30º

α: Ángulo formado entre la cumbrera y la base del captador (α es positivo en sentido horario)
β: Ángulo de inclinación entre la cubierta y el captador

3.3.2. Curvas de demanda de ACS a 60ºC

La actividad a la cual sirve la IST es un gimnasio, cuya ocupación y por lo tanto demanda energética, no sólo está sometida a variaciones estacionales mensuales, sino que también está influida por los hábitos semanales y diarios tanto de sus usuarios como de las condiciones laborales del propio gimnasio. Es necesario por lo tanto que el diseño de la instalación tenga en cuenta las curvas de demanda semanales y horarias diarias, además de las mensuales. En el presente caso de estudio las curvas de distribución de demanda que han de ser tenidas en cuenta son las siguientes:

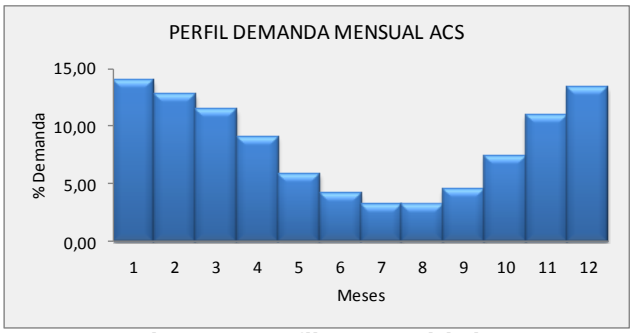


Figura 3. Perfil mensual (%)

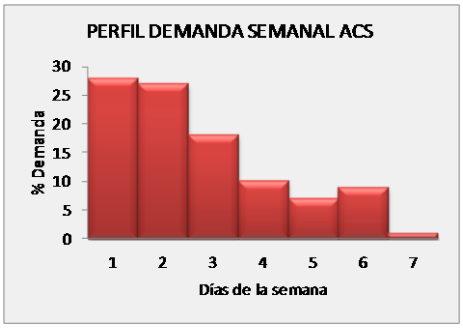


Figura 4. Perfil semanal (%)

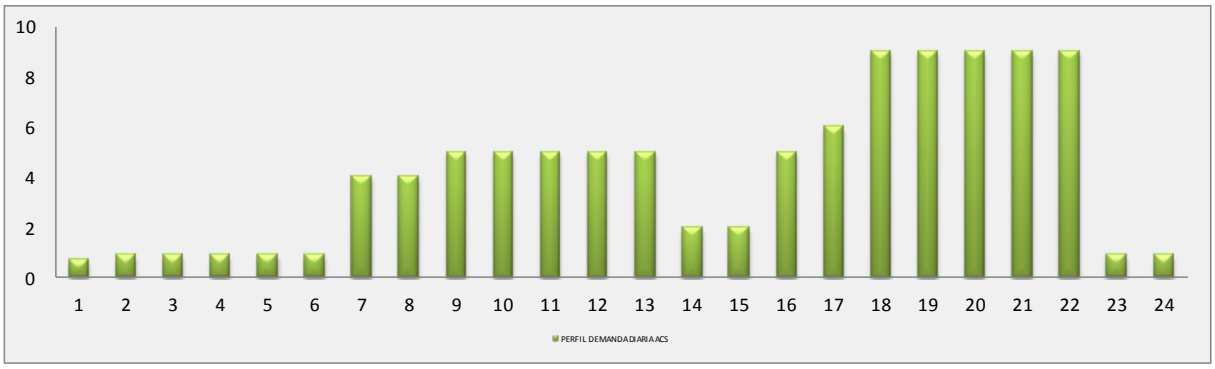


Figura 5. Perfil semanal (%)

3.3.3. Coste de la energía eléctrica demandada por la IST

Este parámetro, si bien no afecta a la producción energética de la IST sí influye en el cálculo de los indicadores de su rentabilidad.

Los precios de energía vigente, aplicables previa y posteriormente a la instalación de la IST, son:

Tabla 20. Indicadores del precio de la energía

Energía	Precio (c€/kWh)			IPE* (%)
Gas natural	5,00			5,00%
	P1	P2	P3	
Electricidad	13,04	8,05	6,32	5,00%

* Estimación del aumento anual del precio de la energía

3.4. RESULTADOS

3.4.1. Resultados escenario 1: Escenario simplificado

Fracción solar simulada (%):	60,12%
Superficie de captación (m^2):	190,24
Captadores necesarios:	82

Tabla 21. Resultados principales IST Escenario 1

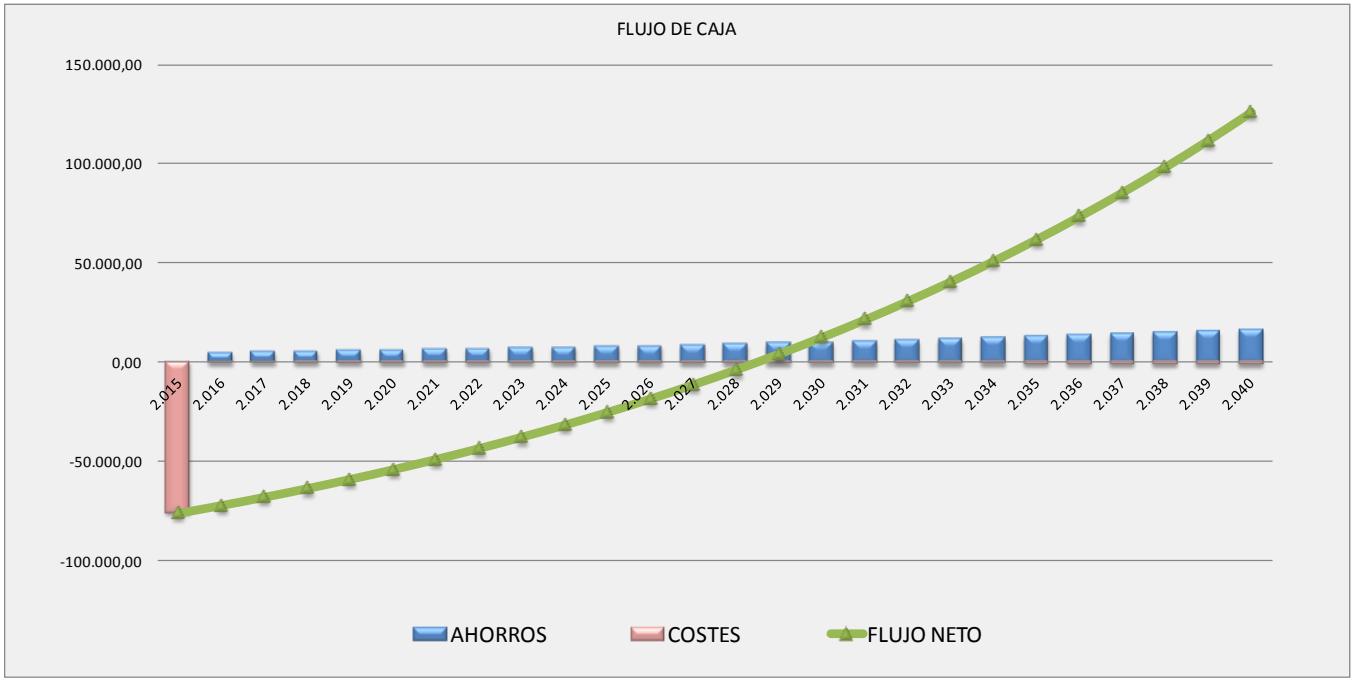


Figura 6. Flujo de caja Escenario 1.

TIR (%):	7,26%
VAN (€):	38.153,42
Retorno flujo de caja (años):	14

Tabla 22. Resultados indicadores de rentabilidad Escenario 1

3.4.2. Resultados escenario 2: Escenario corregido

Fracción solar simulada (%):	60,00%
Superficie de captación (m^2):	132,24
Captadores necesarios:	57

Tabla 23. Resultados principales IST Escenario 2

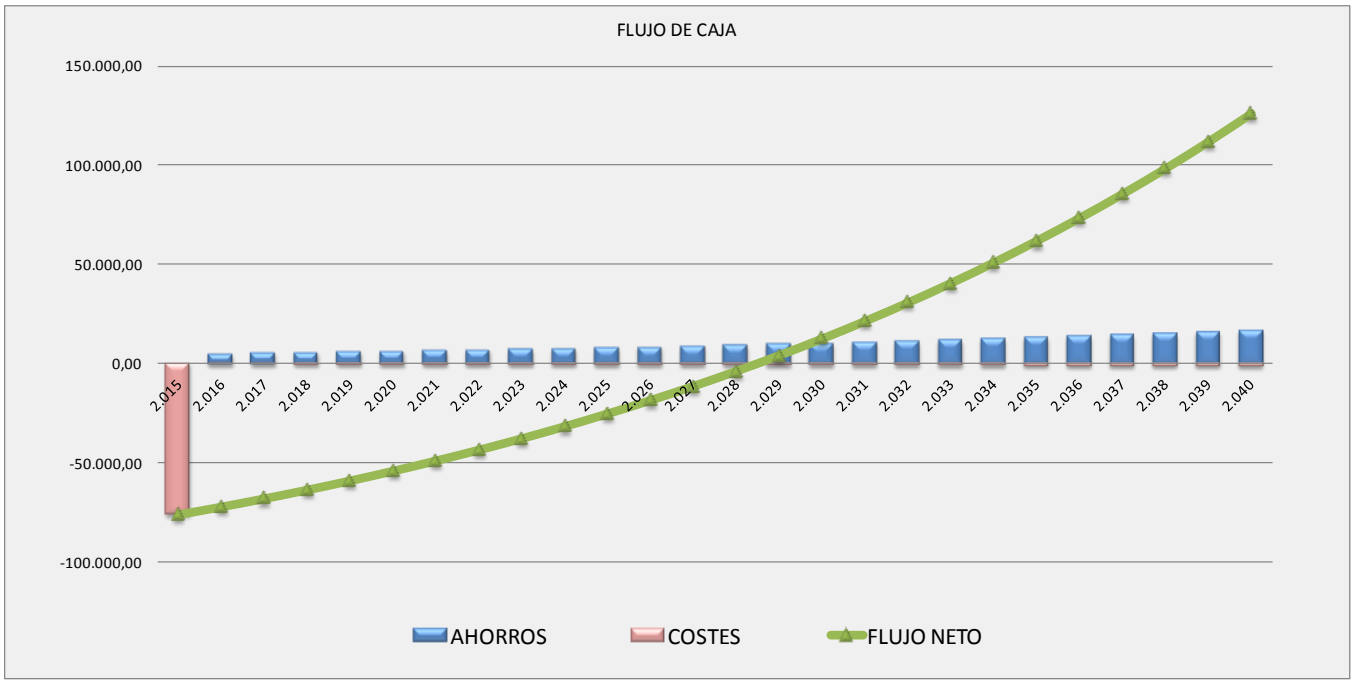


Figura 7. Flujo de caja Escenario 2.

TIR (%):	10,10%
VAN (€):	53.881,00
Retorno flujo de caja (años):	11

Tabla 24. Resultados indicadores de rentabilidad Escenario 2

4. Conclusiones

De la comparación de los componentes de dos IST, dimensionados en base a unas mismas condiciones de contorno y utilizando un mismo software de simulación, pero calculando una de ellas con los criterios simplificados ya expuestos (escenario1) y la otra con los criterios sin simplificar (escenario2), se observa una diferencia porcentual, respecto del escenario 2, del 44% en la superficie de captación necesaria para obtener la misma fracción solar (indicador que mide el porcentaje de energía total generada por la instalación solar respecto de la energía total necesaria para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria) y una diferencia del 29% en el indicador de rentabilidad correspondiente al Valor Actual Neto. Se concluye por lo tanto que el promotor de la instalación calculada en base a criterios

simplificados recibe una instalación sobredimensionada y soportando una inversión económica mayor innecesariamente, puesto que para obtener la misma aportación de energía solar es suficiente una instalación con menor superficie de captación. Queda en evidencia por lo tanto la necesidad de emplear métodos de cálculo rigurosos durante la fase de diseño utilizando software de simulación, preciso e imparcial, que evite simplificaciones y que calcule correctamente el comportamiento energético de la instalación, protegiendo así los intereses tanto del promotor de la instalación como de sus usuarios finales.

5. Referencias

Encuesta de mercado ASIT 2013 (Abril 2014) *ASIT Informa.* ASIT Asociación Solar de la Industria Térmica p. 3

Terra.org (2011) *Instalaciones solares bajo sospecha* Obtenido desde: http://www.terra.org/categorias/articulos/instalaciones-solares-bajo-sospecha

Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology (2015) *Photovoltaic Geographical Information System.* Instituto de energía y Transporte de la Comisión Europea. Obtenido de: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/

España. Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Documento Básico HE4 del CTE. *Boletín Oficial del Estado*, 12 de septiembre de 2013, núm. 219, pp. 67137-67209

IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2009) *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* (PET-REV - enero 2009) Madrid: Ministerio de Industria, Energía y turismo

Cañada, J. (2008) *Manual de energía solar térmica. Diseño y cálculo de instalaciones.* Valencia: Universidad Politécnica de Valencia

05-026

STUDY OF OPTIMAL LOCATION FOR USING THE ENERGY FROM THE SEA CURRENTS IN THE STRAIT OF GIBRALTAR, THROUGH AHP-TOPSIS METHODOLOGY.

de la Casa González, Katia; García-Cascales, M. Socorro; Sánchez-Lozano, J. Miguel Universidad Politécnica de Cartagena

In recent years, there has been increasing awareness of the great potential for electrical energy generation by turbines settled on the bottom of the sea, in order to make use of the tidal currents which exist in the oceans. The Strait of Gibraltar is a privileged region at world scale for this type of exploitation and is the only geographical location in all the Spanish littoral zone where this energy source has significant potential. In the present work, a study has been made on the energy potential of the area, as well as a process of decision-making employing the combined methodology through the Analytic Hierarchy Process (AHP) to obtain the criteria, as well as the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), to assess the best locations of the Strait of Gibraltar to set up a tidal current energy park. Additionally, an analysis is made of the different technologies existing on the market today to harness the energy from currents and for the various locations, and finally the real extractable power for each studied technology is presented.

Keywords: *Renewable Energies (EERR); AHP-TOPSIS; Strait of Gibraltar; Decision-making; Sea currents*

ESTUDIO DE LOCALIZACIÓN ÓPTIMA PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LAS CORRIENTES MARINAS EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR MEDIANTE METODOLOGÍA AHP-TOPSIS

En estos últimos años se está reconociendo el amplio potencial de la generación de energía eléctrica mediante rotores instalados en el fondo marino para aprovechar las corrientes marinas existentes en los océanos. El Estrecho de Gibraltar, es una región privilegiada a escala global para este tipo de aprovechamiento y representa la única localización geográfica en todo el litoral español donde esta fuente energética tiene un potencial significativo. En el presente trabajo se ha realizado un estudio del potencial energético de la zona así como un proceso de toma de decisiones aplicando la metodología combinada mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) para la obtención de los criterios y la Técnica para la Similitud de Preferencias con la Solución Ideal (TOPSIS) para evaluar las mejores localizaciones del Estrecho de Gibraltar, donde instalar un parque de corrientes marinas. Asimismo, se analizan las distintas tecnologías para el aprovechamiento energético de corrientes, actualmente existentes en el mercado, para las diversas localizaciones y finalmente se presenta para cada tecnología estudiada, la potencia extraíble en cada caso.

Palabras clave: *Energías Renovables (EERR); AHP-TOPSIS; Estrecho de Gibraltar; Toma de decisiones; Corrientes marinas*

Correspondencia: Katia de la Casa González katia_cg_90@hotmail.com

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado con fondos FEDER por la DGICYT mediante el proyecto (TIN2011-27696-C02-01, TIN2014-55024-P) y por La Junta de Andalucía (P11-TIC-8001), respectivamente.

1. Introducción

En estos últimos años se está reconociendo el amplio potencial de la generación de energía eléctrica mediante rotores instalados en el fondo marino para aprovechar las corrientes marinas existentes en los océanos. Ya que, son uno de los principales motores termodinámicos terrestres. Esto, puede dar una idea de la cantidad de energía "constante" que almacenan las corrientes. Numerosas empresas del sector energético renovable están haciendo grandes inversiones para la investigación del aprovechamiento de estas corrientes marinas.

Una corriente de agua marina que discurre a una velocidad de 2 m/s posee por cada m^2 de área perpendicular a su flujo, la misma energía que una corriente eólica de 18 m/s. Y 3 m/s se corresponderían con 27 m/s. Esto es debido a que el agua tiene una densidad 850 veces mayor que la del aire, con lo cual la energía de las corrientes marinas tiene una densidad energética mayor que la energía eólica.

Ya en un estudio de 1996 de la Comisión Europea (Comisión Europea, 1996), se identifican 106 localizaciones potenciales en Europa de las que se podría extraer 48 TWh por año, que es equivalente a 12.5 GW de capacidad instalada.

El Estrecho de Gibraltar representa la única localización geográfica en todo el litoral español, donde la fuente energética de las corrientes marinas tiene un potencial significativo. De hecho, es una región privilegiada a escala global para este tipo de aprovechamiento (Grupo de Oceanografía Física [GOFIMA]).

El objetivo de este estudio consiste en obtener, la localización o ubicación óptima de futuros parques de corrientes marinas en el Estrecho de Gibraltar. Concretamente, para parques de dispositivos "SeaGen S" y "Verdant Power".

2. Metodología

Mediante mecanismos de toma de decisión multicriterio basados en metodología combinada AHP-TOPSIS, se obtiene la localización óptima de un parque offshore en el Estrecho de Gibraltar. Se examinan los elementos que influyen en la decisión de ubicación: criterios y alternativas.

2.1 Selección de criterios

Se definen aquellos criterios que describan todos los aspectos a tener en cuenta a la hora de valorar cada alternativa. Según la teoría de la toma de decisión multicriterio, los criterios de decisión corresponden a aspectos tales como atributos, objetivos o parámetros que constituyen los ejes fundamentales a partir de los cuales el decisor justifica, transforma y argumenta sus preferencias. Realizar una adecuada selección de los mismos resulta fundamental en cualquier proceso de toma de decisiones, ya que un planteamiento inadecuado puede dar lugar a resultados poco satisfactorios o incluso invalidar el proceso.

En función tanto a la bibliografía y documentación estudiada, como al experto en la materia consultado, los criterios seleccionados son: 1.Profundidad del lecho marino, 2.Distancia a conexión eléctrica, 3.Distancia a un puerto, 4.Velocidad de la corriente.

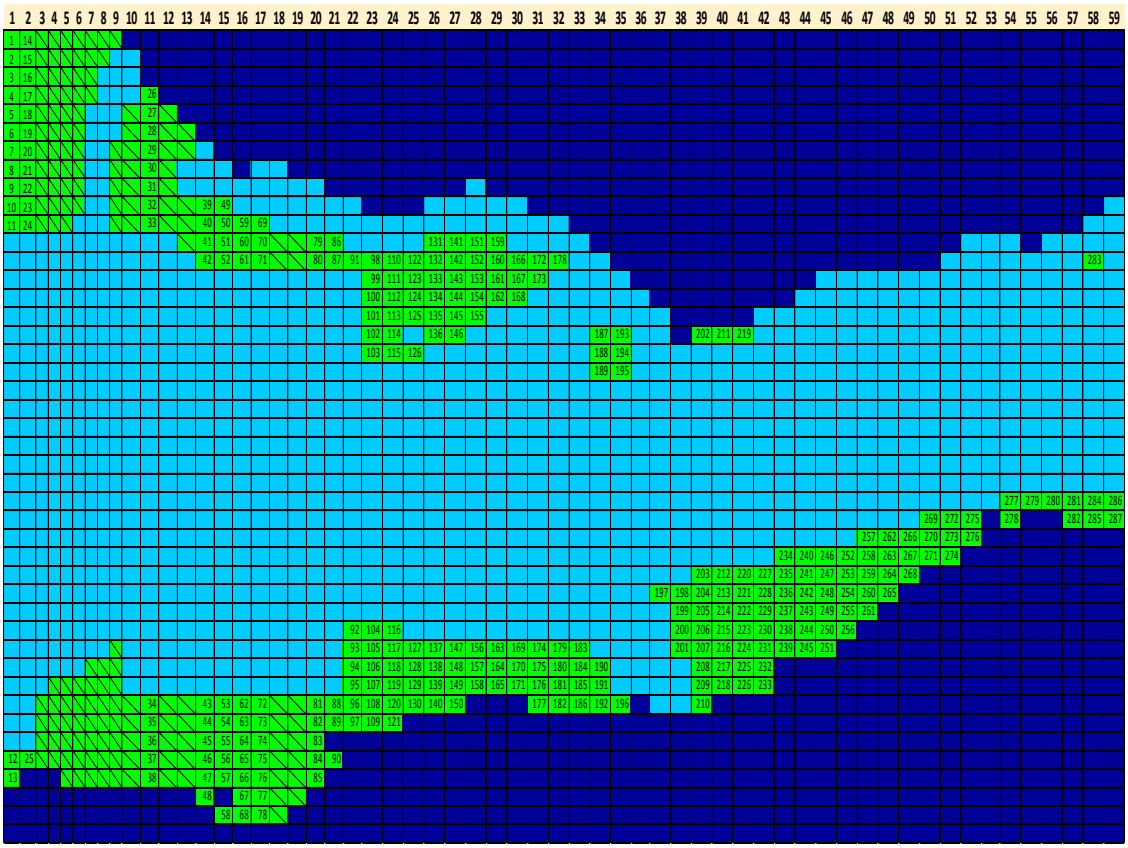
2.2 Selección de alternativas

La selección de las alternativas es la parte del método que se basa en la detección de la cantidad de opciones que tiene el decisor para efectuar la toma de decisión multicriterio.

Se define el conjunto de alternativas como el grupo finito de soluciones, estratégicas, acciones, decisiones, etc. posibles que hay que analizar durante el proceso de resolución del problema de decisión que se considere. Constituye el conjunto de posibles opciones definidas sobre las que la unidad decisora realiza una decisión.

Dado que este estudio trata de la decisión sobre la ubicación de parques de corrientes marinas en el Estrecho de Gibraltar, se parte de una malla (Juanes, 2007) de esta zona en la que previamente, han sido eliminadas las zonas que no son susceptibles de instalación (Ver Figura 1).

Figura 1: Alternativas resultantes numeradas. (Fuente: Elaboración propia)



2.3 Análisis de toma de decisiones. Metodología combinada AHP-TOPSIS

Una vez definidos criterios y alternativas se modeliza el problema de toma de decisión mediante una combinación de métodos de decisión multicriterio: AHP para la obtención del peso de los criterios y TOPSIS para la evaluación de las alternativas (Caballero y García, 2013).

La importancia relativa de cada criterio respecto a los demás se mide a través de los resultados de una encuesta de valoración diseñada y difundida a un experto en la materia a evaluar. La formulación de esta encuesta se realizó de manera acotada al problema basándose en la metodología AHP (Saaty, 1980), modelo de decisión que interpreta la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala de razón dentro de una estructura jerárquica establecida, resolviendo una matriz de

comparación entre los distintos criterios**.** A continuación, se explica todo el procedimiento, paso a paso.

2.3.1 Método AHP

En primer término se evalúa el peso de los criterios planteados mediante el método AHP a partir de las respuestas de la encuesta. El objetivo es construir un vector de pesos que indique la importancia relativa de cada criterio.

1. *Cálculo del vector de pesos AHP*. Para determinar los pesos se hace uso de la escala fundamental de comparación pareada (Saaty, 1980), que representa la proporción en la que uno de los criterios considerados en la comparación pareada domina al otro respecto a una propiedad que tienen en común, tal y como vemos en la Figura 2.

Figura 2: Escala fundamental de comparación pareada. (Fuente: Saaty, 1980)

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es muy dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia
2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Se usan como compromiso entre dos juicios
Incrementos 0,1	Valores intermedios en incrementos	Utilización para graduación más fina de juicios

Una vez recibida la encuesta se debe completar la matriz *R* (1),

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \qquad (1)$$

de tal modo que el término *rij* representa la prioridad relativa entre el criterio *Ci* y el criterio *Cj* respecto a la meta del problema, que será mayor, igual o inferior a uno dependiendo qué criterio sea más importante.

La matriz *R* cumple que *rij · rji = 1*, es decir, es una matriz recíproca y se cumple que el autovalor máximo *λmax* es un número real positivo y que existe un vector propio *Z*, cuyas componentes son positivas, asociado a este autovalor. Se normaliza este autovector para que la suma sea la unidad. La matriz *R* se concibe como una perturbación de la matriz *W* y se considera que el vector propio *Z* es una aproximación al vector de pesos *w*. Por tanto, para determinar los pesos *wj* bastará calcular el autovector asociado al autovalor máximo de la matriz *R*.

2. Determinación de la consistencia. Para que la aplicación del método muestre resultados válidos, durante el proceso de comparación el experto no debe ser incoherente con las valoraciones, ya que se obtendría un resultado poco representativo. Para evaluar si la solución es coherente se calcula el ratio de consistencia (2) de la matriz, que en este caso será: 0 (para ambos casos de estudio). Con este ratio (que debe ser siempre menor a 0,1 para garantizar una buena consistencia) se considera que la matriz tiene buena consistencia.

$$RC = \frac{IC}{IR} \qquad (2)$$

Donde, IC es el índice de consistencia (3)

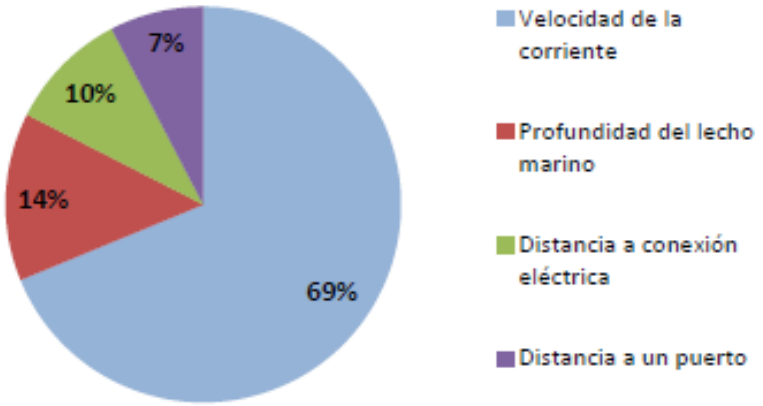
$$\mathrm{IC} = \frac{\lambda_{\max} - \mathrm{n}}{(\mathrm{n}-1)} \qquad (3)$$

IR, es el índice aleatorio, cuyo valor aparece en Figura 3 y va en función de n, que es el tamaño de la matriz R.

Figura 3: Índice aleatorio. (Fuente: Saaty, 1980)

n	1-2	3	4	5	6	7	8	9
IR	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Figura 4: Distribución de pesos de criterios (Fuente: Elaboración propia)



Como se refleja en el gráfico de sectores (Figura 4), la velocidad de corriente es, con mucha diferencia sobre el resto, el criterio con más importancia a la hora de elegir emplazamiento para un parque de corrientes marinas.

2.3.2 Método TOPSIS

Una vez obtenidos los pesos de los criterios se puede continuar con el estudio mediante la metodología TOPSIS (Hwang & Yoon, 1981) para la evaluación de las distintas alternativas. Este método se basa en el concepto de que es deseable que una alternativa determinada se ubique a la distancia más corta respecto de una solución ideal positiva y a la mayor distancia respecto a una solución ideal negativa. Para proceder a la evaluación mediante este método, se ejecutan los siguientes pasos:

3. *Matriz de decisión* (Figura 5). En primer lugar se crea la matriz de decisión, en la cual se reflejan todas las alternativas a evaluar a través de los criterios seleccionados. En la matriz se desglosan todos los valores cuantitativos (xij) de cada alternativa (Ai) para cada criterio (Cj), mostrando el vector de pesos (wj) asociado obtenido mediante el método AHP.

Figura 5: Matriz de decisión. (Fuente: Elaboración propia)

	w_1	w_2	…	w_j		w_n
	C_1	C_2	…	C_j	…	C_n
A_1	x_{11}	x_{12}	…	x_{1j}	…	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	…	x_{2j}	…	x_{2n}
…	…	…	…	…	…	…
A_m	x_{m1}	x_{m2}	…	x_{mj}	…	x_{mn}

4. *Normalización de la matriz de decisión*: consiste en convertir las dimensiones de los valores de los distintos criterios en valores adimensionales, aplicando la fórmula (4).

$$\bar{n}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m}(x_{ij})^2}}, j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \qquad (4)$$

5. *Matriz ponderada*. Conociendo las valoraciones de las alternativas normalizadas y el vector de pesos de los criterios, se realiza la ponderación de la matriz. Esto consiste en ponderar cada valoración de cada alternativa en función del peso del criterio que se evalúa, aplicando la fórmula (5).

$$\bar{v}_{ij} = w_j \otimes \bar{n}_{ij}, j = 1, \dots, n, i = 1, \dots, m, \qquad (5)$$

6. *Solución ideal positiva (PIS)* (6) *y Solución ideal negativa (NIS)* (7). Los conjuntos de valores ideal positivo A+ e ideal negativo A- se determinan como:

$$\bar{A}^+ = \{\bar{v}_1^+, \dots, \bar{v}_n^+\} = \{(max\bar{v}_{ij}, j \in J)(min\bar{v}_{ij}, j \in J')\}\, i = 1,2, \dots, m \qquad (6)$$

$$\bar{A}^- = \{\bar{v}_1^-, \dots, \bar{v}_n^-\} = \{(min\bar{v}_{ij}, j \in J)(max\bar{v}_{ij}, j \in J')\}\, i = 1,2, \dots, m \qquad (7)$$

Donde J está asociado con los criterios de beneficio y J' con los criterios de costes.

7. *Cálculo de las medidas de las distancias*. Una vez se conocen las soluciones ideales positiva y negativa (PIS y NIS) se pueden calcular las medidas de las distancias, que consiste en obtener la separación de cada alternativa a la solución ideal positiva (8) o negativa (9).

$$\bar{d}_i^+ = \left\{\sum_{j=1}^{n}\left(\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^+\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (8)$$

$$\bar{d}_i^- = \left\{\sum_{j=1}^{n}\left(\bar{v}_{ij} - \bar{v}_j^-\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}, i = 1, \dots, m \quad (9)$$

8. *Ratio de proximidad relativa* (10). Por último se obtiene el ratio o proximidad relativa de cada alternativa a la solución ideal. Cuanto más próximo sea el valor del ratio R a 1, mayor será la prioridad de la alternativa y resultará más idónea como solución al problema propuesto.

$$\bar{R}_i = \frac{\bar{d}_i^-}{\bar{d}_i^+ + \bar{d}_i^-}, i = 1, \dots, m \quad (10)$$

2.4 Evaluación de las alternativas para cada uno de los criterios

2.4.1 Profundidad del lecho marino

Uno de los principales problemas de la implantación de cualquier sistema en el mar es su fijación en el lecho marino. Además, los costes de instalación aumentan según el emplazamiento del parque se va alejando de la costa y, en consecuencia, aumenta la profundidad marina. Pero sobre todo, aumentan los costes de mantenimiento.

En el litoral español, debido a su orografía marina, se alcanzan grandes profundidades muy cerca de la costa. Y más en el Estrecho, que presenta grandes variaciones de profundidad. Esto supone que el criterio de la profundidad adquiera gran importancia a la hora de elegir ubicación.

En función de las profundidades del fondo marino, la cimentación de la tecnología tendrá que variar.

Para obtener datos exactos de profundidad para cada una de las alternativas es necesario disponer de una batimetría de todo el fondo marino objeto de estudio. Existen mapas batimétricos y cartas náuticas donde se reflejan las profundidades de cada zona mediante curvas de nivel. Conociendo las coordenadas geográficas de cada alternativa, la profundidad en cada zona se obtendrá mediante programas que disponen de los datos de profundidad del lecho marino para cada punto del litoral.

2.4.2 Distancia a conexión eléctrica

La integración de la energía generada en el parque offshore en la red eléctrica existente es una de las variables más importantes que hay que analizar en cualquier nueva instalación. Esto se debe a la mayor complejidad de todos los elementos que forman parte de la infraestructura eléctrica, ya que deben ser diseñados para funcionar en unas condiciones mucho más hostiles y por tanto tienen que tener una serie de características específicas para estos emplazamientos: resistencia al agua, resistencia a la humedad, resistencia a la corrosión, etc. Todo esto implica que, además de resultar tecnológicamente más compleja, la infraestructura eléctrica de un parque marino tenga unos costes mayores, derivados

fundamentalmente del incremento en el precio del cable de conexión submarino del parque marino hasta la costa.

El esquema de la conexión eléctrica de una parque marino será una línea de transporte de energía hasta la costa mediante una línea eléctrica submarina. Ya en la costa, la línea eléctrica, convertida en línea terrestre, continúa hasta la subestación de entronque, perteneciente a la red eléctrica de la zona.

Para evaluar este criterio, debemos considerar la distancia desde cada zona hasta el punto de entronque con la red existente. El coste de la línea aumenta a medida que la distancia se incrementa, por lo que conviene minimizarla.

En primer lugar se deben identificar las subestaciones que ejercerían de punto de entronque con la línea para cada una de las posibles alternativas de ubicación: Facinas, Puerto de la Cruz, Tarifa y Fardioua. Para obtener los valores, dado que se conocen las coordenadas geográficas exactas de cada alternativa y de cada uno de las SE, se calculan las distancias desde cada punto a la SE más cercana.

2.4.3 Distancia a un puerto

Un criterio importante a la hora de implantar un parque marino es analizar la disponibilidad de puertos situados en las inmediaciones del parque con accesibilidad suficiente para alojar máquinas y medios constructivos de ensamblaje y transporte de todos los componentes de la instalación. Por tanto es necesario tener en cuenta los puertos de la zona, ya que estos serán la base logística para las diferentes fases existentes a lo largo de la vida útil de un parque offshore: Construcción; Operación y mantenimiento; Repotenciaciones y Desmantelamiento.

Debido a la necesidad de gran capacidad, solo se consideran puertos válidos aquellos que integran el Sistema Portuario español. Para este estudio se proponen como posibles puertos para implementar la base logística del futuro parque el Puerto de la Bahía de Algeciras y el Puerto de Ceuta.

El método de evaluación de este criterio para cada alternativa se basa en la distancia existente entre cada alternativa de ubicación y el puerto más cercano a ella. Será por tanto un criterio a minimizar, es decir, será mejor cuanto menor sea la distancia.

Para obtener los valores, dado que se conocen las coordenadas geográficas exactas de cada alternativa y las coordenadas de cada uno de los dos puertos, simplemente se trata de medir las distancias desde cada punto a cada uno de los dos puertos y se selecciona el puerto cuya distancia resulte menor.

2.4.4 Velocidad de la corriente

La velocidad de la corriente es, el elemento más importante a la hora de elegir emplazamiento para un parque de corrientes marinas. Ya que establece qué tipo de dispositivo se puede utilizar y si es viable o no la central. Para las tecnologías seleccionadas en este estudio, es necesaria una **velocidad mínima de 1 m/s**.

En este estudio, la velocidad de corriente es un dato conocido por lo que no es necesario calcularlo.

3. Casos de estudio

Se presentan dos casos de estudio distintos ya que se han utilizado dos tecnologías de corrientes marinas distintas: SeaGen y Verdant Power.

3.1 SeaGen – S

Este tipo de turbina está desarrollada por Marine Current Turbine (MCT) es una turbina de eje horizontal, con dos rotores por sistema sujetos a un pilote central. Empezó a desarrollarse en 1994. En Junio de 2008 se instaló por primera vez un diseño a escala real, conectado a la red en el Norte de Inglaterra. Y en Julio de 2008 generó energía por primera vez.

El SeaGen S está compuesto por dos rotores de eje horizontal con un diámetro de 16 m cada uno, cada rotor está acompañado de su caja de engranajes y su generador. La salida del generador va acompañada de un rectificador, a un convertidor y a un transformador final para así poder enlazar con la red de distribución. Cada rotor es independiente del otro para poder tener un amplio abanico de operatividad. Los rotores tienen un control total de las palas para ajustar su borde de ataque en función de la corriente y de la energía que queremos extraer, y así poder obtener energía tanto en la subida de la marea como en la bajada, al poseer el sistema de palas orientables total está desprovisto de un mecanismo que hace rotar el conjunto global del sistema para su orientación. El sistema al poseer el pilote central, puede elevarse el conjunto de las turbinas por encima del nivel del mar mediante un mecanismo de elevación y así poder ser reparado o efectuar las labores de mantenimiento (Ver Figura 6).

Figura 6: SeaGen S para ser reparado o por tareas de mantenimiento (Fuente: http://www.seageneration.co.uk/)

Para las cuestiones que nos interesan en este estudio, como son las condiciones de operación de este aparato, la información que proporciona el l fabricante es que trabaja en un rango de velocidades de corriente entre 1 y 2.5 m/s. En el caso de que la velocidad sea superior a 2.5 m/s, el propio dispositivo regula la potencia y la velocidad de rotación de las palas.

En cuanto a la profundidad a la que puede instalarse, en principio, el dispositivo está diseñado para profundidades de hasta 38 m pero pueden adaptar el diseño para profundidades mayores así como para diferentes tipos de suelo marino, ya que la estructura de soporte depende de ello. No obstante, cuanto menor sea la profundidad, mejor ya que todos los costes disminuirán.

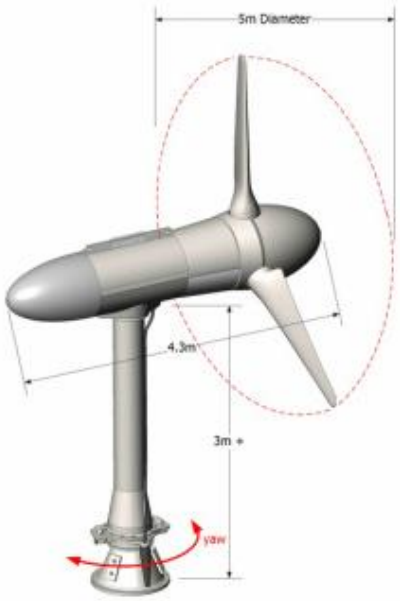
3.2 Verdant Power's Kinetic Hydropower System (KHPS)

Este sistema utiliza una turbina de eje horizontal de 3 palas con diseño patentado, para obtener una alta eficiencia en un gran rango de velocidades. El rotor mueve una caja de cambios que está conectada a un generador de inducción trifásico. Tanto el generador como la caja de cambios, se encuentran en una góndola montada a un poste hidrodinámico. Esta torre posee unos rodamientos internos que le permiten girar la turbina con la dirección de la corriente, permitiendo aprovechar tanto flujos como reflujos. Los cables submarinos llevan la energía a la orilla donde se conectan a la red eléctrica mediante equipos de comunicación estándar de generación distribuida.

Las turbinas Verdant son personalizadas a una escala apropiada al sitio de instalación. A cada escala el sistema es optimizado económicamente mediante la integración de tecnología y componentes apropiados.

Para este estudio, se ha utilizado la turbina de fase 5, es decir la más actual y cuyos datos podemos encontrar en la web del fabricante. La velocidad mínima de corriente necesaria, que es 1 m/s. Y en cuanto a la profundidad, el dispositivo es escalable y adaptable pero siempre es mejor una profundidad baja para minimizar los costes (Ver Figura 7).

Figura 7: KHPS de 5ª generación (Fuente: http://www.verdantpower.com/)



4. Resultados

A partir los datos de ratio de proximidad relativa se realiza una clasificación numérica de los valores de los ratios ordenados de mayor a menor. Consecuentemente se clasifican las alternativas propuestas ordenadas de mayor a menor prioridad o idoneidad. El valor

numérico del ratio indica las alternativas más adecuadas para la ubicación del parque, pero se recurre a un criterio gráfico de valoración para mostrar las mejores y peores opciones sobre el mapa de alternativas. En función de la prioridad de la alternativa, ésta se mostrará de un color acorde con una mejor o peor posición en el ranking. Para ello se otorga un color a cada intervalo de valores de ratio, tal y como se muestra en la Figura 8, representando gráficamente la prioridad de cada una de las alternativas sobre un mapa del Estrecho de Gibraltar.

Figura 8: Valoración gráfica de las prioridades (Fuente: Elaboración Propia)

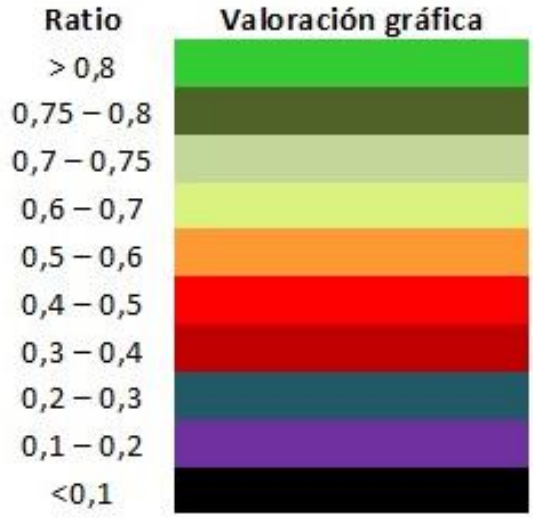


Figura 9: Resultados gráficos para Seagen (Fuente: Elaboración Propia)

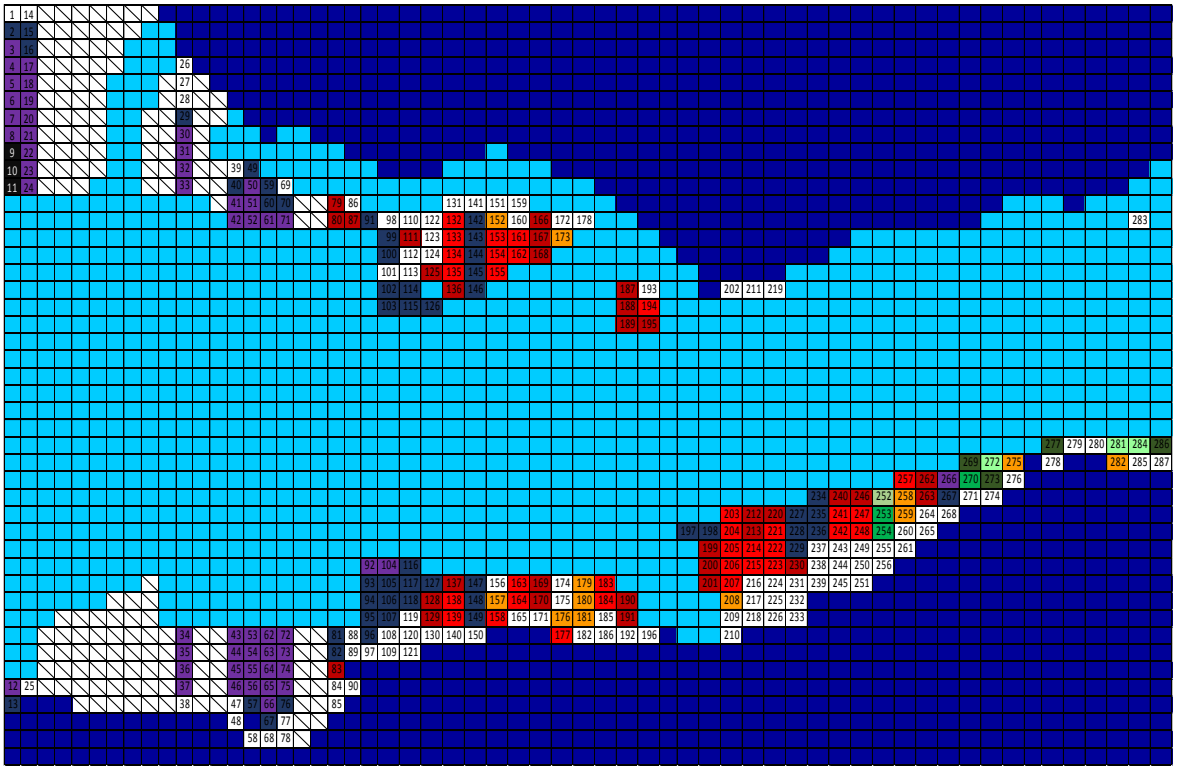
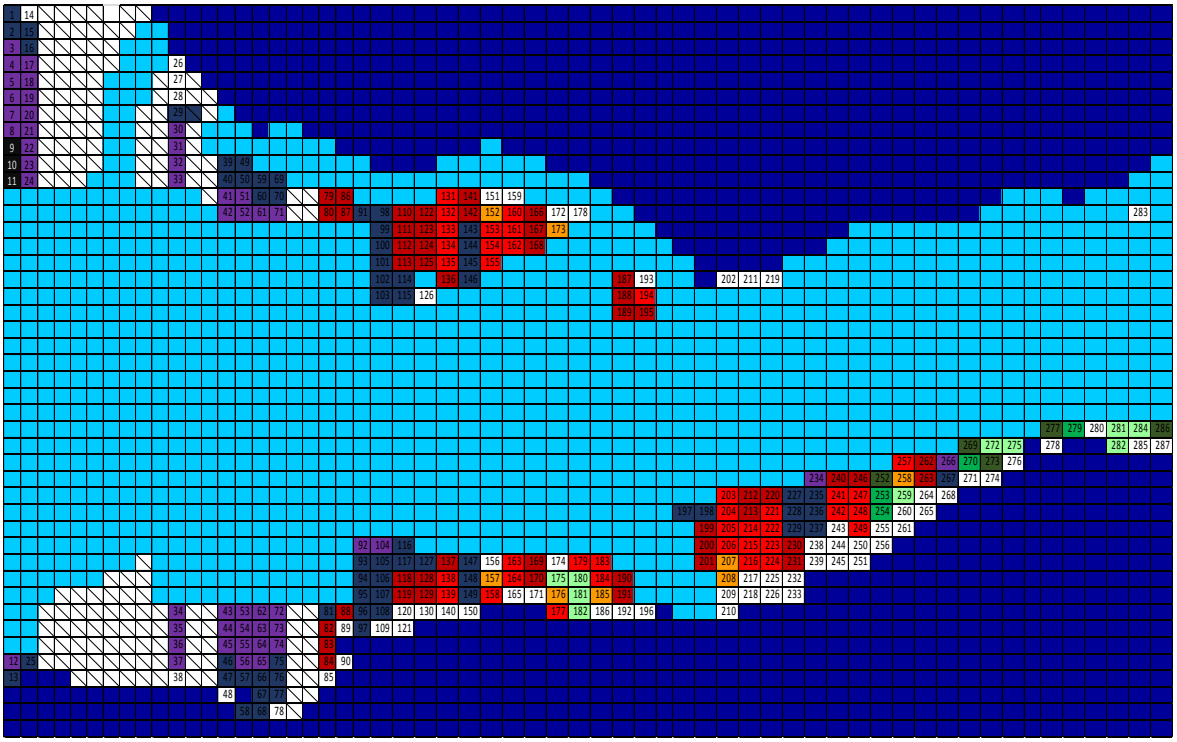


Figura 10: Resultados gráficos para Verdant Power (Fuente: Elaboración Propia)



Las zonas blancas representan en ambos mapas, las zonas que se han excluido a lo largo de este estudio. Las que están numeradas son las eliminadas por no cumplir con la profundidad mínima y las que están tachadas son las eliminadas por no cumplir con la velocidad mínima de 1 m/s (Ver figuras 9 y 10).

5. Conclusiones

- *Importancia de la velocidad de corriente*: El peso o relevancia de la velocidad de corriente es muy significativo respecto a los demás criterios.

Este atributo resulta ser, con mucha diferencia sobre el resto, el criterio con más importancia a la hora de elegir emplazamiento para un parque eólico marino.

Además de los criterios principales contemplados, existen otros aspectos que pueden influir en la posible localización, pero resultan casi insignificantes teniendo en cuenta que la velocidad de corriente representa el 69% en peso y por tanto anula cualquier otro aspecto de poca importancia.

- *Comparación entre tecnologías*: Si hacemos un cálculo de la potencia extraíble de un parque situado en la zona 270 (que es la más óptima en ambos casos) para cada una de las tecnologías, observamos que extraemos más potencia con Verdant Power pero harían falta unas 110 veces más de máquinas. Habría que valorar el coste de cada uno, teniendo en cuenta la instalación, el mantenimiento y el propio coste de la máquina.

- *Prioridad de la zona sur-este*: En los mapas de resultados gráficos podemos ver que para los dos análisis, las mejores alternativas son prácticamente las mismas y se encuentra en la zona Sur hacia el Este.

Simultáneamente a la realización del estudio se han detectado posibles mejoras del método propuesto que serían de utilidad para futuros trabajos o ampliaciones:

- Unir este estudio con el proyecto FLEGER de la Junta de Andalucía (GOFIMA), para así conseguir un informe completo, ya que cada trabajo tiene en cuenta una serie de criterios distintos.

- Mejorar el criterio de conexión a red eléctrica: Este criterio se podría subdividir en otros criterios para tener una información más fiable.

También podría estudiarse la opción de hacer las conexiones mediante el emisario eléctrico submarino que va de Marruecos a España, en vez de usar subestaciones próximas a la costa.

- Hacer un estudio de costes: Para el caso de parques eólicos offshore, existen estudios acerca de cómo realizar un cálculo aproximado de los costes totales de un parque eólico offshore en función a variables conocidas (potencia instalada, distancia a la costa, profundidad, etc). Podría aplicarse para parques de corrientes marinas y así incluir un criterio de costes en el análisis de toma de decisión.

- Análisis en profundidad de las múltiples soluciones propuestas.

- Aplicar este estudio a otras tecnologías.

6. Referencias

Comisión Europea (1996). *The exploitation of tidal and marine currents*. Luxemburgo.

Caballero, E., & García, M. S. (2013) Location study of an offshore wind farm in the Asturian coast through a multi-criteria analysis. Selecting Proceeding for the 16th International Congress on Project Engineering 189-200.

Empresa fabricante Seagen http://www.seageneration.co.uk/ http://www.marineturbines.com/

Empresa fabricante Verdant Power http://www.verdantpower.com/

Grupo de Oceanografía Física [GOFIMA]. *Mapa de los flujos de energía en el Estrecho de Gibraltar para su aprovechamiento como fuente de energía renovable.* http://oceano.uma.es/almacen/P26.pdf

Hwang C. L., & Yoon K. (1981). *Multiple attribute decision methods and applications*, Berlin: Springer.

Juanes, J. M. (2007). *El potencial energético útil de las corrientes marinas en el estrecho de Gibraltar*. Tesis doctoral. E.T.S.I. Navales (UPM).

Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill.

05-027

DEVELOPMENT OF A DSS TOOL FOR OPTIMIZING COOLING AND PREECOOLING SYSTEMS FOR FRUITS AND VEGETABLES

Cervera Gascó, Jorge; Laserna Arcas, Santiago; Montero Martínez, Jesús; Moreno Hidalgo, Miguel Ángel
UCLM

The main objective of the Master final report was the development of a decision support system tool (DSS) for the optimal design and dimensioning of cooling systems (hydrocooling and cooling rooms) for vegetables and fruits. The aim was minimizing the total cost (investment + operation), with special analysis of energy consumption and carbon footprint of the process. Two case studies were analyzed (cherries and broccoli) with different locations and harvesting dates, which demonstrated the functionality of the tool under different conditions. The main obtained conclusions were the following: - Heat transference values were more limited under the current energy cost context.- The optimal temperature after the hydrocooling usually is different than the traditional of 7/8.- The profitability of the hydrocooling depends on the energy price and the product.- The developed DSS tool can be applied to any case study with different energy and investment costs.

Keywords: *Energy efficiency; Cooling systems; Thermal isolation*

MODELACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRIO PARA DETERMINAR LAS TEMPERATURAS DE PRERREFRIGERACIÓN Y CONSERVACIÓN ÓPTIMAS PARA DISTINTOS PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS

El objetivo general del proyecto fin de Máster fue el desarrollo de una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en el proceso de diseño y dimensionado óptimo de sistemas de refrigeración (hydrocooling y cámara de conservación) de frutas y verduras de forma que se minimice el coste total (inversión y operación) del sistema, con especial atención a la disminución del consumo energético y de la huella de carbono del sistema. Los dos casos de estudio (Cerezas y brócoli) fueron bien diferenciados con ubicaciones y fechas de recolección completamente distintas con el objetivo de demostrar la funcionalidad de la herramienta ante condiciones diferenciadas. Las conclusiones reflejaron: - Los valores de transferencia de calor deben ser más limitantes ante el actual contexto energético. - La temperatura de salida del hydrocooling de 7/8 no es siempre la idónea. - La rentabilidad del hydrocooling varía según cambios en el precio de la energía. - Esta herramienta es de aplicación ante cualquier contexto energético y de costes de inversión de materiales.

Palabras clave: *Eficiencia energética; Sistema de refrigeración; Aislante térmico.*

Correspondencia: Jorge Cervera Gascó Jorge.Cervera@uclm.es

1. Introducción

El desarrollo de este estudio surge como consecuencia de la realización del trabajo fin de Máster para la obtención del título de Máster Universitario en Ingeniería Agronómica.

La búsqueda de nuevas vías de ahorro energético y económico así como la reducción del impacto medioambiental nace como consecuencia de los elevados precios de la energía actuales y por el compromiso con los objetivos de disminución de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), tal y como establece el Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo, por el que se crea el registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono y la gestión energética. Lo expuesto anteriormente resulta significativo en las industrias agroalimentarias en donde los consumos energéticos son grandes debido a los equipos existentes en sus instalaciones.

En las centrales hortofrutícolas se requiere la máxima atención a las condiciones higiénico-sanitarias de los alimentos y en particular a los más perecederos. Aquí es muy importante el consumo energético necesario para la conservación de los productos. La cadena del frío se ha afianzado y en estos momentos nos parece algo normal y difícil de sustituir. En los últimos años ha sufrido cambios importantes y es de esperar que en los próximos continúe modificándose y adaptándose a las nuevas necesidades (Domínguez & García, 2002).

En este caso los equipos de producción de frio utilizados para el estudio son un sistema de prerrefrigeración (Hydrocooling) y un sistema de conservación (cámara frigorífica). A continuación se explican los beneficios que aporta cada una de estas dos etapas y los equipos seleccionados.

El pre-enfriamiento de los productos frescos se realiza para evitar el deterioro de la calidad del producto, y por tanto para mejorar su estado de conservación, prolongando la vida final de éste. Esta fase siempre es muy importante, pero cobra mayor importancia en todos aquellos productos que tienen una elevada velocidad de respiración, así como en aquellas épocas en las que la climatología es más severa, con altas temperaturas que provocan que el producto de campo entre al almacén con temperaturas internas elevadas. Por tanto, para proporcionar el enfriamiento rápido que necesitan los productos, disminuir su transpiración y respiración y prolongar su vida postcosecha así como evitar el aumento de temperatura el hidroenfriamiento resulta idóneo para una correcta refrigeración.

El método de hydrocooling (con sistema tipo ducha), es uno de los que se utiliza con mayor frecuencia por la industria, siendo el más rápido y efectivo. Produce una refrigeración homogénea en la totalidad del producto, proporciona a la fruta u hortaliza tratada un aspecto fresco limpio y turgente, lo que mejora su presentación comercial; también permite efectuar simultáneamente algún tratamiento germicida, añadiendo al agua el o los productos apropiados (bactericidas o fungicidas); reduce notablemente las pérdidas de peso debido a la brevedad y eficacia del proceso, pues no extrae agua de los tejidos vegetales, como ocurre con el enfriamiento por otros métodos como el aire y el vacío (Melgarejo, 2000).

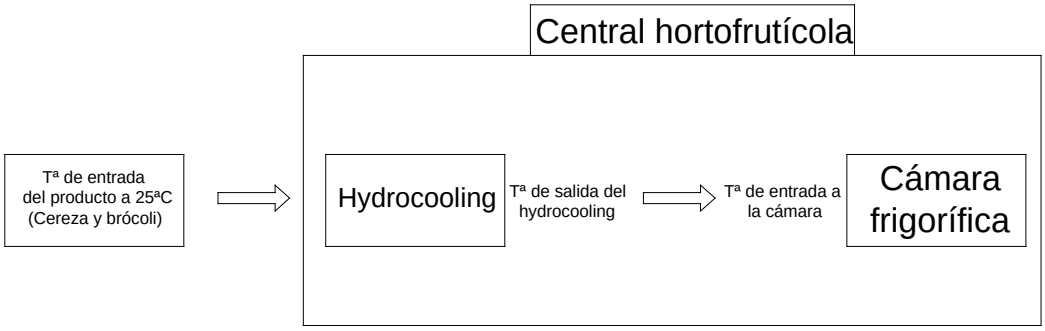
Además, se evita el sobredimensionado de las cámaras de conservación, ya que no tienen que eliminar el denominado “calor del campo” del producto (Brosnan & Sun, 2001).

La refrigeración previa a la carga y expedición del producto terminado será de conservación, donde se pretende mantener la calidad del producto mientras permanece en el almacén

(Lamúa, 1999). El equipo frigorífico necesario para realizar tal actividad va a ser la cámara de conservación.

Los sistemas de producción de frío se han analizado en bloque es decir, tratándose de un todo, de tal forma, que el proceso seguido por el producto tras su entrada a la industria es que pase al hydrocooling, donde se preenfría bajando la temperatura a un determinado valor, y posteriormente el producto pasa a la cámara frigorífica (figura 1) manteniendo la cadena de frio en todo momento. La temperatura de conservación de la cereza en la cámara frigorífica se ha establecido en 6ºC, y para el brócoli en 2ºC.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso seguido por el producto.



Para el dimensionado del sistema de prerrefrigeración el método tradicional se basa en el criterio de los 7/8 que hace referencia al tiempo requerido para que la temperatura inicial del producto disminuya 7/8 de la diferencia entre la temperatura inicial del producto y la del medio de enfriamiento. Este concepto nos dice que conforme va disminuyendo la temperatura de los productos hortofrutícolas, la velocidad de enfriamiento disminuye y aunque se aumente el tiempo del proceso, el enfriamiento logrado ya no es significativo (Becker & Fricke, 2001).

2. Objetivos

El principal objetivo planteado en este estudio es el desarrollar una herramienta de ayuda a la toma de decisiones en el proceso de diseño y dimensionado óptimo de sistemas de refrigeración (hydrocooling y cámara de conservación) de frutas y verduras. Se busca que el coste total del sistema (inversión y operación) se minimice, prestando especial atención a la disminución del consumo energético, y por lo tanto, disminución de la huella de carbono del sistema.

Los objetivos específicos planteados son: calcular los valores de transmisión de calor óptima para los casos de estudio mediante la selección óptima de espesores de aislante en las paredes, suelo y techo, y determinar la temperatura de prerrefrigeración óptima de los productos.

3. Metodología

3.1. Localización y datos de partida

Para la realización de este estudio se han planteado dos escenarios: una central frutícola de cereza y una central hortícola de brócoli. La elección de estos productos se ha debido a la

diferente ubicación que presentan, a los efectos post-recolección que presentan y a la buena disponibilidad con los métodos empleados.

Para el caso de la cereza, la central se ha ubicado en la zona norte de la provincia de Alicante (Valle de Gallinera), donde el cultivo de la cereza está muy bien implantado. Esta zona es ideal, ya que dispone de un microclima idóneo para su cultivo. La campaña de recolección de la cereza empieza en esta zona a mediados de Abril y termina a mediados de Junio. Para el dimensionamiento de las instalaciones de refrigeración, la mayor cantidad de producto registrada en un día en cámara frigorífica es de 60.000 kg y el día con mayor entrada de producto en la industria es de 30.000 kg.

La central hortícola para el brócoli se ha localizado en la provincia de Albacete. La campaña de recolección del brócoli de segunda cosecha, va de mediados de agosto a finales de octubre. La mayor cantidad de producto registrada en un día en cámara frigorífica es de 95.000 kg y el día con mayor entrada de producto en la industria es de 45.000 kg.

Los datos de temperaturas medias diarias han sido obtenidos de las estación climáticas más cercanas a en las zona de cultivo tanto para la cereza (estación de Planes (Alicante), con coordenadas UTM X=729927, Y=4296220, altitud: 519 m) como para el brócoli (estación de Albacete, con coordenadas UTM X=599200, Y=4317150, altitud: 709 m).

Debido a la dificultad de obtener los datos de temperaturas de entrada del producto con exactitud por desconocimiento del momento de recolección se ha establecido un valor promedio teniendo en cuenta las fechas de recolección. Por tanto, el valor medio de entrada del producto a la industria para la determinación de las temperaturas de prerrefrigeración y aislamiento óptimos es de 25ºC.

3.2. Cálculo de la instalación frigorífica

La instalación frigorífica se ha calculado teniendo en cuenta los volúmenes mencionados anteriormente y características del producto, tales como el calor específico (0,87 y 0,92 $kcal \cdot kg^{-1} \cdot ºC^{-1}$ para la cereza y brócoli, respectivamente) y el calor de respiración del producto (1,5696 y 0,7365 $kcal \cdot kg^{-1} \cdot día^{-1}$ para la cereza y brócoli, respectivamente).

Los pasos seguidos para su cálculo han sido los siguientes.

<u>Cálculo del aislamiento de la cámara.</u>

Se han calculado las necesidades de aislante para todos los días de duración de la campaña de recolección, así como su potencia frigorífica, obteniéndose el dato más desfavorable y representativo con el que se dimensiona toda la instalación, realizando un análisis para diferentes valores de pérdidas de calor por paredes, suelo y techo. Los espesores de aislante evaluados fueron los comerciales entre 60 y 200 mm.

Para el aislamiento de la cámara se ha utilizado panel sándwich relleno de poliestireno expandido en paredes y techo. El panel sándwich está compuesto por dos láminas de acero galvanizado de 2 mm de espesor rematado con pinturas plásticas con una conductividad λ = 50 kcal/h/m ºC. El poliestireno expandido utilizado en el panel sándwich tiene una conductividad térmica λ= 0,028 kcal/h/m ºC.

<u>Cálculo de la potencia frigorífica:</u>

La potencia frigorífica (en kcal/h) se determina considerando las cargas térmicas de diferente origen, como son:

- Carga térmica debida a la pérdida por transmisión de calor por paredes, techo y suelo.
- Carga térmica debida a las necesidades por renovación del aire.
- Carga térmica debida a las pérdidas por refrigeración y/o congelación.
- Carga térmica debida a las necesidades de conservación de los productos.
- Carga térmica debida al calor desprendido por los ventiladores.
- Carga térmica debida al calor desprendido por circulación de operarios en las cámaras.
- Carga térmica debida a las necesidades por iluminación.
- Carga térmica debida a las necesidades por pérdidas diversas.

Dimensionamiento de los equipos de frío:

Mediante el dato de la potencia frigorífica, se ha calculado la instalación frigorífica por compresión mecánica desarrollándose una aplicación informática que determina las condiciones termodinámicas del líquido refrigerante (R404A en este caso) para cada condiciones del ciclo de refrigeración. El ciclo utilizado ha sido el de Mollier.

De esta manera se han dimensionado los componentes de la instalación de frío, como son el evaporador, el condensador, el compresor y la válvula de expansión.

Cálculo de los costes:

Se han calculado los costes de aislante y de los equipos de producción de frío mediante la consulta de datos de la web, catálogos comerciales y empresas especializadas.

El coste energético de conservación en la cámara frigorífica se ha calculado teniendo en cuenta un número de horas de funcionamiento máximo, establecido en 18 horas diarias, obteniendo las necesidades de potencia en kW·h diarias y analizando diferentes costes energéticos comprendidos entre los valores 0,2, 0,3 y 0,4 €·kW·h.

3.3. Cálculo del sistema de prerrefrigeración por hydrocooling

Para el caso del sistema de prerrefrigeración por hydrocooling, el método que se ha seguido es el propuesto por la fundación ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) (Becker y Fricke, 2001). Este método se basa en los siguientes parámetros. Este método se basa en el cálculo del tiempo de prerrefrigeración, el calor de refrigeración y el balance en el depósito de agua.

Al igual que para el cálculo de la instalación frigorífica mediante el dato de la potencia frigorífica, se ha calculado el hydrocooling por compresión mecánica desarrollándose una aplicación informática que determina las condiciones termodinámicas del líquido refrigerante (R407C en este caso) para cada condiciones del ciclo de refrigeración.

El sistema de prerrefrigeración (Hydrocooling) se ha analizado mediante dos vías. La primera de ellas tiene en cuenta el método tradicional de la temperatura de los 7/8 y la segunda de ellas tiene en cuenta la temperatura comprendida dentro de un intervalo establecido, siendo su máximo valor la temperatura de llegada del producto y su mínimo el de conservación del producto.

El coste energético para el sistema de prerrefrigeración se ha determinado mediante la obtención del número de cargas máximo según el número de horas de funcionamiento y el tiempo estimado del proceso para la temperatura que se quiera alcanzar. Esto permite

obtener la carga del hydrocooling, dependiente de su capacidad y de la entrada de producto a la industria, para una temperatura a alcanzar dada y obteniendo el tiempo (t) empleado en realizar esa carga diaria.

A partir del tiempo de funcionamiento diario y de la potencia calculada del compresor, se determina la energía necesaria.

Según el coste de la energía (en este estudio 0,2, 0,3 y 0,4 €·kW^{-1}·h^{-1}) obtenemos el coste energético que se produce para cada día, e integrándolo en toda la campaña, el coste energético anual.

3.4. Anualización de la inversión

Para calcular los costes anuales, es preciso anualizar la inversión (del aislamiento y de los equipos de producción de frío, tanto del hydrocooling como de la cámara de conservación). La expresión utilizada para ello es el *Capital Recovery Factor* o Coste de Recuperación del Capital (CRF):

$$\mathrm{CRF} = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \qquad (1)$$

Siendo N la vida útil considerada, e "i" la tasa de interés.

La herramienta desarrollada permite interactuar con las variables Vida Útil, Tasa de Interés, incluso con diferentes formas de financiar la inversión.

Los resultados obtenidos y expuestos en esta comunicación proceden de considerar que la inversión se financia exclusivamente con fondos propios, para una vida útil de 20 años y una tasa de interés del 5%.

3.5. Coste anual de conservación del producto

Tras aplicar todo este proceso se calcula el coste anual total de conservación de los productos (cereza y brócoli) como la suma de los costes de inversión anualizados más los costes energéticos de la prerrefrigeración y de conservación en la cámara.

3.6. Herramienta informática

Toda esta metodología de cálculo se ha implementado en una aplicación informática, de momento en EXCEL® (de Microsoft Inc.), pero se está programando en MATLAB® (de MathWorks Inc.), con el fin de que sea una herramienta fácil de manejar, versátil, en un entorno amigable, que permita analizar y optimizar el proceso de conservación por refrigeración de frutas y hortalizas, para cualquier producto, en cualquier localización y con diferentes condiciones de conservación.

4. Resultados

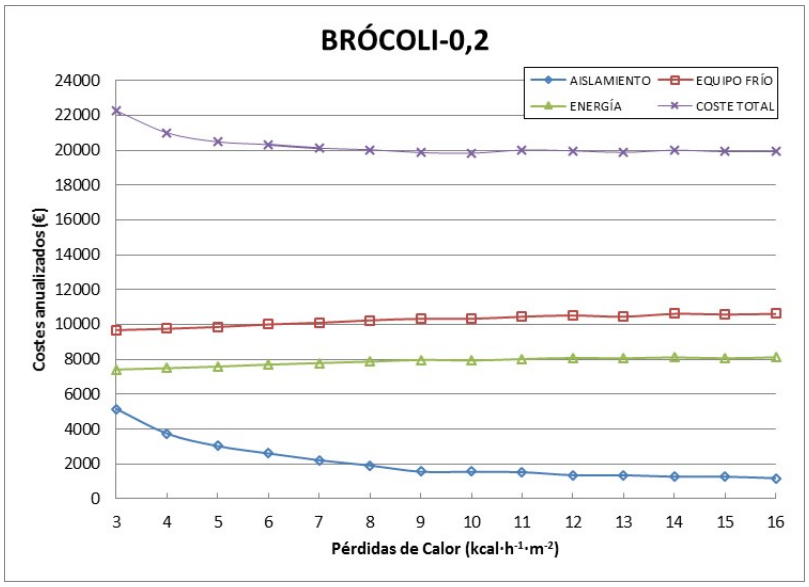
Tras aplicar la herramienta informática desarrollada, se presentan a continuación los resultados obtenidos en cuanto a la optimización de los espesores de aislamiento y de las temperaturas de prerrefrigeración, buscando en todos los casos la solución que minimiza el coste total anualizado de conservación de los productos.

4.1. Determinación de los espesores de aislamiento óptimos

Para la determinación de los espesores de aislamiento óptimos se han analizado los valores de pérdidas de calor en paredes, suelo y techo comprendidos entre 3 y 14 kcal·h^{-1}·m^{-2} para

la cereza y 3 y 16 kcal·h^{-1}·m^{-2} para el brócoli. Se busca el valor óptimo de pérdidas de calor que minimiza el coste total (inversión y operación) de la cámara frigorífica. En la figura 2 se ha representado la evolución de los costes anuales totales para la conservación del brócoli, junto a los costes unitarios del aislamiento, de los equipos de frío y de la energía (considerando un precio de la energía de 0,2 €·kW^{-1}·h^{-1}), todo ello función de las pérdidas de calor consideradas. Se comprueba cómo conforme aumentan las pérdidas de calor, el coste en aislamiento disminuye, pues resultan, lógicamente, espesores de aislantes menores. Por el contrario, conforme aumentan las pérdidas consideradas, aumentan los costes de los equipos de frío y los gastos energéticos. Globalmente, el coste mínimo, para el caso del brócoli, se consigue con un dimensionamiento de aislante que provoca unas pérdidas de calor de 9 kcal·h^{-1}·m^{-2}. El espesor de aislante resultante para estas pérdidas es el mínimo, 0,06 m, para paredes y suelo, y 0,1 m para el techo.

Figura 2. Evolución de los costes de aislamiento, de equipos de frío, energéticos y totales, para la conservación del brócoli, en función de las pérdidas de calor permitidas, y para un precio de la energía de 0,2 €·kW^{-1}·h^{-1}



Los costes totales son mayores cuando las pérdidas de calor son muy pequeñas, pues son necesarios mayores espesores de aislantes, lo cual lleva a la conclusión que no es óptimo aislar las cámaras al máximo para reducir las pérdidas de calor al mínimo. A partir de unas pérdidas de 8-9 kcal·h^{-1}·m^{-2} los costes totales se mantienen más o menos constantes.

De los tres componentes del coste total, el coste de inversión de los equipos de frío es el más importante en cuanto valor absoluto, seguido del coste energético. Sin embargo, es el coste del aislamiento el más sensible respecto al coste total, ya que para pequeños valores de pérdidas, el aumento en ambos casos es considerable.

En las figuras 3 y 4 se han representado los costes anuales totales de conservación de ambos productos, brócoli y cereza, en función de las pérdidas de calor por paredes, suelo y techo y para los tres precios de la energía considerados. Para ambos productos, la tendencia es similar, comprobando como se produce un descenso continuo del coste de conservación en la cámara, para los diferentes valores del precio de la energía, conforme aumentan las pérdidas de calor por paredes, suelo y techo, desde 3 hasta 8 kcal·h^{-1}·m^{-2}, en el caso de la cereza, y hasta 9 kcal·h^{-1}·m^{-2} en el caso de brócoli. A partir de estos valores,

que se consideran los óptimos, los costes se mantienen prácticamente constantes hasta los valores máximos de pérdidas considerados.

Figura 3. Valor óptimo de pérdidas de calor por paredes, suelo y techo en cámara de conservación de brócoli.

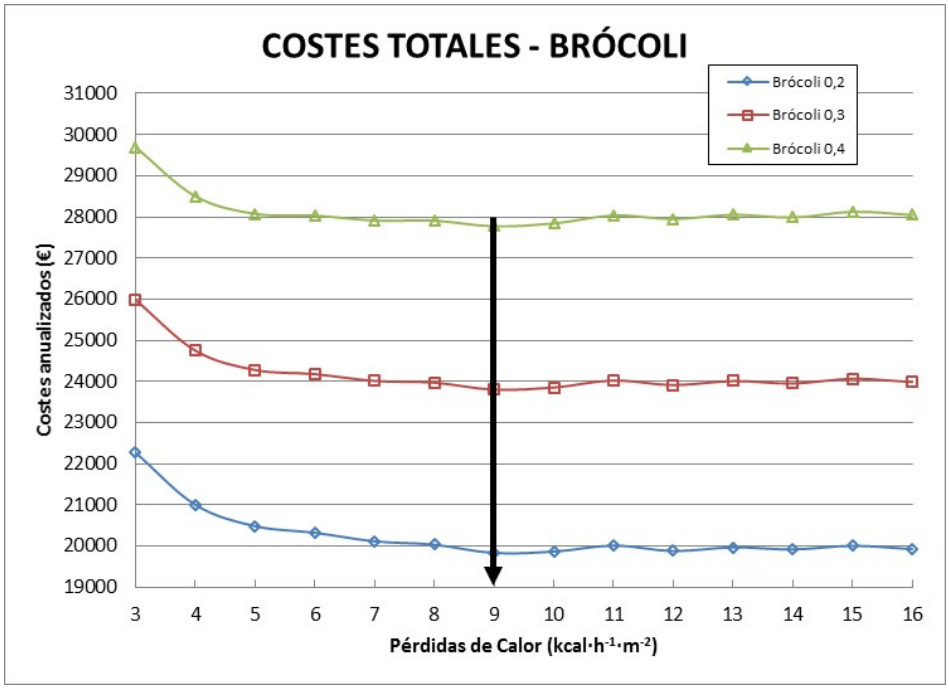
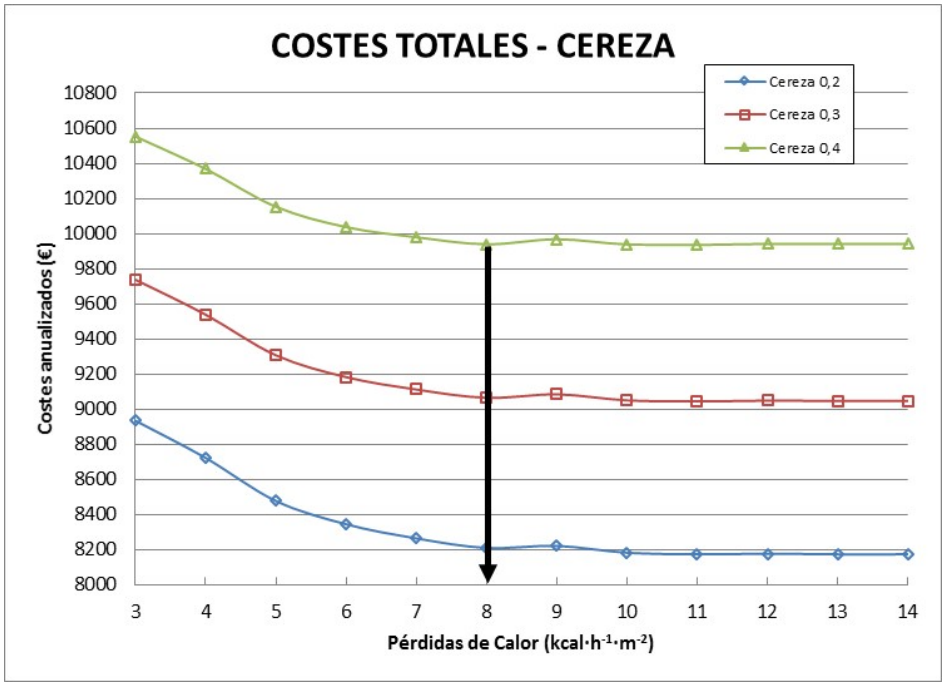


Figura 4. Valor óptimo de pérdidas de calor por paredes, suelo y techo en cámara de conservación de cereza.



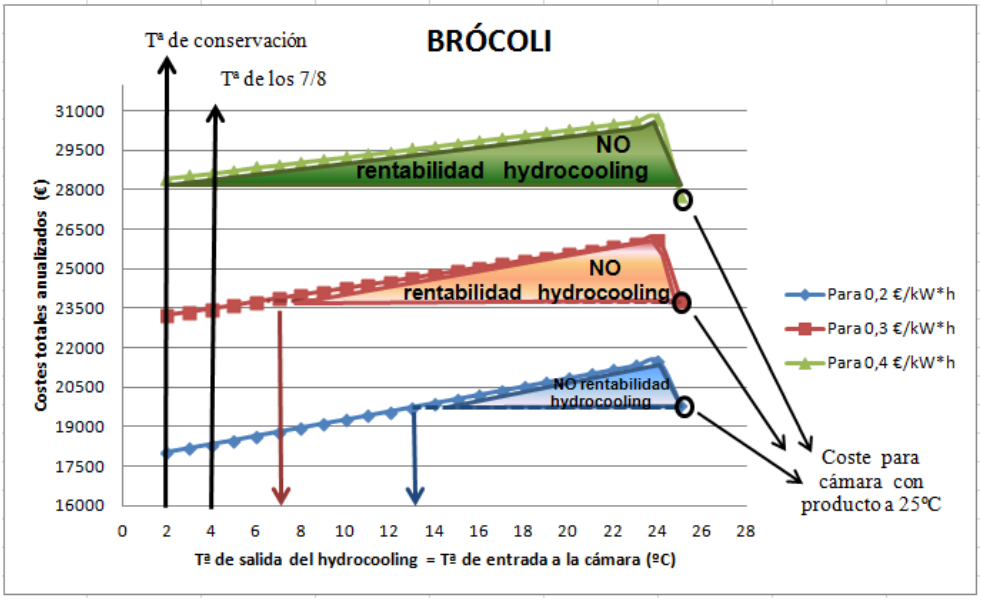
4.2. Determinación de las temperaturas de prerrefrigeración óptimas

Como se ha comentado en el apartado de metodología, el sistema consta de un sistema de prerrefrigeración mediante hydrocooling y un sistema de conservación con cámara frigorífica.

Buscando cual es la temperatura de prerrefrigeración óptima (tª de salida del hydrocooling=tª de entrada en la cámara de conservación) que minimiza el coste total de conservación de los productos, se ha aplicado el modelo. Se han considerado las cámaras de conservación calculadas con los espesores de aislante que se han obtenido como óptimos según el apartado anterior.

En las figuras 5 y 6 se ha representado la evolución de los costes de conservación en función de la temperatura de prerrefrigeración o temperatura de entrada a la cámara, para ambos productos y con los diferentes precios de la energía. Se han marcado en las figuras la situación de no hydrocooling, así como la temperatura con los costes mínimos y la temperatura de los 7/8, que en el caso del brócoli corresponde a 4ºC y para la cereza, 8,4ºC.

Figura 5. Análisis de las temperaturas óptimas de prerrefrigeración para el brócoli



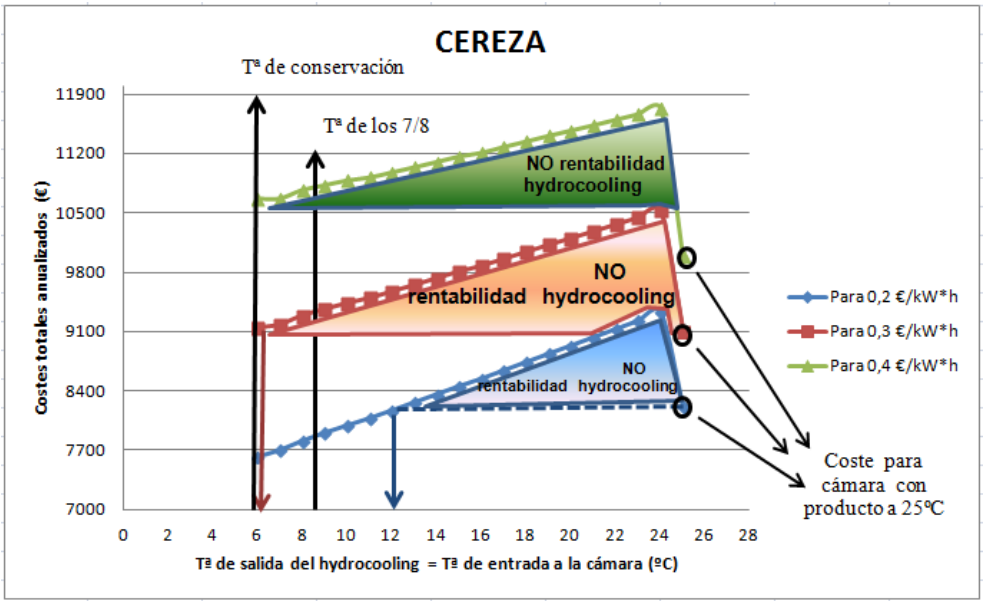
En el caso del brócoli, y para un precio de la energía de 0,2 €·kW^{-1}·h^{-1}, el hydrocooling es rentable siempre que la temperatura de prerrefrigeración sea menor o igual a 13ºC. Para temperaturas superiores los costes son superiores a la situación de no existencia de hydrocooling. Además, el coste mínimo no se obtiene con la temperatura de los 7/8, sino con la temperatura de conservación en la cámara de 2ºC. Los ahorros obtenidos han sido de 352,5 € representando el 1,95% respecto al modelo tradicional de diseño de los 7/8.

Para el caso de 0,3 €·kW^{-1}·h^{-1}, al aumentar el precio de la energía limita las posibilidades de tener un sistema de preenfriado. Resulta rentable tener en nuestra instalación un hydrocooling hasta una temperatura de salida del hydrocooling y de entrada a la cámara de 6ºC, ya que a partir de este valor no interesa tenerlo porque los costes son superiores a los

de tener una cámara frigorífica únicamente. Los ahorros obtenidos han sido de 354,72 € representando el 1,50 % respecto al modelo tradicional.

Para el caso de 0,4 €·kW^{-1}·h^{-1}, al aumentar mucho el precio de la energía, no resulta rentable tener en la instalación un sistema de preenfriado (Hydrocooling), ya que para cualquier temperatura de prerrefrigeración se supera los costes respecto a tener una cámara frigorífica únicamente.

Figura 6. Análisis de las temperaturas óptimas de prerrefrigeración para la cereza



En el caso de la cereza, y para un precio de la energía de 0,2 €·kW^{-1}·h^{-1}, el hydrocooling es rentable siempre que la temperatura de prerrefrigeración sea menor o igual a 12ºC. El coste mínimo no se obtiene con la temperatura de los 7/8, sino con la temperatura de conservación en la cámara de 6ºC. Los ahorros obtenidos han sido de 172 € representando el 2,2 % respecto al modelo tradicional.

Para el caso de 0,3 €·kW^{-1}·h^{-1}, se podría prescindir de tener el sistema de preenfriado, ya que prácticamente el coste se iguala con el de la cámara frigorífica.

Para el caso de 0, 4 €/kW^{-1}·h^{-1}, al igual que pasa con el brócoli, no resulta rentable tener en la instalación un sistema de preenfriado con hydrocooling.

Lo anteriormente descrito nos indica que los costes de equipos de cámara frigorífica son muy altos. También hay unas demandas altas de energía tanto en el sistema de preenfriado como en la cámara frigorífica. Conforme el precio de la energía aumenta, los costes de la energía en los dos sistemas de producción de frio superan ampliamente los costes de equipos y los otros costes con una subida muy pronunciada.

Este comportamiento se justifica puesto que el sistema hydrocooling consume una gran cantidad de energía para extraer el calor necesario del producto para llevarlo a una temperatura adecuada para su almacenamiento en un tiempo muy reducido, con el consiguiente beneficio de cara a la calidad del producto. La cámara conlleva un elevado coste de inversión, pero en el caso de tener que enfriar el producto desde la temperatura de entrada hasta la de conservación, el tamaño de los equipos de refrigeración se incrementaría elevando el coste en equipos.

Así, el coste energético es una variable clave al analizar la viabilidad de inclusión de un sistema de prerrefrigeración. En caso del coste energético actual, que se puede estimar en 0,2 €·kW^{-1}·h^{-1}, es aconsejable contar con un hydrocooling, de forma que la inversión en este equipo, se pueda ver compensada con la menor inversión en equipos en la cámara. Además, el producto se enfría de forma rápida mejorando su calidad de almacenamiento.

Sin embargo, cuando se incrementa el coste energético (0,3-0,4 €·kW^{-1}·h^{-1}) la viabilidad de instalación de este tipo de equipo de prerrefrigeración se ve comprometida, ya que al enfriar en un periodo de tiempo muy corto, el consumo energético es elevado, y por lo tanto su coste.

En caso de disponer de sistemas hydrocooling, la opción más económica, en cualquier caso, es llevar el producto hasta la temperatura de conservación en cámara, y no como se venía haciendo hasta ahora de considerar la temperatura de 7/8. Es decir, que es preferible, una vez decididos a hacer la inversión en este tipo de sistemas, disponer de un hydrocooling potente que permita disminuir la temperatura del producto hasta la de conservación.

5. Conclusiones

La herramienta desarrollada ha resultado muy útil en cuanto a los objetivos planteados y se han obtenidos resultados muy positivos y concluyentes acerca del comportamiento de los sistemas de frío analizados, por una parte con un sistema de preenfriado (hydrocooling) previo a la entrada de producto a la cámara de conservación, y de la propia cámara de conservación. El modelo es aplicable a cualquier producto hortofrutícola que necesite refrigeración, y para cualquier localización.

En primer lugar, se ha puesto de manifiesto que es esencial hacer un análisis exhaustivo para determinar las pérdidas de calor por paredes suelo y techo, considerando no sólo los aspectos de inversión, sino los derivados del consumo de energía. En los casos estudiados, ha resultado óptimo contemplar unas pérdidas de calor por paredes, suelos y techo alrededor de 8-9 kcal·h^{-1}·m^{-2}.

Se ha estudiado la rentabilidad de tener un sistema de preenfriado, en este caso un hydrocooling, en la instalación. El sistema de preenfriado demanda unas elevadas cantidades de energía, por tanto ante subidas importantes en el precio de la energía, no resulta rentable.

Se ha observado que el método tradicional de cálculo de la temperatura de salida del hydrocooling, los 7/8, no es las más adecuada, ya que es preferible que la temperatura de salida del hydrocooling sea la de conservación en cámara, de tal forma que el hydrocooling trabaje al máximo posible para bajar la temperatura del producto desde su entrada hasta la de conservación en la cámara frigorífica. De este modo evitaremos el sobredimensionado de los equipos de la cámara.

No se han considerado los beneficios obtenidos al instalar un sistema de prerrefrigeración derivados del incremento de la calidad del producto, lo que en muchas ocasiones determina el requerimiento de este tipo de sistemas. En todo caso, con esta herramienta se pueden incluir nuevas variables para nuevos escenarios.

BIBLIOGRAFÍA

Becker, B.R., & Fricke, B.A. (2001). Hydrocooling time estimation methods. *Mechanical Engineering*. University of Missouri-Kansas City.

Brosnan, T., & Sun, D. (2001). Precooling techniques and applications for horticultural Products. *International Journal of Refrigeration*, 24,154-170.

Domínguez, M., & García, C. (2002). La distribución a temperatura controlada de productos perecederos en Europa. *Alimentación*, 169, 45-48.

Lamúa, M. (1999). Aplicación del frío a los alimentos. Ed. AMV.

Melgarejo, P. (2000). Cámaras frigoríficas y túneles de enfriamiento rápido. Ed. AMV.

Real Decreto 163/2014, de 14 de marzo, por el que se crea el registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. *Boletín Oficial del Estado*, 29 de marzo de 2014, núm. 77, pp. 27437-27452.

05-028

SELECTION FACTORS IN LIGHTING SYSTEMS UPGRADE PROJECT EVALUATION

Alvarez Cabal, Jose Valeriano; Martinez Huerta, Gemma; Pecharroman Clemente, David; Vigil Berrocal, Miguel Angel
Universidad de Oviedo

In the commercial documentation regarding the upgrading of industrial lighting systems it is stressed the comparison of luminous flux among lamps and electric consumption. However, these are not the only factors to take into account. Even in general lighting systems, there should be remarked aspects such as depreciation of luminous flux, visual comfort and expected lifetime. In the cases where luminaries are not upgraded, compatibility is guaranteed by additional factors. Control systems lower electricity consumption in the installation to the conditions of use and make better use of natural light, but it is not always possible to switch on the lamp or dim the light as fast and efficiently as required. In this paper discusses the criteria to be taken into consideration when considering a project of upgrading interior lighting in an industrial environment. Based on these factors and according to their importance for a specific installation, the technological alternatives to be considered will be determined.

Keywords: *Industrial ligthing system; optimization; upgrading selection factors*

FACTORES DE SELECCIÓN EN LA EVALUACIÓN DE MEJORAS EN SISTEMAS DE ILUMINACIÓN INDUSTRIAL

La documentación comercial relativa a la actualización de sistemas de iluminación industrial hace hincapié en comparaciones de flujo luminoso entre lámparas y en consumos eléctricos. Pero estos no son los únicos factores a considerar. Incluso en sistemas de iluminación general deberían aparecer aspectos como la depreciación del flujo luminoso, el confort visual y vida útil esperada. En los casos en los que las luminarias deseen mantenerse aparecen factores adicionales para asegurar la compatibilidad. Los sistemas de control permiten reducir los consumos de la instalación a las condiciones de uso y aprovechar mejor la iluminación natural, pero no siempre es posible encender la lámpara u oscurecerla con la rapidez y eficacia necesaria. En la ponencia se exponen cuáles son los criterios que deben considerarse al abordar un proyecto de mejora de iluminación interior en entorno industrial. A partir de estos factores y, en función de su importancia para un instalación concreta, se podrá determinar las alternativas tecnológicas que deben ser consideradas.

Palabras clave: *iluminación industrial; factores de selección; optimización*

Correspondencia: Valeriano Alvarez Cabal valer@api.uniovi.es

1. Introducción

Las tecnologías disponibles en iluminación han sufrido una verdadera revolución en los últimos lustros. La aparición, y sobre todo, la reducción de precio, de tecnologías de estado sólido, entre otras, han supuesto una progresiva mejora en la eficacia promedio de los sistemas de iluminación.

Hay un importante potencial en la mejora de eficiencia energética y otras características en la iluminación de instalaciones industriales. El consumo de estas instalaciones suele no ser considerado, pero de acuerdo, con estudios como el realizado por la IEA supone 8,7% del consumo de energía en la industria. Aunque el porcentaje es relativamente bajo se corresponde con unas cifras de consumo y, por ende, de coste realmente grandes.

Las mejores en la eficiencia se pueden realizar escogiendo las tecnologías más adecuadas, y también, sustituyendo en instalaciones existentes las lámparas existente por otras de mejores características (*retrofit*). Esta última opción es una tendencia creciente, aunque es necesario analizar en profundidad la viabilidad técnica y económica de este tipo de proyectos.

Suponer que la eficiencia energética es el único parámetro relevante es un error habitual. Esta ponencia pretende introducir que factores deben ser considerados

2. Objetivos y metodología

El punto de partida de este trabajo es el interés de las grandes compañías industriales en optimizar sus consumos en iluminación. Aunque en compañías de sectores primarios el gasto energético en iluminación es muy pequeño, algunas compañías están muy interesadas en la actualización de sus sistemas de iluminación. Las razones son variadas:

- Representan una alternativa de mejora que requiere una inversión relativamente pequeña
- Se relaciona fácilmente con parámetros de mejora medioambiental como la ecoeficiencia y la huella de carbono, siendo los departamentos relaciones con medio ambiente los que se convierten en motores del cambio,
- La evolución tecnológica en el sector es muy visible y despierta un interés por las nuevos tipos de lámparas disponibles.

Este trabajo se basa en el interés de una compañía del sector primario en revisar el estado del arte de las tecnologías existentes en iluminación con vista a establecer que tecnologías deberían tenerse en cuenta en los proyectos de actualización y en las nuevas iluminaciones.

En primer lugar se estableció cuáles eran las razones que las distintas instalaciones tenían al comenzar los proyectos de actualización, encontrándose dos motores básicos:

- Disminución de los costes. Se incluyen los costes de la energía eléctrica consumida y del mantenimiento. Este último aspecto es muy relevante en ciertas instalaciones en las que el acceso a las luminarias es difícil y costoso.
- Evitar mantenimientos correctivos. La búsqueda de respuestas mejores o más económicas para la iluminación de zonas como temperaturas relativamente altas, alta suciedad, o sufriendo golpes y vibraciones.

Si la motivación era una disminución de costes se habla de periodos de retorno bajos. La mayor parte de los estudios realizados utilizan valores de costes de la energía eléctrica

relativamente altos (mercado del usuario doméstico o comercial) y no precios de suministro industrial (que para grandes consumidores puede alcanzar valores del orden de 40 a 50 euros el Mwh).

Con estas premisas se planteó orientar los esfuerzos en tres pasos sucesivos:

- Realizar una revisión de las tecnologías existentes y de las emergentes
- Establecer que factores deberían contemplarse en la selección de las tecnologías a evaluar para un caso concreto de iluminación industrial
- Evaluar el ciclo de vida de costes de las distintas tecnologías para diversas situaciones para seleccionar las alternativas de mejora idóneas.

Esta ponencia recoge los factores que se deben considerar al evaluar las tecnologías. Es habitual que, al presentar ofertas, se haga hincapié exclusivamente en la eficiencia o en la vida útil, sin tener en cuenta otros factores. E incluso con factores como la eficicienca es necesario tener en cuenta aspectos como la depreciación. En esta ponencia se describirán los factores principales que se deberán tener presentes al evaluar ofertas de actualización o de nuevas instalaciones de iluminación.

3. Entorno industrial

El entorno industrial es muy variado, pero se consideran una serie de características que serán tenidas en cuenta al decidir los factores relevantes:

- Se piensa en sistemas de iluminación general con luminarias colgantes
- La separación entre el plano de trabajo y la lámpara puede ser muy grande, muy superior a los dos metros en muchos casos. Como consecuencia la potencia de las lámparas individuales debe ser muy superior.
- Dada su posición, altura, dificultad de acceso, entre otros factores, la sustitución de las lámparas es más dificultosa y cara.
- Las condiciones ambientales pueden ser extremas, estando las lámparas a temperatura alta, vibraciones, humedades excesivas, etc.
- No hay requisitos de iluminación muy grandes. Si los hubiese se resolverían con iluminación localizada
- Habrá instalaciones en los que las luminarias estén encendidas de forma continua con lo que el tiempo de encendido no es tan relevante
- En ciertas instalaciones, la presencia de iluminación natural hace necesario disponer de sistemas de control del flujo luminoso
- No existen grandes requisitos en la reproducción cromática

4. Factores a considerar

Decidir que tipo de iluminación que es más adecuado para un uso específico requiere tener en consideración diversos factores. Como primera impresión se pediría que las lámparas elegidas sean

- Tan eficientes como sea posible
- Ofrecer una buena reproducción del color
- Capaces de soportar las condiciones ambientales
- Adaptables al uso de sistemas de control
- De bajo coste
- De tecnología suficientemente probada y conocida

El uso industrial es muy diverso, pero tiene algunas características específicas que lo separan de los usos comercial y residencial, entre las que destacan las siguientes:

- La separación entre el plano de trabajo y la lámpara puede ser muy grande, muy superior a los dos metros en muchos casos. Como consecuencia la potencia de las lámparas individuales debe ser muy superior.
- Dada su posición, altura, dificultad de acceso, entre otros factores, la sustitución de las lámparas es más dificultosa y cara.
- Las condiciones ambientales pueden ser extremas, estando las lámparas a temperatura alta, vibraciones, humedades excesivas, etc.

De entre todos los factores que se pueden considerar se propone como los más relevantes los siguientes:

Tabla 1 Factores a considerar

Eficiencia	•Eficiencia inicial •Depreciación con el uso
Duración	•Duración •Respuesta a los ciclos de uso •Forma de fallo
Resistencia a las condiciones ambientales	•Resistencia a la vibración • Variación del comportamiento con la temperatura
Posibilidades de control	•Tiempos de encendido •Regulación
coste	•Coste total •Retrofit

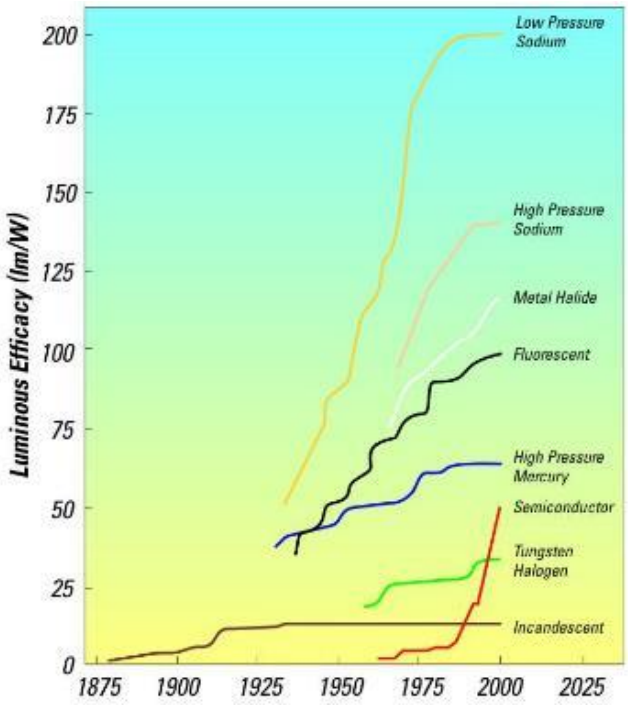
De estos factores se han excluido otros, que pueden tener relevancia en determinados casos como la respuesta cromática, la calidez de la luz producida, la disponibilidad de la tecnología (plasma y lámpara de sulfuro son tecnologías con pocos fabricantes y poco probadas).

La selección de los factores se ha realizado como primer paso para la elaboración de una herramienta de selección, siendo realizada a partir de los datos obtenidos por bibliografía y las opiniones de los expertos de una compañía multinacional.

5. Eficiencia

La eficiencia de una lámpara se define como el ratio entre la luz emitida y la energía eléctrica consumida y es medida en Lumenes por watio (lm/W). Los valores están en constante mejora por el cambio de tecnologías y por la mejora dentro de cada tecnología, como se puede observar en la siguiente figura:

Figura 1 Evolución de la eficiencia (LIA 2009)



La eficiencia en iluminación se ve afecta por la forma y los materiales de las luminarias y por los balastos o componentes electrónicos que adaptan las necesidades de la lámpara a los requisitos de la lámpara.

Al comparar tecnologías es necesario tener en cuenta dos hechos: el primero es que los datos proporcionados son calculados en condiciones específicas de laboratorio (temperatura, balasto con características superiores, etc), el Segundo es que puede haber grandes diferencias en eficiencia en lámparas con la misma tecnología pero de igual potencia (fluorescentes de 36W tienen eficiencias de 100 lm/W pero este valor se reduce enormemente en fluorescente de pequeño tamaño, el mismo fenómeno se produce en otras tecnologías).

En el caso de los balastos, su influencia se produce a través de dos efectos. El primero es la variación en la cantidad de luz realmente emitida por la lámpara en relación con la configuración utilizada en las pruebas realizadas por el fabricante. Para tener en cuenta este valor se introduce el factor de balasto que relaciona ambos. En la actualidad el factor de balasto suele tomar valores altos llegando a superar la unidad. La mejora en la calidad y prestaciones de los balastos ha sido muy grande en los últimos años. El segundo efecto es el propio consume eléctrico del balasto o sistema equivalente.

Además del valor inicial de la eficiencia es necesario considerar la depreciación. La luz emitida por las lámparas va disminuyendo con el uso. La importancia de la depreciación depende de la tecnología pudiendo llegar a valores del 40% o más.

En la mayor parte de los casos, el consume eléctrico de la lámpara permanece constante disminuyendo la emisión luminosa. En las lámparas de sodio de baja presión, se mantiene constante la emisión luminosa incrementándose el consumo, lo que supone una bajada en la eficiencia.

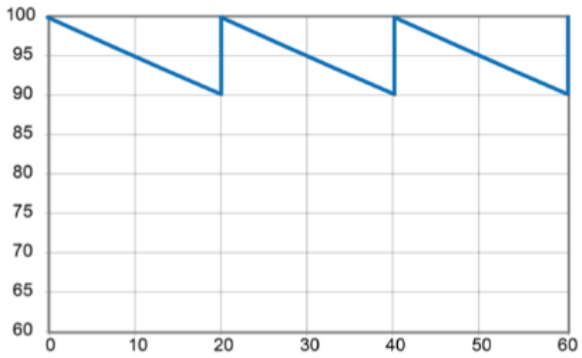
Si se quiere asegurar un nivel mínimo de iluminación en toda la vida útil de la lámpara, la depreciación debe ser tenida en cuenta. Si la tecnología tiene una depreciación importante

(como las lámparas de descarga de halogenuros metálicos) se debe incrementar la potencia y cantidad de lámparas para que, aun afectadas por la depreciación, cubran el nivel de iluminación deseado.

Los fabricantes ofrecen muy habitualmente datos de eficiencia inicial, en otras ocasiones dad eficiencias promedio. Lo deseable sería disponer de una curva que relacione la depreciación relacionada con el tiempo de uso. Así será posible tener en cuenta este efecto para elegir el momento más adecuado para la sustitución de las lámparas.

La depreciación puede ser lineal (como en los fluorescentes, LEDs, etc) o ser alta al principio y luego ser lineal (descarga de halogenuros metálicos). Por ejemplo, en los fluorescentes la depreciación es lineal (CIE 2005) La siguiente figura muestra tres ciclos de reemplazo de fluorescentes que se realizan a las 20.000 horas donde un 90% de la emisión luminosa inicial se mantiene. En el eje vertical se muestra la luminancia relativa en tanto por ciento y en el eje horizontal el número de horas de funcionamiento expresadas en miles.

Figura 2 Ejemplo de depreciación de fluorescente



La depreciación depende de la tecnología de la lámpara y de los materiales y forma e construcción. Los valores pueden ir desde un 1 o 2% en fluorescentes cada 1000 horas de uso hasta un 25% en las primeras 2.000 horas de uso en las antiguas lámparas de halogenuros metálicas de matriz cerámica.

Las lámparas de Estado Solido (LED, principalmente) deben ser tratadas de forma diferente ya que su tiempo de vida se determina en función de la depreciación. Se considera que una lámpara LED llega al fin de su vida útil cuando el flujo luminoso es el 70% del original.

Hay otros factores que pueden afectar a la depreciación con la posición de la lámpara en la luminaria, las condiciones ambientales, frecuencia de encendido, etc. Por ejemplo, la eficiencia de los fluorescentes varía en función de la temperatura, tal y como se ven en la siguiente figura, afectándoles especialmente las bajas temperatura.

6. Duración

La duración de una lámpara se considera como el tiempo de uso hasta que la lámpara falla o presenta condiciones no adecuadas para el uso. Se calcula como un promedio. IESNA considera que la duración se calcula de acuerdo con el momento en que un 50% de las lámparas están aún operativas.

Para algunas tecnologías, como los LED, la duración se calcula a partir del momento en que el flujo luminoso de la lámpara es el 70% del inicial. Es una práctica habitual mostrar en los catálogos una duración garantiza que tiene un margen del 50% sobre la duración estimada a partir de pruebas.

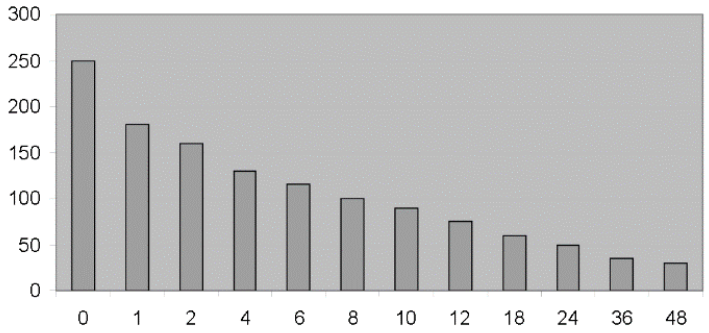
Las nuevas tecnologías han alargado la duración hasta alcanzar las 100.000 horas. Realizar pruebas de laboratorio de esta duración no es posible, por lo que las duraciones son

estimadas a partir de datos recogidos en pruebas más cortas. La necesidad de estimar las duraciones introduce cierto grado de error en el cálculo de las duraciones de tecnologías como inducción o LED. Por esta razón, es poco habitual encontrarse con duraciones garantizadas de más de 50.000 horas.

La extensión en la duración es una de las ventajas fundamentales de las nuevas tecnologías (inducción, LED).

La duración de la lámpara puede depender de factores como la frecuencia de encendidos o la temperatura de funcionamiento. Un ejemplo muy claro es el acortamiento de la vida de una lámpara fluorescente al aumentar la frecuencia de uso. El desgaste del electrodo que se produce en cada encendido reduce la vida útil de la lámpara. En la siguiente figura se puede observar la relevancia de este efecto al variar el número de encendidos promedio cada 24 horas, estando situados en el eje horizontal el número de encendidos por día y en el eje vertical el porcentaje en tanto por ciento sobre la vida útil estimada en los ensayos:

Figura 3 Efecto del número de encendidos diarios en la vida útil de un fluorescente (Fuente: CIE)



Otro factor a considerar es la forma en que se presenta el fallo. El fallo puede ser total cuando la lámpara deja de funcionar pudiendo dejar bruscamente una zona en oscuridad, o puede ser una depreciación en el flujo luminoso hasta hacerlo inferior al valor mínimo exigido. El segundo tipo de fallo es preferible pues es progresivo, pudiendo detectarse la necesidad del cambio y no produciendo problemas de seguridad. El primer tipo de fallo es típico de las lámparas de incandescencia. Los fluorescentes presentan avisos de mal funcionamiento, pero su fallo es igualmente total. En cambio, las lámparas LED presentan una depreciación continua y los fallos totales son muy raros.

7. Resistencia a las condiciones ambientales

El funcionamiento de las lámparas se puede ver afectado por las condiciones ambientales. Por ejemplo, la temperatura puede afectar a su vida útil, al flujo luminoso, a la velocidad con el que este se reduce, a la forma de fallo, etc.

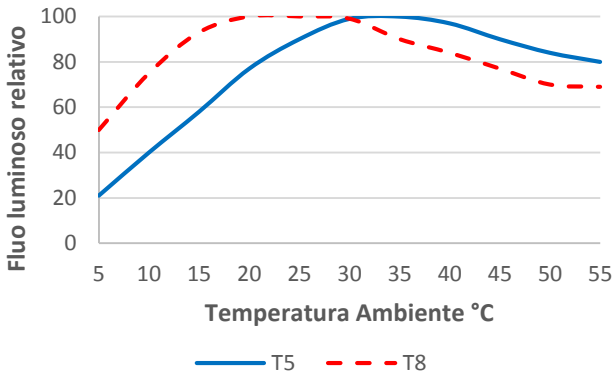
Los principales factores que deben ser tenidos en cuenta en entornos industriales son la temperatura y las vibraciones. Estos factores son poco relevantes en edificación residencial o comercial (salvo excepciones) pero los edificios industriales pueden presentar condiciones muy variables de temperatura y fuertes vibraciones.

Las vibraciones pueden causar fallos en las lámparas de descarga (siendo un ejemplo muy claro los fluorescentes), y desajustes en los acoples de los balastos. Las tecnologías que carecen de ellos como inducción y LED ofrecen una muy buena resistencia a la vibración.

Los edificios industriales contienen entorno en los que las temperaturas pueden ser más altas o bajas. La temperatura de funcionamiento puede afectar a la eficacia y duración de las

lámparas. Cada tecnología tiene una respuesta distinta. Mientras que los fluorescentes bajan mucho su eficacia en condiciones de baja temperatura, como se puede ver en la siguiente figura. En cambio, las lámparas LED ven muy reducida su vida útil en entornos de alta temperatura.

Figura4. Relación entre flujo luminoso y temperatura para fluorescentes T5y T8 (Fuente Lithonia)



Una alta temperatura de funcionamiento también afecta a los balastos, reduciendo su vida útil. Son dispositivos electrónicos muy sensibles al sobrecalentamiento.

Existente lámparas fluorescentes y LED adaptadas condiciones de temperatura más alto, pero una tecnología como inducción se adapta perfectamente a condiciones extremas.

8. Posibilidades de Control

Los sistemas de control permiten adaptar la intensidad de la luz a la necesidad actual. Para poder actuar se necesita: por un lado capacidad para encenderse en muy corto espacios de tiempo (tiempo de encendido) y por otro la capacidad de variar el flujo luminoso (*dimming*). Un corto tiempo de encendido permite utilizar sensores de presencia, por ejemplo. La capacidad de variar el flujo luminoso permite, por ejemplo, adaptarlo a la iluminación natural presente en el plano de trabajo.

El tiempo de encendido se define como el tiempo que va entre que se activa la lámpara y el momento en que alcanza su flujo luminoso máximo. También es relevante el tiempo de re-encendido. Las tecnologías de descarga (salvo fluorescentes) tienen tiempos de encendido más altos. El caso más extreme son las lámparas de vapor de mercurio que pueden tardar 2 minutos en encenderse completamente.

El control del flujo luminoso permite adaptarlo a las condiciones ambientales. Hay tecnologías donde dicho control es complicado como el fluorescente, otras como los LEDs en los que es posible dependiendo de cómo se construya la lámpara y otras tecnologías en las que la adaptación es sencilla como la inducción.

9. Coste económico

El coste considerado debe incluir: el propio coste de la lámpara, el coste de la luminaria, el coste del mantenimiento (incluyendo el reemplazo de las lámparas) y el coste de la energía eléctrica.

En un entorno industrial, el coste de sustituir la lámpara puede ser muy grande, dado que puede estar situado a una altura y con unos obstáculos que hagan complicado el acceso. Este aspecto tiene una importancia mayor. En cambio el coste de la energía eléctrica puede

ser más reducido al disponer de tarifas eléctricas con un coste por kwh inferior al del usuario conectado a baja tensión.

En el cálculo del coste económico del ciclo, aparecen todos los factores antes indicados. La forma en que se realiza el mantenimiento es también relevante. Se puede realizar una sustitución periódica en el momento evitando fallos puntuales. Aunque no se aproveche la totalidad de la vida útil, el coste del mantenimiento puede reducirse al usar equipos de elevación y personal de forma más eficaz.

El caso de la mejora de sistemas ya existentes es particularmente interesante. Muchas tecnologías se adaptan como mejoras de otras anteriormente disponibles. Los fluorescentes compactos aparecen para reemplazar a las incandescentes. Y las LED se disponen en un principio con los mismo sockets. Dentro de las lámparas de descarga, las sucesivas mejoras de las lámparas de halogenuros metálicos aparecen con potencias pensadas para sustituir a lámparas ya existentes de tecnologías obsoletas. En la actualidad, surgen lámparas de inducción y LED como opciones de mejora para las lámparas de descarga. En el caso de los fluorescentes surgen los tubos LED que se adaptan a las luminarias existentes.

En este tipo de sustituciones lámpara a lámpara manteniendo la luminaria es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los tamaños tanto de las lámparas como de los balastos deben adaptarse. Así mismo, la luminaria debe ser capaz de soportar el peso de la nueva lámpara
- Puede ser necesario una adaptación de la luminaria, como, por ejemplo la retirada de los balastos al sustituir los fluorescentes por tubos LED.
- Las formas de las luminarios no están pensadas para aprovechar las características de las nuevas lámparas, por lo que el resultado puede ser menos eficaz que la sustitución de la totalidad de la luminaria

10. Conclusiones

En el diseño de instalaciones de iluminación general en entornos industriales es necesario considerar diversos factores en la selección de las tecnologías. Para cada instalación es necesario evaluar la importancia relativa de los factores para cada caso concreto.

Las naves industriales suelen tener una planta rectangular con una altura considerable si se compara con los usos doméstico y comercial. Suelen estar construidas en materiales opacos y están dotadas de sistemas de iluminación general de luz difusa. La altura es un parámetro importante puesto que la potencia de cada luminaria individual crece al aumentar la altura sobre el plano del trabajo. Esto representa un problema para tecnologías como el fluorescente, limitada en cuanto a su potencia individual o para los LED, por la dificultad que supone evacuar una creciente cantidad de calor. Se considerará una altura inferior a 6 metros. El número de encendidos y apagados es bajo, y no suelen disponer de sistemas de control de iluminación. Las exigencias en cuanto a gama cromática no son grandes salvo excepciones (control de calidad, labores delicadas). Valores de CRI superiores a 70 son suficientes, por lo que no discrimina entre las tecnologías más habituales.

Las condiciones de uso pueden ser bastante exigentes. Muchos procesos industriales requieren calentamientos y las temperaturas del entorno de trabajo son más altas que la temperatura ambiente. En otras instalaciones pueden ser condiciones de baja temperatura, de alta humedad, etc. A diferencia de los entornos doméstico y comercial, la resistencia a condiciones ambientales adversas es muy relevante en la selección de las tecnologías. Altas temperaturas ambientales hacen más complicado el uso de LEDs, por ejemplo. Pero en cambio, si las luminarias deben ir montadas en estructuras sometidas a vibración, seleccionar los LEDs seria una clara opción a considerar. De una forma a otra, las condiciones ambientales es un factor muy relevante.

El factor económico es extremadamente relevante en la selección. Se considera de forma más consecuente todo el ciclo de vida de coste incluyendo los costes de instalación, los consumos eléctricos y los costes de mantenimiento.

La siguiente tabla refleja la importancia relativa de cada uno de los factores:

Tabla 2 Relevancia de los factores

Eficiencia	
Vida útil	
Resistencia ambiental	
Control	
Coste	

Para cada instalación en particular debe ajustarse la importancia relativa de cada uno de los componentes. Aparte de estos factores hay otros no considerados como el confort visual y la reproducción cromática, la disponibilidad de las tecnologías, etc que podrán ser relevantes para casos concretos.

Referencias

CIE97, 2005. Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems, Vienna: CIE97.

ECBCS, 2010. Guidebook on energy efficient Electric Lighting for Building, Esppo: IEA -Aalto University.

Lithonia Lighting, 2004. Source Selection Guide HID and Fluorescent

LIA 2009, Lamp History, Lighting Industry Association

05-029

REVIEW OF APPLICABILITY OF NEW LIGHTING TECHNOLOGIES IN HEAVY INDUSTRIAL SECTOR.

Alvarez Cabal, Jose Valeriano; Martinez Huerta, Gemma; Pecharroman Clemente, David; Vigil Berrocal, Miguel Angel
Universidad de Oviedo

In the last decade, a major change in the availability of lighting technology has been in progress. The constant improvement in SSL technologies (Solid State Technologies), mainly LED, has been the fundamental trigger. However, another technologies such as plasma and induction haven also been developed. A dragging effect has been produced and popular technologies as fluorescents and metal halide lamps have substantially improved their performance. With all these possibilities, the projects for lighting optimizing can be a relevant source of saving for businesses. Currently, there is a huge amount of information available, most of it having a commercial approach. This paper is intended to show the features of the new technological developments with their pros and cons and possible risks, also expecting to provide a basis for a reliable information on projects for improvement industrial lighting.

Keywords: *lighting systems; retrofit; LED*

REVISIÓN DE LA APLICABILIDAD DE NUEVAS TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN EN ENTORNOS INDUSTRIALES

A los largo de la última década se ha producido una importante cambio en las tecnologías de iluminación disponibles. La mejora constante de las tecnologías SSL (Solid State Tecnologies), principalmente los LED, han sido el detonante fundamental. Pero también han desarrollado tecnologías como inducción y plasma. Se ha producido un efecto arrastre y tecnologías asentadas como fluorescentes y lámparas de haluros metálicos han mejorado sensiblemente sus prestaciones. Con todas estas posibilidades, los proyectos de optimización de la iluminación pueden suponer una fuente de ahorro relevante para las empresas. En la actualidad hay una ingente cantidad de información disponible, la mayor parte de la cual tiene un enfoque comercial. Esta ponencia intenta mostrar las características de los nuevos desarrollos tecnológicos mostrando sus ventajas, pero también sus inconvenientes y posibles riesgos. Se intenta sirva de base para posibilitar una evaluación informada de los proyectos de mejora de iluminación industrial.

Palabras clave: *sistemas de iluminación; reemplazo; LED*

Correspondencia: Valeriano Alvarez Cabal valer@api.uniovi.es

1. Introducción

Aunque, en el sector industrial, el mayor consume eléctrico se produce en los procesos productivos, el consume en la iluminación es significativo. De acuerdo con los datos del 2005 recabados por la IEA (International Energy Agency) un 8,7% del consume de energía eléctrica en el sector industrial se corresponde con la iluminación. (IEA, 2006).

De acuerdo con los informes sobre uso de la energía eléctrica en el sector industrial llevados a cabo por el US Department of Energy in 2001 (Navigant, 2002) se estimó que el consumo de la iluminación en el sector industrial en USA fue de 108 TWh, lo que supuso el 10.6% del consumo total de energía eléctrica en el sector industrial.

La IEA estima una eficiencia media de las lámparas utilizadas en el sector industrial de 80 lum/W. Las tecnologías de iluminación más habituales son las lámparas fluorescentes y las lámparas de descarga de halogenuros metálicos (HID), que representaban el 67% y el 31% respectivamente. Las lámparas fluorescentes suponían en el año 2005 más del 75% del total en el sector de edificios comerciales según datos de la OECD. El consumo energético anual promedio varía en función del tipo de edificio industrial, yendo de 37 a 107 Kwh/m2.

Aunque en la mayor parte del siglo pasada, los intervalos entre cambios relevantes en la tecnologías se podían medir en décadas, en los últimos 25 años las tecnologías presenten en el sector se han modificado muy rápidamente. Los cambios se han reflejado muy rápidamente en el sector residencial dado la baja eficiencia de parte de las soluciones utilizadas. En cambio, tecnologías como los fluorescentes ofrecen buenas condiciones de eficiencia y duración y están siendo sustituidas de forma más progresiva. Nuevas tecnologías como los Light Emitting Diodes (LED) se están expandiendo muy rápidamente, aparecen otras tecnologías y también se produce una mejora progresiva de las ya existentes.

Hay muchas tecnologías de lámparas para iluminación En función del proceso físico o químico que genera la luz, se pueden clasificar en:

- Incandescentes. La luz se produce por el calentamiento de un filamento por el paso de corriente eléctrica.
- Descarga. La luz se produce por la excitación de un gas sujeto a una descarga eléctrica entre dos electrodos (fluorescentes, vapor de mercurio, halogenuros metálicos).
- SSL. La luz es emitida por un semiconductor (LED)
- Inducción: La excitación de mercurio por un potente campo electromagnético hace que se emita radiación ultravioleta que incide en el recubrimiento de fosforo del bulbo generando luz visible. (inducción, plasma, etc)

Desde el punto de vista de situación comercial, se puede clasificar las tecnologías en tres categorías: obsoletas, actuales y emergentes. La clasificación se puede observar en la siguiente ilustración:

Tabla 1. Tecnologías de iluminación.

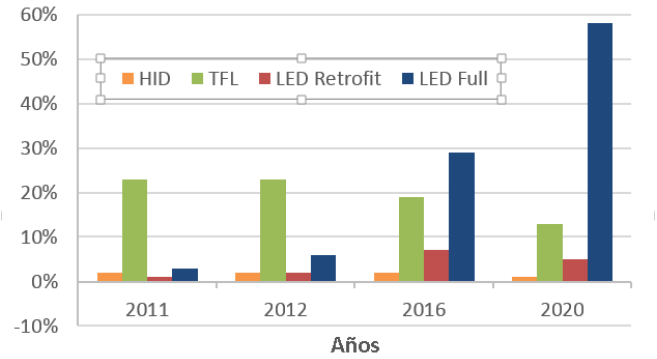
Obsoletas	Actuales	Emergentes
•Incandescentes Fluorescentes T12 Halogenas Sodio de Baja Presión Vapor de mercurio	•Fluorescente T8 y T5 Halogenuros metálicos Sodio de Alta Presión Fluorescentes Compactas LED	•LED Inductión Plasma

Las lámparas LED aparecen como tecnología actual y también como emergente, ya que son una realidad eficaz en el momento actual pero siguen en desarrollo y se esperan mejoras relevantes en sus características.

De acuerdo con los datos publicados el año 2012 de US DoE, las instalaciones industriales disponen de fluorescentes tubulares (89.2 %) y lámparas de descarga, halogenuros metálicos (6.5 %) y sodio de alta presión (2.3 %). (US Department of Energy, 2012) El uso de tecnologías como incandescencia, halógenos y fluorescentes compactos era inferior al 1% en el año 2010 en el sector industrial.

En los próximos años se espera un crecimiento en la instalación de lámparas LED en detrimento de los fluorescentes, aunque pero no se espera un movimiento generalizado de actualización en las instalaciones existentes hasta después del año 2016. El uso de lámparas de descarga se mantendrá en instalaciones de gran altura y en exteriores. El comportamiento del mercado según el informe de la consultora McKinsey se muestra en la siguiente ilustración

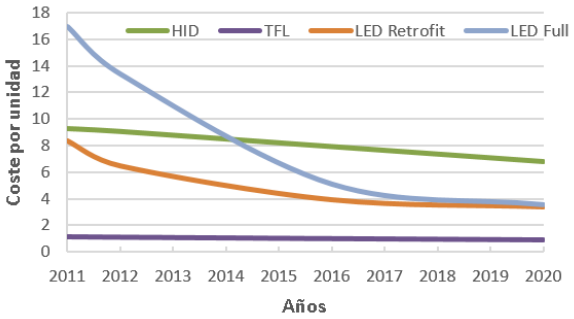
Figura 1. Porcentaje de los tipos de iluminación en el futuro próximo (Fuente: McKinsey).



El incremento de la difusión de los LED se verá apoyado en la reducción de precios y en la mejora gradual de calidades y disponibilidad de estas lámparas.

Se espera que todas las tecnologías reduzcan sus costes, pero en proporciones distintas. Los fluorescentes disminuirán su precio muy suavemente, pero en cambio los LED disminuirán su coste rápidamente, tal y como se muestra en la siguiente figura (McKinsey 2012)

Figura 2. Evolución de los costes de lámparas en los próximos años (Fuente Mckinsey)



2. Objetivos y metodología

El punto de partida de este trabajo es el interés de las grandes compañías industriales en optimizar sus consumos en iluminación. Aunque en compañías de sectores primarios el

gasto energético en iluminación es muy pequeño, algunas compañías están muy interesadas en la actualización de sus sistemas de iluminación. Las razones son variadas:

- Representan una alternativa de mejora que requiere una inversión relativamente pequeña
- Se relaciona fácilmente con parámetros de mejora medioambiental como la ecoeficiencia y la huella de carbono, siendo los departamentos relaciones con medio ambiente los que se convierten en motores del cambio,
- La evolución tecnológica en el sector es muy visible y despierta un interés por las nuevos tipos de lámparas disponibles.

Este trabajo se basa en el interés de una compañía del sector primario en revisar el estado del arte de las tecnologías existentes en iluminación con vista a establecer que tecnologías deberían tenerse en cuenta en los proyectos de actualización y en las nuevas iluminaciones.

En primer lugar se estableció cuáles eran las razones que las distintas instalaciones tenían al comenzar los proyectos de actualización, encontrándose dos motores básicos:

- Disminución de los costes. Se incluyen los costes de la energía eléctrica consumida y del mantenimiento. Este último aspecto es muy relevante en ciertas instalaciones en las que el acceso a las luminarias es difícil y costoso.
- Evitar mantenimientos correctivos. La búsqueda de respuestas mejores o más económicas para la iluminación de zonas como temperaturas relativamente altas, alta suciedad, o sufriendo golpes y vibraciones.

Si la motivación era una disminución de costes se habla de periodos de retorno bajos. La mayor parte de los estudios realizados utilizan valores de costes de la energía eléctrica relativamente altos (mercado del usuario doméstico o comercial) y no precios de suministro industrial (que para grandes consumidores puede alcanzar valores del orden de 40 a 50 euros el Mwh).

Con estas premisas se planteó orientar los esfuerzos en tres pasos sucesivos:

- Realizar una revisión de las tecnologías existentes y de las emergentes
- Establecer que factores deberían contemplarse en la selección de las tecnologías a evaluar para un caso concreto de iluminación industrial
- Evaluar el ciclo de vida de costes de las distintas tecnologías para diversas situaciones para seleccionar las alternativas de mejora idóneas.

Esta ponencia recoge las conclusiones extraídas del primero de los pasos. Se centra en las tecnologías emergentes, intentando mostrar sus ventajas pero también sus debilidades. En esta ponencia se repasan las características de las LED, lámparas de inducción y de plasma.

3. Tecnología Light Emitting Diode

El LED (Light Emitting Diode) es un semiconductor que emite luz. La luz se emite en un espectro muy estrecho, lo que permite buenas eficiencias. La luz producida por un único diodo LED no es suficiente, así que las lámparas LED se construyen a partir de grupos de diodos LED. Los diodos se alimentan en continua por lo que precisan de la adaptación de la alimentación en corriente alterna.

La principal dificultad de la tecnología LED es la dispersión del calor, que represente entre el 60 y el 80% de la energía suministrada. Por ello, los LED deben poseer elementos de disipación de calor como aletas. El problema es que el calor se concentra en un espacio muy pequeño y no es tan sencillo disiparlo como en otras tecnologías. Si se produce un sobrecalentamiento, la eficacia y la vida útil se rebajan. Los semiconductores se agrupan en

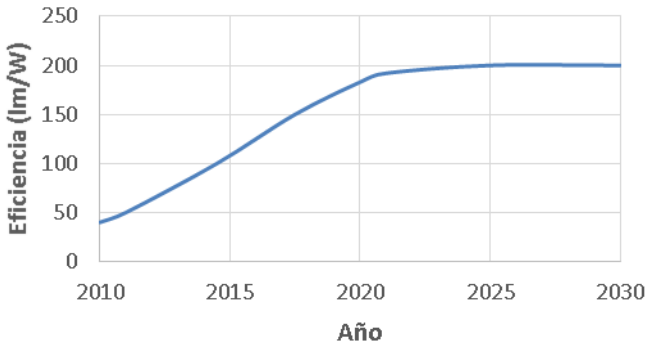
paquetes que contienen uno o varios chips montados sobre materiales buenos conductores del calor. El resultado que suele medir menos de 1 cm2 se agrupa componiendo la lámpara. Inicialmente se manufacturaron como lámparas planas o bulbos, pero en la actualidad están presentes en el mercado LEDs tubulares que pueden reemplazar a los tubos fluorescentes.

Los LED tubulares tiene mayores vidas útiles que los fluorescentes, pero su precio es muy superior. El reemplazo de un tubo fluorescente por un tubo LED exige puentear el balasto, aspecto que no suele estar contemplado en las comparaciones..

Recientemente se han desarrollado lámparas usando semiconductores orgánicos, denominándose “organic LED” o “OLED”. Los OLED se han utilizado en monitores y televisores, y en general, en pantallas de dispositivos electrónicos. Las lámparas OLED son laminas planas lo que permite integrarlas en paredes o divisiones proporcionando iluminación general. Se obtienen eficacias del orden de 90Lm/w, pero la tecnología está todavía en etapas iniciales de desarrollo, no considerándose aplicable al entorno industrial considerado

En cuanto a eficiencia, las lámparas LED alcanzan valores cercanos a los de las lámparas fluorescentes (que llegan a valores incluso superiores a 100 lumens/W). La progresión ha sido constante en los últimos años. Los bulbos alcanzaban valores promedio de eficiencia en productos presentes en el mercado de 80lm/W. La evolución en los próximos años, de acuerdo con los informes CALiPER se corresponde con un crecimiento constante.(CALIPER, 2012). Gran parte de la mejora está relacionada con la mejora de los sistemas de disipación. En la siguiente grafica se muestra el avance en eficiencia esperado por el US Department of Energy para los próximos años:

Figura 2. Mejora futura de la eficiencia LED. (Fuente DoE)



La depreciación del flujo luminoso en los LED es función de la tasa de fallo de los componentes. Se usa como medida del ciclo de vida el momento en el que el flujo luminoso es el 70% del flujo inicial. La depreciación es constante en el tiempo, siendo la vida útil estimada entre 25.000 y 100.000.

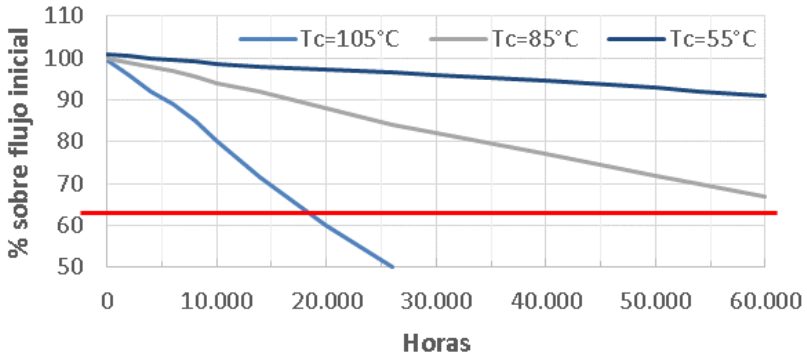
La vida de una lámpara LED más habitualmente considerada de una lámpara LED es de 50.000 horas. Este valor se mide por el momento en el que el flujo luminoso es el 70% del inicial. Este valor es superior a las 40.000 horas que pueden alcanzarse con tubos fluorescentes de larga duración y, mucho mejor que el habitual en las lámparas de descarga. Su larga vida útil es una de sus ventajas principales haciéndolos idóneos para casos en los que la sustitución de las lámparas es una tarea compleja.

Existe cierto debate en cuanto a la vida útil real, pues el efecto de las condiciones ambientales no es tenido en cuenta. Otro aspecto a considerar es que la vida útil de, por ejemplo, un fluorescente y de una lámpara LED se mide de forma distinta. Si el fluorescente tiene una vida de 20.000 horas, lo que indica es que el promedio de la vida de los fluorescentes será superior a esa cantidad y que si sigue funcionando a las 20.000 horas,

emite un 90% o más del flujo inicial. En cambio, para las lámparas LED, si la vida útil es 50.000 horas, al llegar a ese momento, las lámparas emiten un flujo luminoso promedio que es un 70% del inicial. Si ese cambio es constante a lo largo del tiempo, los estudios realizados indican que no se advierte por la mayor parte de los usuarios, pero en las LED se pueden llegar a observar zonas que no funcionan.

Además, el comportamiento de las lámparas LED depende en gran medida de la calidad constructiva. Hay grandes diferencias en la capacidad para disipar el calor en la unión p-n en función de los materiales utilizados, el diseño de los disipadores, etc. Por ejemplo, para una lámpara que mantiene la temperatura de la unión a 55ºC en 20.000 horas la depreciación puede ser del 5%, mientras que con una temperatura de la unión de 100ºC la depreciación seria del 40%. El efecto de la temperatura se describe en la siguiente gráfica. En cambio, al no tener electrodos, el número de encendidos y apagados no afecta a la vida útil.

Figura 3. Efecto de la temperatura en el flujo luminoso de una lámpara LED (Fuente CALiPER)



La reproducción del color ha sido uno de los aspectos en que mayor ha sido la mejora en la evolución de esta tecnología. La mayor parte de las lámparas tiene un CCT de 2,700 K, aunque existen ya muchas lámparas con valores superiores a 4000 K, valores más adecuados para espacios con exigencias de iluminación más altas.

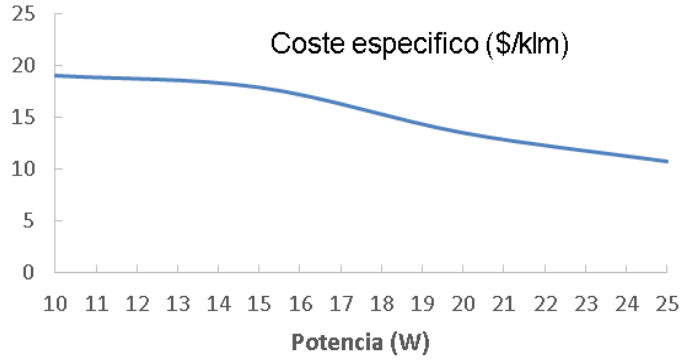
Las LED permiten un encendido prácticamente instantáneo y modificar linealmente el flujo luminoso con pérdidas pequeñas de eficiencia (5-10%). Esto las hace ideales para integrarse con sistemas de control. Pero hay que tener presente que no todas las lámparas LED lo permiten, debiendo asegurarse la compatibilidad entre el control de intensidad y el control de la lámpara.

Al carecer de electrodos, las LED no tienen problemas de funcionamiento en presencia de con las vibraciones de baja y media energía. Esto las hace muy interesantes en entornos industriales. También ofrecen una resistencia a la rotura mayor que otras lámparas en el transporte, almacenamiento e instalación ya que no contienen cristal. En cambio, su principal debilidad es el comportamiento ante altas temperaturas ambientales. Una temperatura ambiental alta impide la correcta disipación del calor generado en el diodo, lo que afecta a su eficiencia y vida útil. Hasta tal punto que muchas lámparas de alta potencia requieren sistemas para forzar la ventilación y mejorar la disipación de calor.

Las lámparas LED tienen unos costes específicos de fabricación más altos que tecnologías como los fluorescentes o las lámparas de descarga siendo su desventaja fundamental.

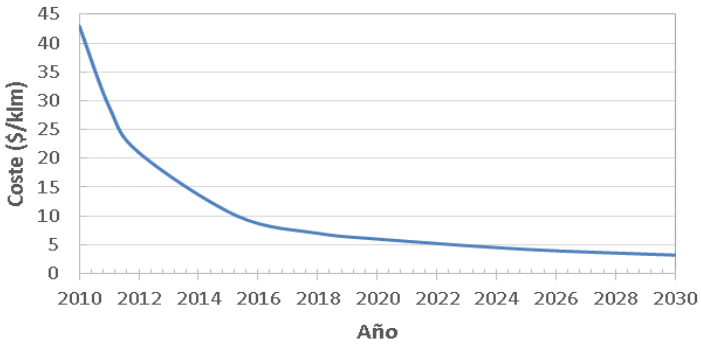
Por ejemplo en los tubos LED el coste específico se va reduciendo al aumentar la potencia, pero son muy altos en comparación con otras tecnologías, como se puede ver en la siguiente figura:

Figura 5. Coste especifico de tubos LED (Elaboración propia a partir de datos de Osram y Philips).



Se están haciendo grandes esfuerzos para reducir el coste. De acuerdo con las expectativas del US DoE los precios descenderán rápidamente hasta el 2020, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Figura 6. Evolución esperada del coste de lámparas LED.



4. Inducción

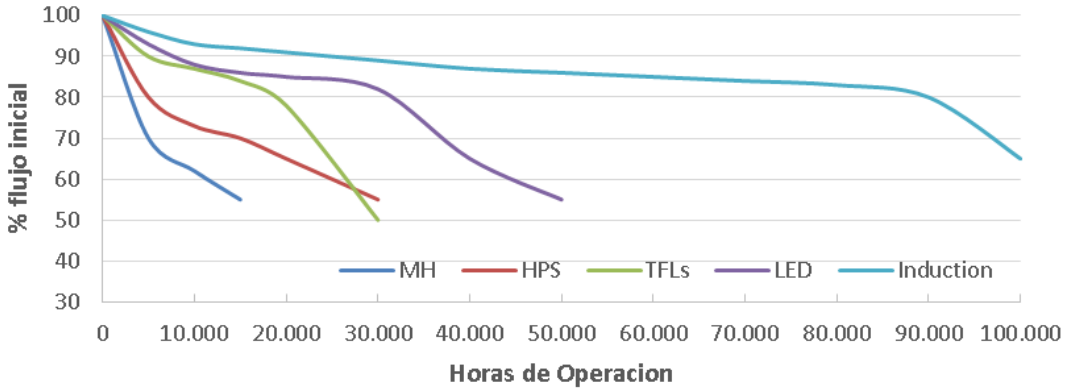
La lámpara de inducción es una lámpara de descarga de gas en la que la energía necesaria para producir luz no es trasferida en forma de arco entre electrodos sino generando un campo electromagnético.

Los principios en que se basan era conocidos desde hace muchas décadas pero su introducción en el mercado es relativamente reciente. El desarrollo de la electrónica ha permitido producirlas.

El campo electromagnético excita gas de mercurio, lo que hace que emita radiación ultravioleta que es convertida en luz en el espectro visible por medio del recubrimiento de fosforo del bulbo. Al carecer de electrodos, la vida útil se extiende mucho, entre 50.000 y 100.000 horas.

La eficiencia promedio es de 80 lm/W pero oscila mucho dependiendo de la potencia de la lámpara. Se espera que la eficiencia mejore progresivamente de forma parecida a la tecnología LED. Lo que marca una diferencia apreciable es la baja depreciación. Una lámpara de inducción mantiene a las 20.000 horas el 90% del flujo inicial. A partir de ese momento la reducción en eficiencia es muy pequeña, llegando a las 60.000 horas con un 85% del flujo inicial. Al acercarse el final de su vida util la depreciación se acelera. La siguiente figura compara la depreciación de distintos tipos de lámparas (descarga de halogenuros y de mercurio, fluorescentes, LED e inducción) quedando patente el buen comportamiento de este tipo de lámparas.

Figura 7. Comparativa entre depreciación de diversas tecnologías.



La vida útil es de 80.000 a 100.000 horas dependiendo de si son modelos internos o externos (en cuanto a la posición del magnetrón). Pero la bibliografía consultada propone como valor más adecuado las 60.000 horas.

La sensación visual es muy similar a las LED, con un CCT entre 2,700 and 4,000 K y un CRI superior a 80.

Las lámparas de inducción son muy compactas y robustas, soportando muy bien las vibraciones y las temperaturas extremas. Es una tecnología muy adecuada para entornos industriales con condiciones extremas y que precisan de lámparas de larga vida útil.

Las lámparas de inducción tienen ignición casi instantánea y puede controlarse el flujo luminoso mediante el balasto.

Su coste es alto y el número de fabricantes limitado. Es una tecnología en expansión. Si no mejora en las cifras de eficiencia y rebaja los costes, quedara constreñida a usos en ambientes extremos o para aplicaciones específicas. Lo compacto de la lámpara facilita su uso en sistemas ya existentes de iluminación por descarga.

5. Plasma (LEP)

Aunque las lámparas LED son la tecnología en iluminación con mayor potencial de crecimiento, no son adecuadas cuando se requieren grandes potencias (grandes alturas sobre el plano de trabajo). Las LED sufren la restricción por el calentamiento y al aumentar la potencia se hace más difícil disipar el calor sobrante. Para este tipo de necesidades surgen un tipo de lámpara de inducción denominada lámpara de plasma (LEP, light emitting plasma). Estas lámparas son una tecnología SSL distinta de la LED. Las LED usan un dispositivo electrónico para generar radiofrecuencia que ioniza los gases convirtiéndolos en un plasma que emite luz blanca muy brillante (CRI 95). La primera lámpara de plasma sin electrodos fue desarrollada por Tesla pero las lámparas actuales se desarrollaron en la década del 2000.

Las LEP son lámparas muy potentes, a partir de 10.000 lúmenes. Reúnen las características de Resistencia de las lámparas de inducción y la direccionalidad de las LED. Son muy compactas lo que hace que se puedan adaptar para sustituir a lámparas de descarga en instalaciones ya existentes.

La eficiencia depende del tamaño de la lámpara alcanzando valores de hasta 110 lm/W con una depreciación lineal. Con una vida útil esperada de unas 50.000 horas en los que se mantiene el 70% del flujo luminoso inicial.

La sensación visual es ligeramente mejor que con lámparas LED y de descarga.

Son lámparas resistentes, que soportan bien vibraciones, pero tienen problemas con altas temperaturas ambientales.

Aunque su tiempo de encendido es grande (30 segundos), una característica muy conveniente es que puede modificarse el flujo luminoso mediante el balasto electrónico que lo controla sin afectar a la vida útil.

Se suelen utilizar para sustituir lámparas de descarga en lugares que precisan lámparas con una potencia unitaria alta y cuando se quiere espaciar lo más posible los reeemplazos. El tamaño de la lámpara es pequeño, lo que permite adaptarlo a luminarias ya existentes y sustituir a lámparas de descarga con un ahorro que puede llegar al 40%.

Las lámparas de azufre son un tipo de lámpara de plasma que tiene como principal ventaja el ofrecer una iluminación similar a la de la luz del sol. Son un desarrollo relativamente reciente. Utilizan microondas para excitar gas de azufre y generar luz. El gas de azufre está contenido en un bulbo que está a muy alta temperatura pudiendo necesitar ventilación forzada en modelos de gran potencia. Desde el año 2005 las lámparas son comercializadas por Plasma Lighting System (grupo LG).

Son lámparas de larga vida (50.000-60.000 horas) y cuya principal ventaja es su temperatura de color (6000ºC). El control es difícil ya que solo permite reducir un 15% el flujo luminoso sin que se vea afectada la calidad de la luz y el encendido toma 20 segundos.

Aunque su eficiencia es buena (cerca de 100 lm/W) su desarrollo está pendiente de que se reduzcan sus costes de fabricación. Otros problemas son la vida del magnetrón y del motor necesario para rotar el bulbo y el ruido que generan los ventiladores que precisa para disipar el calor. Ya existen lámparas que no precisan ventilación forzada siendo una de las vías de desarrollo futuro.

6. Conclusiones

De entre las tecnologías en vías de implantación que pueden considerarse en entornos industriales para una nueva instalación o para la mejora de una instalación existente, se analizan la tecnología LED, la de inducción y la de plasma (con la variante de la las lámparas de azufre).

En la siguiente tabla se reúnen las ventajas e inconvenientes más relevantes de las tecnologías revisadas:

	Ventajas	Inconvenientes
LED	• Buena eficiencia. • Vida útil muy larga • Resistentes a impactos y vibraciones • Puede ser controlado • Existen muchas opciones pensadas para sustituir lámparas de otras tecnologías ya existentes	• Son luces muy concentradas lo que puede producir deslumbramiento. • No soportan temperaturas ambientales altas. • Hay calidades muy diversas siendo difícil diferenciarlas. • El coste se reducirá en el futuro haciendo que pueda ser más interesante posponer la actualización.
Inducción	• Muy larga vida con poco depreciación • Buena eficiencia aunque inferior a otras tecnologías • Posibilidad de realizar control con el propio balasto. • Muy resistente a condiciones de	• Su precio es todavía caro y es difícil recuperar el desembolso. • La oferta es amplia, pero no se puede comparar con la existente para otras tecnologías más asentadas.

	temperatura extrema y vibración	
Plasma	• Larga vida útil y alta eficiencia • Resistente a la vibración. • Alto confort visual (sin parpadeo y poco deslumbramiento) • Flujo luminoso controlable por el balasto.	• Es una tecnología en desarrollo que sigue siendo cara en relación con otras tecnologías y pocas compañías la venden. Los problemas de interferencia que producían los primeros modelos ya se han solventado

Pensando en instalaciones industriales altura (distancia entre la luminaria y el plano de trabajo) superior a 3 metros, la recomendación de uso seria la mostrada en la siguiente tabla:

	Recomendado	No recomendado en
LED	• Si la inversión no es relevante • Si el mantenimiento es complicado y tener un largo ciclo de vida es relevante • Con vibraciones • En un futuro, con los precios más bajos	• Instalaciones con bajo tiempo de uso • Si hay problemas de deslumbramiento (altas intensidad) • Ambientes de temperatura ambiente elevada • Si el coste de inversión es relevante
Inducción	• Actualizaciones de lámparas de haluros metálicos • Instalaciones con altos costes de mantenimiento	• Si el coste de inversión es relevante • Todavía no ofertado por los mayores fabricantes •
Plasma	• Actualizaciones de lámparas de haluros metálicos • Excelente calidad de luz	• Si el coste de inversión es relevante • No existen muchas referencias de uso • Pocos suministradores

Las recomendaciones están basadas en las modelizaciones efectuadas con un precio de energía de 40€ por Mwh.

Referencias

CALiPER Snapshot LED Lighting Facts Energy efficiency & renewable energy, DoE, 2013

McKinsey&Company, Lighting the way. Perspectives on the global lighting market, 2012

Navigant, 2002. U. S. Lighting Market Characterization Volume I: National Lighting, Washington: US DOE.

Energy Savings Potencial of Solid-State Lighting in General Illumination applications, US Department of Energy, 2013

05-032

FEASIBILITY STUDY AND DESIGN OF A BIODIESEL PRODUCTION PLANT FROM OIL OF MORINGA OLEIFERA SEED

Garcia-Fayos, Beatriz; Arnal Arnal, Jose Miguel; Felipe-Blasco, Alejandro; Sancho-Fernandez, Maria

Universitat Politècnica de València

The increase of the world population and, therefore, energy consumption along with the scarce and finite reserve of fossil fuels as well as the high environmental impact associated with its use, have promoted the existing interest and need to find and utilize alternative energies. Moringa oleifera, is an oleaginous plant of rapid growth and high adaptation to the climate, which is presented as an alternative to the production of biofuels. Its processing into biodiesel allows to enhance the oil-solvent mixture obtained as by-product during the extraction of an active compound present in the seed that is used in water treatment. This work, based on a study of the current energy context and the energetic alternatives to the use of traditional energy sources, designs a facility for the production of biodiesel based on a catalytic process with Moringa oleifera oil as raw material. We have been defined, measured and quantified the necessary stages for the process taking into account current legislation and the characteristics of the product obtained. Finally, the feasibility study of the project to obtain competitive fuel in today's market is discussed.

Keywords: *Biodiesel; Moringa oleifera; oil; seed*

ESTUDIO DE VIABILIDAD Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL ACEITE DE MORINGA OLEÍFERA

El aumento de la población mundial y, por ende, del consumo de energía junto con la escasa y finita reserva de combustibles fósiles así como el elevado impacto ambiental asociado a la utilización de éstos, han provocado el existente interés y necesidad por buscar y utilizar energías alternativas. Moringa oleífera, es una planta oleaginosa de rápido crecimiento y gran adaptación al clima, que se plantea como una alternativa para la producción de biocarburantes. Su procesamiento para la transformación en biodiesel permite revalorizar la mezcla aceite-disolvente obtenida como subproducto durante la extracción de un compuesto activo coagulante presente en la semilla muy utilizado en el tratamiento del agua. Este trabajo, partiendo de un estudio del contexto energético actual y las diversas alternativas enérgicas al empleo de fuente de energía tradicional presenta el diseño de una instalación para la producción de biodiesel fundamentado en un proceso catalítico con aceite de Moringa oleífera como materia prima. Para ello se han definido, dimensionado y cuantificado las etapas necesarias del proceso con especial atención a la legislación vigente y las características del producto obtenido. Finalmente se presenta el estudio de viabilidad del proyecto para la obtención competitiva del carburante en el mercado actual.

Palabras clave: *Biodiesel; Moringa oleifera; aceite; semilla*

Correspondencia: José Miguel Arnal jarnala@iqn.upv.es

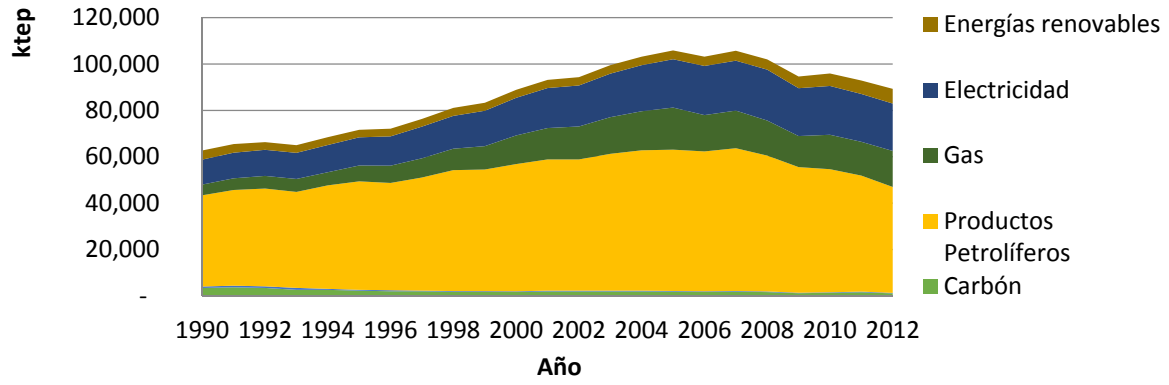
1. Introducción

La sociedad del siglo XXI es una sociedad en constante desarrollo y ello lleva implícito un aumento del consumo energético para cubrir la demanda de la población. Un consumo principalmente motivado por el aumento de la demografía y el crecimiento económico.

El sistema energético definido como el conjunto de recursos económicos, materiales y humanos que intervienen en el abastecimiento energético de las colectividades; comienza con la extracción o captación de la energía primaria, que tras ser almacenada, pasa a la etapa de conversión para la producción de energía final o secundaria. Esta última es distribuida y es la empleada por el consumidor.

La evolución de las últimas dos décadas, pone de manifiesto que el principal consumo energético siempre ha sido atribuido a los productos petrolíferos (Foro de la Industria Nuclear Española, 2013) tal y como muestra la figura 1. Si bien, se ha ido incrementando el uso de otros combustibles como el gas natural, en decremento del consumo de carbón. En la figura se observa también el significativo consumo de electricidad debido al avance del desarrollo tecnológico y el cambio a sistemas de calefacción eléctricos. Por último, se aprecia la aparición de las energías renovables, cuyo uso se ha incrementado en los últimos años.

Figura 1: Evolución del sistema energético español



El análisis de la evolución del sistema energético español ha puesto de manifiesto que la mayoría de la energía consumida en España, y en el resto del mundo, proviene de recursos no renovables y limitados

De hecho, según las últimas previsiones (Statistical Review of World Energy, 2013) el petróleo descubierto actualmente se agotará dentro de 52 años aproximadamente, siempre que no haya nuevos descubrimientos y no varíe el consumo anual. Paralelamente, sin embargo, la producción de este recurso, lejos de disminuir, ha aumentado considerablemente desde el siglo pasado, lo que compromete todavía más la duración de las reservas. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de buscar fuentes de energía alternativas que puedan suplir la dependencia actual de recursos no renovables, finitos y cuyas reservas están comprometidas. Una de las alternativas es el uso de energías renovables.

Las energías renovables son aquellas que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, la biomasa y los biocombustibles . En la actualidad, este tipo de energía está siendo potenciado a nivel estatal, y de hecho el Plan

de Acción Nacional de Energías Renovables (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2010), fija como objetivo para el 2020 que el 20 % de la energía proceda de fuentes renovables. El presente trabajo se va a centrar en el diseño de un proceso de obtención de biocombustibles, por lo que se incidirá más en este aspecto.

El término biocombustible se emplea para designar a aquellos combustibles que se han obtenido por procesos físico-químicos a partir de material biológico renovable. Este tipo de material son normalmente vegetales como la soja, el maíz, el girasol o restos orgánicos.

Se puede considerar que son combustibles limpios ya que ellos mismos absorben durante el desarrollo vegetativo el CO_2 que generan al ser utilizados como combustible. La combustión de los biocombustibles genera cantidades de dióxido de carbono homólogas a las de los combustibles tradicionales, pero éstas se incluyen en el proceso cíclico cerrado de depuración atmosférica saldando el balance emisión/absorción de forma negativa, lo que indica su ventaja respecto de los combustibles tradicionales.

Por ello, es recomendable, la mezcla de ambos tipos de combustibles en cantidades proporcionales de entre el 5% y el 10%, con el fin de reducir las emisiones de CO_2 y así ayudar a la reducción de la contaminación atmosférica. Esta medida se ha establecido en países como Estados Unidos o los que conforman la Unión Europea. Esta última ha desarrollado un programa de sostenibilidad (Directiva 2009/28/CE) con objetivos para la introducción de biocarburantes en los combustibles convencionales (10% en el año 2.020). Este plan estima una reducción de un 35% de emisiones en el primer plazo y para el año 2.017 pronostica un reducción del 50% de las mismas (Ecoticias, 2009).

Esta afirmación, pone de manifiesto la importancia que han ido cobrando este tipo de biocombustibles dentro del campo de las energías renovables. Dentro de los biocombustibles se encuentra el biodiesel en el que se va a centrar este trabajo.

El biodiesel se define como “Ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión”, según las especificaciones de la ASTM (*American Society for Testing and Material Standard*). Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del gasóleo de automoción en cuanto a densidad y número de cetano (Da Silva, y otros, 2010). Si bien, presenta un punto de inflamación superior. El biodiesel se obtiene por la reacción de transesterificación que se muestra en la figura 2.

Figura 2: Reacción de transesterificación para la obtención de biodiesel

$$\begin{array}{l} CH_2-O-CO-R_1 \\ | \\ CH_2-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-O-CO-R_3 \end{array} + CH_2OH \rightleftharpoons CH_3-O-CO-R_3 + \begin{array}{l} CH_2-O-CO-R_1 \\ | \\ CH_2-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

$$\begin{array}{l} CH_2-O-CO-R_1 \\ | \\ CH_2-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-OH \end{array} + CH_2OH \rightleftharpoons CH_3-O-CO-R_1 + \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH_2-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

$$\begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH_2-O-CO-R_2 \\ | \\ CH_2-OH \end{array} + CH_2OH \rightleftharpoons CH_3-O-CO-R_2 + \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH_2-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{array}$$

Cualquier materia que contenga triglicéridos puede utilizarse para la producción de biodiesel. El consumo es mayoritario en el caso de girasol, de la colza, y el empleo de aceite de fritura usado, pero hay otras materias primas vegetales que también pueden ser empleadas. En algunos casos, se está estudiando el uso de semillas modificadas genéticamente para dar una mayor cantidad de aceite y así obtener un mayor rendimiento, como por ejemplo las semillas de girasol alto oleico.

La capacidad de producción de biodiesel en España, proporcionada por el medio centenar de plantas instaladas a finales de 2012, era de 4,9 millones de toneladas anuales, sin embargo, en ese mismo año se registró una producción de 500.000 toneladas, un 10% de la capacidad de la industria (Energías Renovables, 2013). Este hecho está motivado por la reciente legislación española, ya que hasta el año 2013 no se ha realizado la asignación de cuota para las explotaciones, desaprovechando el potencial de las instalaciones, así como el desaparición del incentivo fiscal de la producción de este tipo de energía desde 2012.

Este tipo de combustibles tiene como principal ventaja emplear recursos renovables para su elaboración e, incluso, materias primas que durante su fase de crecimiento reducen las partículas contaminantes producidas en la combustión o incluso valorizar residuos oleosos cuyo vertido representa un gran impacto en el medioambiente receptor. Por el contrario, presentan un dilema ético-moral en los casos que utilizan aceites comestibles vegetales, ya que surge la disyuntiva de utilizar productos alimentarios para consumo humano o para la producción de combustible. La consecuencia es que el precio de las semillas se incrementa, al reducirse su oferta como consecuencia de destinar una parte de éstas a la producción de biodiesel. En los últimos años, el desarrollo de la tecnología ha dado lugar a otras especies con alto rendimiento energético pero no tienen carácter alimentario, tales como la *Jartropha*. (García Camús & García Laborda, 2006)

La tabla 1 muestra diferentes materias primas para la obtención de biodiesel.

El presente trabajo se centra en la obtención de biodiesel a partir de aceite de Moringa oleífera. La *Moringa oleifera* es una planta con múltiples aplicaciones, aunque la principal es la extracción de un coagulante de sus semillas para el tratamiento del agua. En el proceso de extracción del coagulante, se extrae también el aceite de la semilla utilizando etanol generándose un residuo. El aceite puro puede ser utilizado como lubricante en mecánica o como aditivo en cosmética (Sengupta y Gupta, 1970), pero también como aceite comestible vegetal. Su composición permite que sea apto para fabricación de biodiesel (Rashid et al., 2008) lo que representa una alternativa a estos usos, permitiendo además su valorización energética.

Tabla 1. Materias primas para producción de biodiesel

(Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA), 2011)

Materia prima para fabricación biodiesel	Ejemplos
Aceites vegetales convencionales	Aceite de girasol, Aceite de colza, Aceite de soja, Aceite de coco, Aceite de palma
Aceites vegetales alternativos	Aceite de *Brassica Carinata*, Aceite de *Cynara Curdunculus*, Aceite de *Camelina Sativa*, Aceite de *Crambe Abyssinica*, Aceite de *Pogianus*, Aceite de *Jatropha Curcas*
Aceites de semillas modificadas genéticamente	
Aceites extraídos de otras fuentes	Aceites de producciones microbianas, Aceites de microalgas, Aceites de fritura usados

2. Objetivos

El trabajo se centra en el estudio de la producción de biodiesel a partir del residuo del proceso de preparación del coagulante de la semilla *Moringa oleifera*, utilizado tradicionalmente en el tratamiento del agua. Este residuo, compuesto por una mezcla etanol-aceite vegetal de *Moringa oleifera*, será transformado en biodiesel y propuesto como combustible renovable alternativo al uso de combustibles fósiles.

En concreto, el objetivo es diseñar el proceso de producción de biodiesel de Moringa capaz de generar biocombustible suficiente para suplir el 10 % del consumo total de carburante de vehículos en una capital española de tamaño pequeño, con el fin de cumplir las aspiraciones del programa de sostenibilidad energética de la Unión Europea, así como estudiar su viabilidad económica.

3. Diseño del proceso productivo

Como hipótesis de partida y base de cálculo para el diseño, se consideran las siguientes variables:

-Materia prima: Se utiliza la mezcla etanol-aceite procedente del proceso de obtención del coagulante de la semilla de *Moringa oleifera*. La figura 3 muestra una imagen de la semilla de *Moringa oleifera* y de la mezcla etanol-aceite.

-Capacidad planta: Para el cálculo del volumen de biodiesel anual a producir, se tendrá en cuenta que se desea producir la cantidad de biodiesel que supla el 10 % del consumo de combustible fósil de una ciudad de tamaño pequeño-mediano.

Figura 3: Semilla de *Moringa oleifera* y mezcla etanol-aceite para la obtención de biodiesel

La capital española seleccionada para el estudio es Albacete con una población de 172.693 habitantes a 1 de enero del 2013. Suponiendo que una familia tiene de media 4 personas, que cada familia tiene un vehículo, el cual tiene un consumo de 6 L a los 100 km recorridos y que el recorrido medio de los vehículos de la capital es de 7.500 km al año, se consumen 19428,3m^3 anuales. Por tanto, la planta de producción a diseñar, debe producir al menos 1942,8 m^3 anuales de biodiesel, lo que supone una producción diaria de 6.52 m^3/día teniendo en cuenta las paradas de la planta se producirá 298 días/año.

3.1 Descripción del proceso productivo

El proceso puede comenzar con la semilla de *Moringa oleifera* o bien a partir del comienza residuo procedente de la extracción del aceite con etanol de la semilla de *Moringa oleifera*. Este residuo, contiene un 30 % (v/v) de aceite de semilla de Moringa y el resto etanol absoluto.

Si se utiliza la semilla, entonces el proceso consiste en la extracción del aceite de la semilla previo acondicionamiento de la misma. El proceso en ese caso se inicia con la dosificación de la semilla a una cinta transportadora sobre la cual se rocía con agua para eliminar cualquier tipo de impura o arena o tierra que pudiera haberse adherido a la superficie de la misma durante el transporte.

La semilla es introducida en un horno para eliminar la pequeña cantidad de agua que haya podido absorber. Seguidamente se conduce hacia una trituradora, donde se divide en partículas más pequeñas para mejorar la extracción del aceite. Seguidamente el resultado de la molienda es tamizado. Las partículas de semilla de Moringa oleífera con un calibre inferior a las 800µm son almacenadas para ser empleadas en las sucesivas etapas.

Para comenzar el proceso de extracción de aceite, las semillas son empapadas con etanol e introducidas en una prensa donde por, una aplicación gradual de presión, se libera el aceite y el disolvente antes adicionado.

Seguidamente este sólido inerte es sometido a un control de calidad para determinar la cantidad de aceite que posee, puesto que si la cantidad es considerable, el residuo sólido es sometido a una segunda extracción. En la segunda extracción, en el caso de realizarse, se emplea un extractor sólido-líquido semicontinuo y etanol como disolvente.

Así, posteriormente, la mezcla etanol-aceite de *Moringa oleífera* obtenido a través de las dos extracciones, es llevado al reactor de transesterificación al cual se le adiciona la cantidad restante de etanol para que se produzca la reacción, utilizando Hidróxido sódico como catalizador del proceso. Las condiciones operativas de reacción de la transesterificación son: 72 minutos de tiempo de reacción, 55 ºC de temperatura y presión atmosférica. (Kafuku & Mbarawa, 2010)

El rendimiento del proceso se estima en un 94.3 % (Rashid U. , Anwar, Ashraf, Saleem, & Yusup, 2011) referido a la cantidad de aceite que se introduce como materia prima en la reacción. Finalizada la reacción, el contenido del reactor es bombeado a una centrifugadora

donde se separa la fase pesada (glicerina) de la fase más ligara (biodiesel con el etanol en exceso). La corriente que contiene el biodiesel pasa a la etapa de lavado, en ella se le adiciona agua para que se produzca la transferencia del etanol sobrante del biodiesel al agua y así purificar el biocombustible. Ambas corrientes se separan posteriormente a través de un proceso de centrifugación, para obtener el biodiesel que es almacenado hasta que se distribuya.

A continuación, tiene lugar el refino del biodiesel a través de sucesivas etapas de separación de los subproductos generados en la reacción como son glicerina y etanol no reaccionado. Tras la finalización del proceso se tienen como residuos principales los de la transesterificación y los de la purificación del biodiesel. Adicionalmente, se tienen los residuos de lavado de los almacenes (los denominados como R_x), residuos debido a sustancias que no cumplen los estándares de calidad (representados como R_0) y las aguas de lavado de los distintos equipos donde se llevan a cabo todas las etapas del proceso (también denominados como R_x). Además se realiza un tratamiento integral de las corrientes eliminadas para poder revalorizar los subproductos.

En la Figura 4 se muestra un diagrama de bloques del proceso productivo diseñado.

3.2 Tratamiento de residuos

A continuación se describe con detalle los residuos que se someten a tratamiento dentro del proceso.

3.2.1 Residuo de la reacción de transesterificación (R3)

Este residuo tiene su origen en la reacción de transesterificación, en la cual se obtienen 2 corrientes. La corriente de mayor densidad que está constituida principalmente por los subproductos de la reacción, la otra contiene el biodiesel que posteriormente será lavado. El objetivo perseguido en el tratamiento de este residuo es la recuperación de la glicerina (ya que posee valor añadido para otros procesos). Para ello se recurre a una serie de procesos físico-químicos en los que se van eliminando sustancias de la mezcla de partida.

Se acidifica el residuo hasta un valor de 3 unidades de pH con ácido clorhídrico. Seguidamente se realiza un centrifugado para los ácidos grasos del resto de la mezcla. La corriente con la glicerina es filtrada para eliminar las impurezas, como pequeñas partículas de jabón o cloruro sódico.

A continuación se adiciona hidróxido de sodio hasta conseguir pH de valor 7, neutro, dando lugar a una reacción de neutralización donde se genera agua y cloruro sódico. La separación de estas especies de la corriente se realiza por centrifugación al existir una diferente densidad entre la glicerina y la disolución con base de agua. La figura 5 muestra el diagrama del tratamiento de este residuo.

.

Figura 4: Diagrama de bloques del proceso de obtención de biodiesel

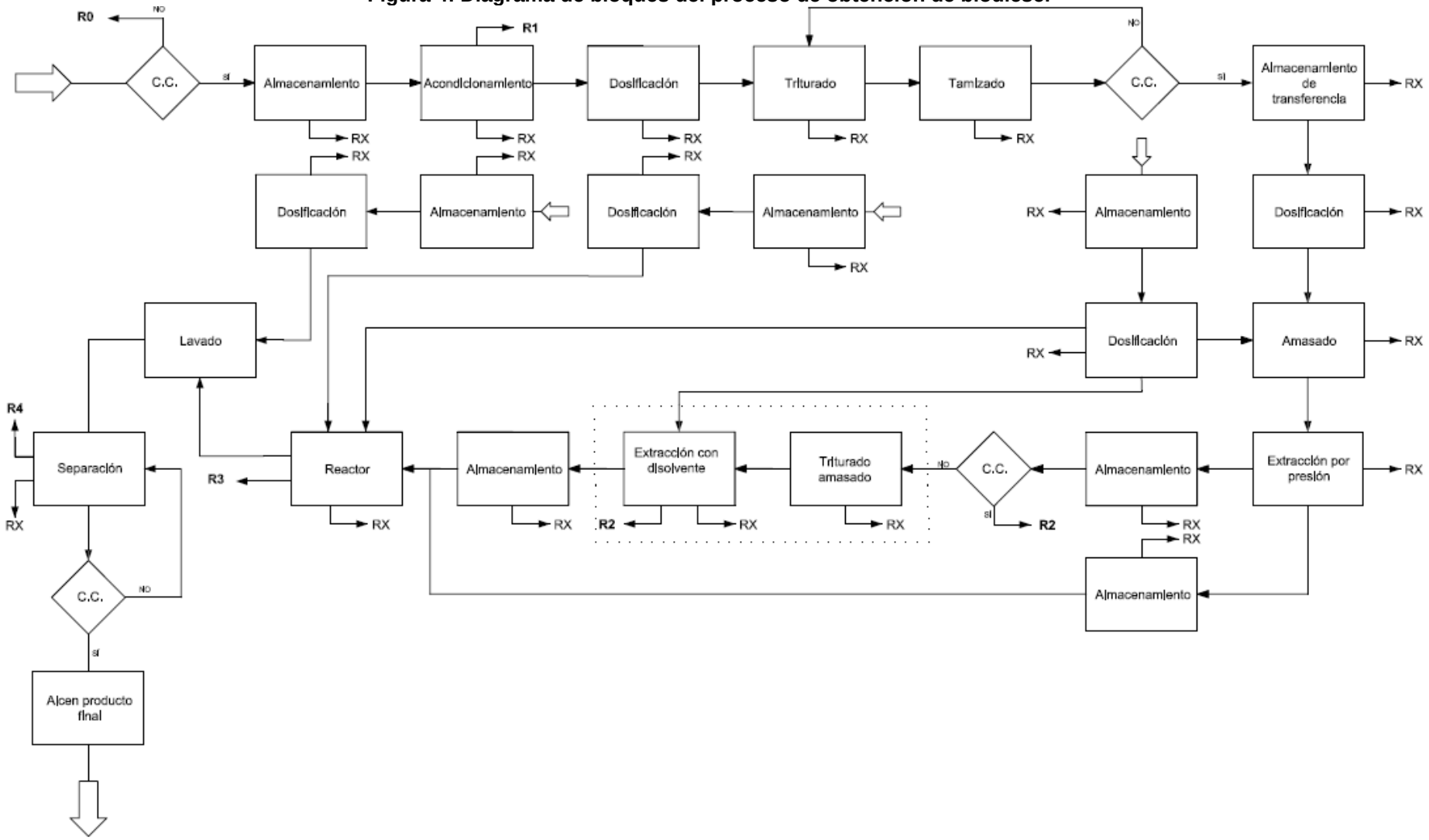
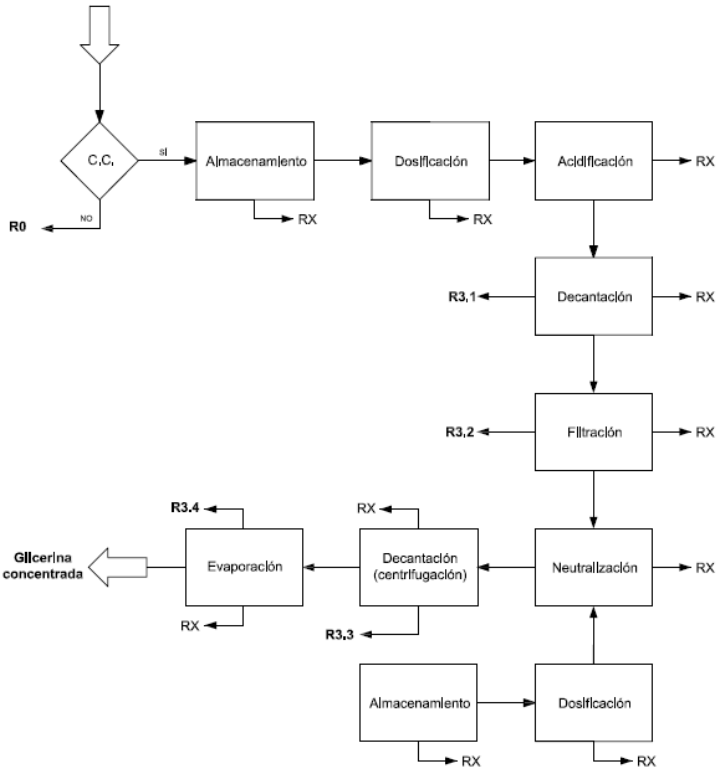


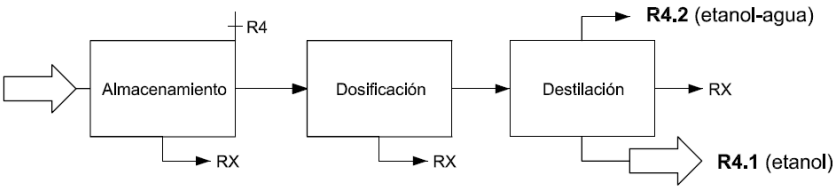
Figura 5: Diagrama de bloques del tratamiento residuo de la reacción de transesterificación



3.2.2 Residuo de la purificación del biodiesel (R4)

Este residuo se produce durante la operación de limpieza del biodiesel resultante. En este proceso se introduce agua al biodiesel con restos de etanol. Se produce una agitación para que el etanol pase al agua y así poder eliminarlo del biodiesel. Por ello se obtienes como el proceso la corriente de biodiesel purificado y otra constituida por agua con etanol, es el denominado R4. Para este residuo se realiza una destilación con el fin de recuperar el etanol, ya que este reactivo participa en exceso en la reacción de transesterificación. Por ello, tras separar ambas sustancias por una destilación simple, el agua y el etanol son almacenados para ser reutilizados en la industria. La figura 6 muestra el diagrama de bloques de tratamiento del residuo.

Figura 6: Diagrama de bloque tratamiento del residuo de la purificación del biodiesel



Este tratamiento permite reducir el consumo de etanol en la planta en un 45,03%.

4. Estudio de viabilidad del proceso

En primer lugar se estima el coste de la instalación anteriormente diseñada. Para ello se compone el presupuesto a partir de cuatro secciones del proceso productivo como son:

- Almacenamiento. En este capítulo son presupuestados los depósitos, los sistemas de retención, circulación y seguridad y las conducciones necesarias. En general, todo lo relacionado con el almacenaje y el transporte de todos las sustancias (materias primas, subproductos, intermedios del proceso productivos, etc.) en la industria hasta los sistemas de dosificación.
- Dosificación. Los elementos que se incluyen en este capítulo son aquellos equipos y conducciones que comunican el almacenamiento con las diferentes fases del proceso productivo y tratamiento de residuos. El listado de equipamiento es homologo al del sistema de almacenaje.
- Producción de biodiesel. Comprende las etapas necesarias para la obtención del producto final. En este capítulo se engloban reactores y sistemas de purificación del biodiesel. Además de todas las conducciones necesarias para la conexión de los equipos.
- Tratamiento de residuos. Los equipos y conducciones necesarias para los procesos de purificación y revalorización, para los subproductos con valor, y eliminación, en el caso de los residuos del proceso, se hayan recogidos en este capítulo del presupuesto.

Estos capítulos se dividen en unidades de obra que comprenden todos los materiales y recursos humanos necesarios para poder ser ejecutados. El computo de los costes de los capítulos anteriormente descritos (Tabla 2) elevan el presupuesto de ejecución material a 729.395,97€.

Tabla 2: Desglose del presupuesto de ejecución material

Capítulo del presupuesto	Coste
Almacenamiento	384.509,20 €
Dosificación	109.197,75 €
Producción de biodiesel	235.560,37 €
Tratamiento de residuos	128.652,62€

A continuación se obtiene el presupuesto de inversión en el cual se tienen en cuenta diferentes incrementos como los gastos generales, el beneficio industrial, los salarios de dirección e impuestos a partir del presupuesto de ejecución material, coste de la mano de obra, materiales y maquinaria necesaria para realizar el proyecto. El presupuesto de inversión asciende a 1.201.211,88 € como se detalla en la siguiente tabla (Tabla 3). En el precio de ejecución material se incluyen la totalidad de materiales y horas de trabajo, tanto de operación como de maquinaria, así como todo lo relacionado para la realización física del proyecto. El presupuesto de ejecución por contrato, tiene añadido al precio anterior los gastos generales, cargas fiscales y el beneficio industrial. Al añadir al precio anterior el coste del proyecto y la dirección de obra se obtiene el presupuesto de obra. Finalmente, para obtener el presupuesto de inversión se suma el importe del IVA.

Tabla 3: Desglose del presupuesto de inversión del proyecto

Tipo de presupuesto	Coste
Presupuesto de ejecución material	729.395,97 €
Presupuesto de ejecución por contrato	927.791,67 €

Presupuesto de obras	992.737,09 €
Presupuesto de inversión	1.201.211,88 €

El precio del producto final se compone del coste de las materias primas, el consumo energético de la industria, diversos costes del normal funcionamiento de la industria y el beneficio. El precio del litro de biodiesel ha de estar próximo al precio de mercado (0.857€/L) (The European Renewable Ethanol Association (ePURE), 2013). Con este precio y el presupuesto de inversión se puede determinar la viabilidad del proyecto y el periodo de amortización de la inversión.

En la siguiente tabla (Tabla 4) se muestran las materias primas que se requieren para la consecución de la producción diaria. También se recoge en la tabla el coste de cada una de ellas y el coste que supone de forma diaria.

Tabla 4: Consumo y coste de las materias primas del proceso

Materia prima	Consumo diario	Coste unitario	Coste diario
Etanol	3.789,3 kg/día	0,50 €/kg	1894.65 €
Hidróxido de sodio	56,18 kg/día	17,90 €/kg	1.005,62 €
Agua	3240 L/día	0,15 €/L	486 €

Se calcula el coste de las materias primas por litro de biodiesel producido como el cociente de la suma de los costes de las materias primas y la producción diaria.

$$C_{MP\ biodiesel} = \frac{C_{etanol} + C_{NaOH} + C_{agua}}{Produccción} \quad (1)$$

$$C_{MP\ biodiesel} = \frac{1894{,}65\,\frac{€}{día} + 1005{,}62\,\frac{€}{día} + 486\,\frac{€}{día}}{6{,}52\,\frac{m^3}{día}} \quad (2)$$

$$C_{MP\ biodiesel} = \frac{26500{,}62\,\frac{€}{día}}{6{,}52\,\frac{m^3}{día}} = 0{,}52\,\frac{€}{L} \quad (3)$$

Se observa que el coste de las materias primas representa la mitad del coste del precio del producto recomendado en el mercado. Este importe se incrementa con el coste de operación y la recuperación de la inversión, así como los gastos indirectos de consumo de energía, salarios de los operarios y demás conceptos relacionados por un valor del 50% del coste de la materia prima, por lo que se obtiene un beneficio de 0,42 €/L. Este resultado (teniendo en cuenta que la producción es de 1942.8 m^3 anuales) hace el proyecto viable para la producción de este tipo de biodiesel a gran escala ya que en un año se obtendría un beneficio de 815.976 €, haciendo factible la inversión para la puesta en marcha de la planta de biodiesel y su recuperación antes de los 2 primeros años.

5. Conclusiones

Las conclusiones del presente trabajo son las siguientes:

- El uso de biocombustibles es una de las principales alternativas al uso de los combustibles fósiles que debe ser potenciada debido tanto a su bajo impacto medioambiental por sus menores emisiones a la atmósfera como a la reducción del consumo de combustibles fósiles que permite, aprovechando la infraestructura de éstos.
- La producción de biodiesel puede realizarse a partir de aceites vegetales obtenidos para tal fin o a partir de aceites que representen un residuo de otros procesos, con lo que se valorizan estos últimos.
- El estudio realizado pone de manifiesto que es posible valorizar el residuo (disolvente-aceite) resultante del proceso de obtención del coagulante extraído de la semilla de *Moringa oleifera*, como materia prima para la fabricación de biodiesel.
- El proceso de obtención de biodiesel incluye la transformación de la materia prima mediante la reacción de transesterificación así como el tratamiento de los residuos. El residuo de la purificación del biodiesel permite recuperar el 45 % del disolvente para su reutilización de nuevo en el proceso productivo.
- El precio del producto obtenido en este proyecto a partir del residuo de *Moringa oleifera* es de 0.78 €/L, lo que lo convierte en competitivo al compararlo con los precios actuales de biocombustibles en España.

- Sería necesario realizar un estudio de viabilidad técnica y económica más detallado con el fin de determinar entre otros, si existe la capacidad de generar el volumen de residuo suficiente para suplir las demandas de materia prima que tendría la planta de producción de biodiesel

Bibliografía

Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA). (2011). *Inventario de plantas de biomasa, biogas y pellets de APPA.* Obtenido de http://www.appa.es

Da Silva, J. P., Serra, T. M., Gossmann, M., Wolf, C. R., Meneghetti, M. R., & Meneghetti, S. M. (Oct de 2010). *Moringa oleifera* oil: Studies of characterization and biodiesel production. *Biomass and Bioenergy, 34*(10), 1527-1531.

Foro de la Industria Nuclear Española. *Energía 2013.*Obtenido de http://www.foronuclear.org/es/energia/2013

García Camús, J. M., & García Laborda, J. Á. (2006). *Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol.* Madrid.

Kafuku, G., Lam, M., Lee, K., & Mbarawa, M. (2010). Heterogeneous catalyzed biodiesel production from *Moringa oleifera* oil. *Fuel Processing Technology, 91*, 1525–1529.

Kafuku, G., & Mbarawa, M. (2010). Alkaline catalyzed biodiesel production from *Moringa oleifera* oil with optimized production parameters. *Applied Energy, 87*, 2561-2565.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2010). *Plan de Energía Nacional.*

Rashid U., Anwar F., Moser B.R., Knothe G. (2008). *Moringa oleifera oil: a possible source of biodiesel, Bioresource Technology,* 99, 8175-8179.

Rashid, U., Anwar, F., Ashraf, M., Saleem, M., & Yusup, S. (2011). Application of response surface methodology for optimizing transesterification of *Moringa oleifera* oil: Biodiesel production. *Energy Conversion and Management, 52*, 8-9.

Statistical Review of World Energy. (2013) British Petroleum. Obtenido de http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf

Sengupta A., Gupta M.P. (1970). *Studies on seed fat composition of Moringaceae family*, *Fette, Seifen, Anstrichm. 72* 6-10.

The European Renewable Ethanol Association (ePURE). (Julio de 2013). Obtenido de http://www.epure.org

Unión Europea. Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas

2001/77/CE y 2003/30/CE. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 5 de junio de 2009, núm. 140, pp. 16-62.

Ecoticias. (2009).Obtenido de http:// http://www.ecoticias.com/

Energías Renovables. (Julio de 2013). Obtenido de http://energiasrenovablesi.wikispaces.com/

05-033

RISK MANAGEMENT IN THE RENEWABLE ENERGY FIELD: COMPARATIVE ANALYSIS AND STUDY CASE IN THE DOMINICAN REPUBLIC

Guerrero-Liquet, Guido C. [1]; García Cascales, M. Socorro [1]; Sánchez Lozano, Juan Miguel [2]; Faxas-Guzmán, Juan [1]

[1] Dpto Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos, Universidad Politécnica de Cartagena, [2] Centro Universitario de la Defensa de San Javier, Academia General del Aire, Universidad Politécnica de Cartagena

In the Dominican Republic a number of multilateral banks are trying to implement public finances to meet the capital intensity of renewable energy projects with high levels of technological risk. The industry needs investors in the development of energy companies in emerging markets as well as high quality management, this interest leads to stimulate the insurance community to provide new tools and products that can be used for creating policy support measures to mitigate real risks in renewable energy projects. We examine the instruments of technical and financial management which are evolving; we identify the risks most likely to occur, the implications related to investment and we analyze different combinations of decision making methods applied to risk management. A case study of a solar installation designed by an energy services company in the Dominican Republic is presented. Comparing these methods, tools are used that provide pre-planning or early operational risk loans or financing guarantees once the project is underway, the focus of the company's risk passes to the construction contracts.

Keywords: *Dominican Republic; Renewable Energy (RES); Energy Service Companies (ESCOs); Risk Management*

GESTIÓN DE RIESGOS EN EL SECTOR DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES: ANÁLISIS COMPARATIVO Y CASO DE ESTUDIO EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

En República Dominicana un número de bancos multilaterales están tratando de implementar las finanzas públicas para hacer frente a la intensidad de capital de proyectos de energías renovables con altos niveles de riesgo tecnológicos. El sector necesita inversores en desarrollo de empresas de energía en mercados emergentes, así como una gestión de alta calidad, este interés nos conduce a estimular a la comunidad de seguros para construir herramientas y nuevos productos que puedan ser utilizados a favor de crear medidas de apoyo a las políticas para mitigar los riesgos reales en proyectos de energías renovables. Examinamos los instrumentos de gestión técnica y financiera que están evolucionando, identificamos los riesgos con mayor probabilidad de ocurrencia, las implicaciones relacionadas con las inversiones y analizamos diferentes combinaciones de métodos de toma de decisión aplicados a la gestión de riesgos. Con este objetivo, presentamos un caso de estudio de una instalación solar diseñada por una empresa de servicios energéticos en la República Dominicana. Comparando estos métodos se utilizan herramientas que aportan garantías previo a la planificación, al riesgo operativo temprano, préstamos o financiación, una vez que el proyecto está en marcha, el enfoque de la empresa pasa de riesgos de contratación a la construcción.

Palabras clave: *República Dominicana; Energías Renovables (EERR); Empresas de Servicios Energéticos (ESE); Gestión de Riesgos*

Correspondencia: Juan Miguel Sánchez Lozano juanmi.sanchez@cud.upct.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por la DGICYT mediante el proyecto TIN2014-55024-P

1. Introducción y objetivos

El objetivo de un inversionista o promotor es maximizar el beneficio de un proyecto, para lograrlo primero debe gestionar los riesgos que imposibilitan el retorno adecuado del capital, bajo este propósito están sujetas a análisis de riesgos las diferentes cifras de rentabilidad que son fundamentales para transmitir lo atractivo que es la inversión.

En este estudio determinamos los riesgos que pueden afectar a la rentabilidad de un proyecto e identificamos y documentamos las características que habría que considerar. De esta forma será posible generar un registro de riesgos que ayude a los inversores o prestamistas potenciales a conocer el riesgo de una inversión y así poder optimizar el diseño del proyecto.

Presentamos una solución que aplica diferentes metodologías y para ello se abordarán las siguientes tareas; utilizar una combinación de métodos para recopilar la información, realizar un análisis de determinación y, emplear técnicas de diagramación y de evaluación de juicios con la finalidad de obtener la categorización y priorización de riesgos. Los procedimientos indicados serán aplicados a un caso de estudio real, concretamente a un proyecto desarrollado en la República Dominicana.

Se ha seleccionado un edificio de uso administrativo, concretamente un banco nacional que pretende cubrir parte de su demanda energética a través de la implantación de una instalación fotovoltaica en el aparcamiento principal de sus oficinas. Es de vital importancia para la empresa de servicios energéticos encargada de su diseño e instalación, identificar los riesgos que pueden ocasionar que la planta solar no sea rentable, de este modo se podrán fijar estrategias durante la construcción y su posterior puesta en marcha, proporcionando además perspectivas de financiación al cliente.

Abordamos la necesidad de usar herramientas avanzadas en la gestión de riesgos identificando problemas que ocurren en las plantas solares a partir de la representación de todo el ciclo de contratación. Por lo tanto este trabajo se estructura de la siguiente manera: en el epígrafe 2 se muestra la situación actual de la gestión de riesgos en las energías renovables y se definen de forma breve las herramientas y técnicas utilizadas actualmente para identificarlos. En el epígrafe 3 se describen las condiciones dadas en República Dominicana, así como la planificación de las probabilidades analizadas donde se aplica la metodología al caso de estudio proporcionando los resultados y las comparativas. Finalmente el epígrafe 4 reflejará tanto las conclusiones del estudio realizado como las posibles mitigaciones.

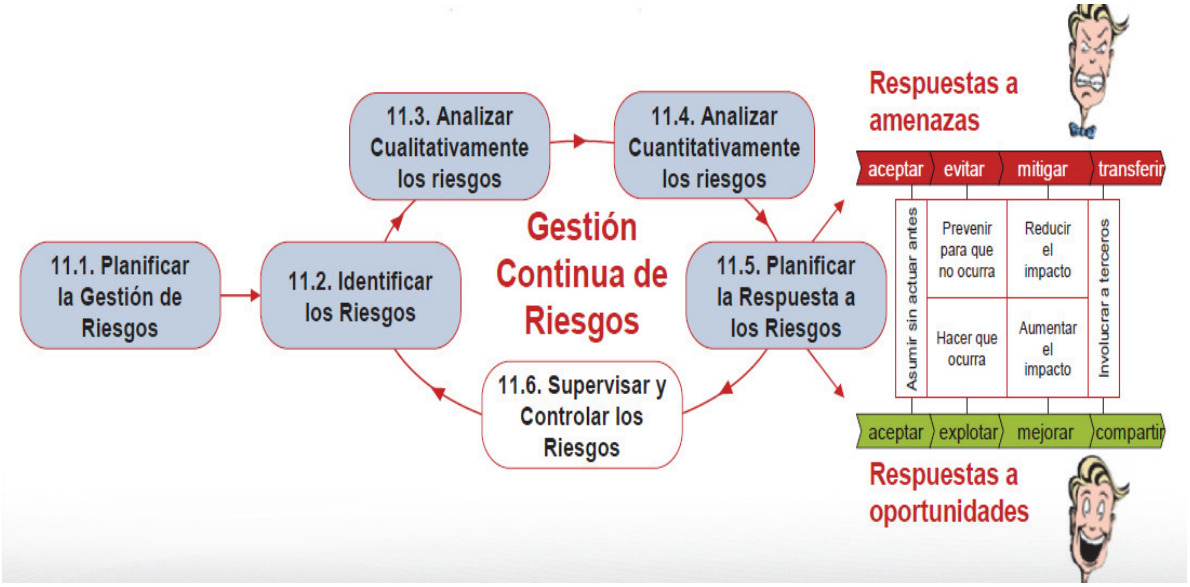
2. Gestión de Riesgos en las Energías Renovables

La dirección de riesgos es un proceso continuo que tiene lugar durante todas las fases de la vida de un proyecto, en él se maneja la incertidumbre relativa a una amenaza, a través de una secuencia de actividades que incluye evaluación, estrategias de desarrollo y mitigación utilizando herramientas para su gestión y administración.

La gestión de los riesgos del proyecto incluye no sólo los procesos relacionados con llevar a cabo labores de planificación, identificación, análisis y respuesta de los riesgos, sino también la monitorización y control del proyecto. Los objetivos de la gestión de riesgos son aumentar la probabilidad y el impacto de eventos positivos, y disminuir la probabilidad y el impacto de eventos negativos para el proyecto (PMBoK, 2012).

En el análisis intervienen diferentes pasos que abarcan técnicas y herramientas que interactúan entre sí para obtener un proceso de gestión con respuestas para tales riesgos.

Figura 1: Gestión de Riesgos continúa. Fuente: (Barato J., 2010)



La figura 1 recoge el modelo utilizado para realizar el proceso de gestión de riesgos, éste consta de los siguientes pasos:

1. Planificar la Gestión de Riesgos: proceso por el cual se define cómo realizar las actividades de gestión de los riesgos para un proyecto.

2. Identificación de Riesgos: Determinar los riesgos que pueden afectar el proyecto y documentar sus características.

3. Análisis Cualitativo de Riesgos: proceso que consiste en priorizar los riesgos para realizar otros análisis o acciones posteriores, evaluando y combinando la probabilidad de ocurrencia y el impacto de dichos riesgos.

4. Análisis Cuantitativo de Riesgos: proceso que consiste en analizar numéricamente el efecto de los riesgos identificados sobre los objetivos generales del proyecto.

5. Planificar la Respuesta a los Riesgos: proceso por el cual se desarrollan opciones y acciones para mejorar las oportunidades y reducir las amenazas a los objetivos del proyecto.

6. Monitorizar y Controlar los Riesgos: proceso por el cual se implementan planes de respuesta a los riesgos, se rastrean los riesgos identificados, se monitorizan los riesgos residuales y se evalúa la efectividad del proceso a través del proyecto.

Debe hacerse una elección consciente de los riesgos a todos los niveles de la organización para identificar activamente y perseguir una gestión eficaz durante la vida del proyecto. Los riesgos existen desde el momento en que se concibe un proyecto (PMBoK, 2012).

Una vez realizada la planificación de los procesos de gestión, el análisis comparativo se desarrolla en el paso 2, éste consiste en identificar los riesgos realizando una exhaustiva revisión de la documentación, recopilación de la información, análisis de las listas del control, análisis de supuestos, técnicas de diagramación y juicio de expertos mediante la aplicación de herramientas y técnicas innovadoras.

De esta forma será posible obtener un registro de riesgos que contenga medidas que produzcan como resultados la lista de riesgos identificados, lista de potenciales respuestas, causa-raíz de los riesgos, categoría de riesgos actualizada y la posible priorización de los

riesgos que puede resultar muy útil en los siguientes procesos de gestión de riesgos del proyecto.

En las instalaciones de energías renovables se pueden distinguir principalmente dos tipos de trabajos en el ámbito de la gestión de riesgos tales como: Gestión del riesgo financiero en el sector de las energías renovables: Análisis comparativo entre la Unión Europea y Turquía (Apaka, Atayb & Tuncerca, 2011) y Análisis de riesgos económicos de la energía renovable con infraestructuras descentralizadas (Arnold & Yildiz, 2014).

Aunque hoy en día no se ha extendido el desarrollo de procesos de gestión de riesgos en éste ámbito, los instrumentos de gestión de riesgos financieros evolucionan y pueden ser adaptados para cumplir con la industria de las energías renovables, incluyendo productos de la transferencia de riesgos, los derivados de crédito y seguros contra riesgos políticos (aquellos que tienen en cuenta posibles cambios de los marcos legislativos nacionales).

Además, a consecuencia de los continuos cambios bruscos en las condiciones climáticas del planeta, ayudar a los potenciales inversores y a las diferentes administraciones a evaluar, mitigar y asegurar los riesgos, generará una importante oportunidad de negocio para los servicios de gestión de este tipo de riesgos. Este aumento de las vulnerabilidades requerirá nuevos servicios y competencias para ayudar a los clientes empresariales para mejorar los sistemas de gestión de riesgo, empresarial para gestionar aumento de la cadena de suministro y los riesgos de interrupción, instalaciones y riesgos políticos (Kleindorfer, Singhal, & Van Wassenhove, 2009).

2.1. Herramientas y Técnicas de la Identificación de los Riesgos

Una vez realizada la planificación de la gestión de riesgos, se deberán identificar aquellos riesgos que pueden afectar positiva o negativamente la rentabilidad del proyecto. La fase de identificación del riesgo consiste en definir los posibles problemas que pueden aparecer a lo largo del proyecto incluyendo la probabilidad de que la instalación sufra daños o pérdidas económicas.

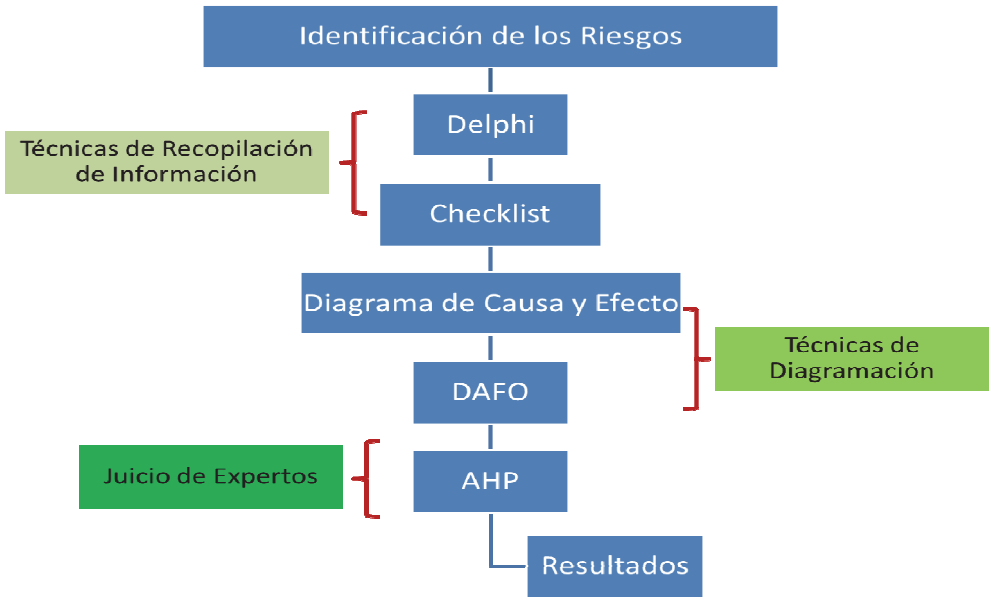
Entre las personas que participan en la identificación se pueden incluir: el director del proyecto, los miembros del equipo del proyecto, el equipo de gestión de riesgos (si está asignado), clientes, expertos en la materia externos al equipo del proyecto, usuarios finales, otros directores del proyecto, interesados y expertos en gestión de riesgos (PMBoK, 2012).

Para realizar una buena documentación no sólo es necesario poseer una descripción detallada del proyecto, sino también disponer de información procedente del resto de áreas de gestión del proyecto:

1. Factores ambientales: base de datos, investigaciones académicas y estudios comparativos.
2. Activos de procesos organizacionales: datos reales del proyecto, información de proyectos previos y lecciones aprendidas.
3. Plan de gestión de riesgos: asignación de roles y responsabilidades, categorías del riesgo, provisión para las actividades de gestión de riesgos en el presupuesto y en el cronograma.
4. Plan del proyecto: plan de trabajo, estimaciones de costos y cronogramas, gestión de calidad y registro de interesados.

El primer paso consistirá en hacer una revisión estructurada de la documentación que refleje, supuestos del proyecto e información histórica de otros proyectos que puedan servir como indicadores en el proyecto. Con el objetivo de determinar e identificar los riesgos se recurrirá a diferentes técnicas tales como las indicadas en la Figura 2.

Figura 2: Esquema de Técnicas de la Identificación de los Riesgos. (Fuente: Elaboración Propia)



Se recopila toda la información mediante la técnica Delphi: esta se compone de un cuestionario a un grupo de expertos, con un segundo cuestionario basado en los resultados del primero, de esta manera se logra consenso entre los expertos, los expertos del proyecto participan en esta técnica de forma anónima e independiente, es decir, no podrán interactuar entre sí.

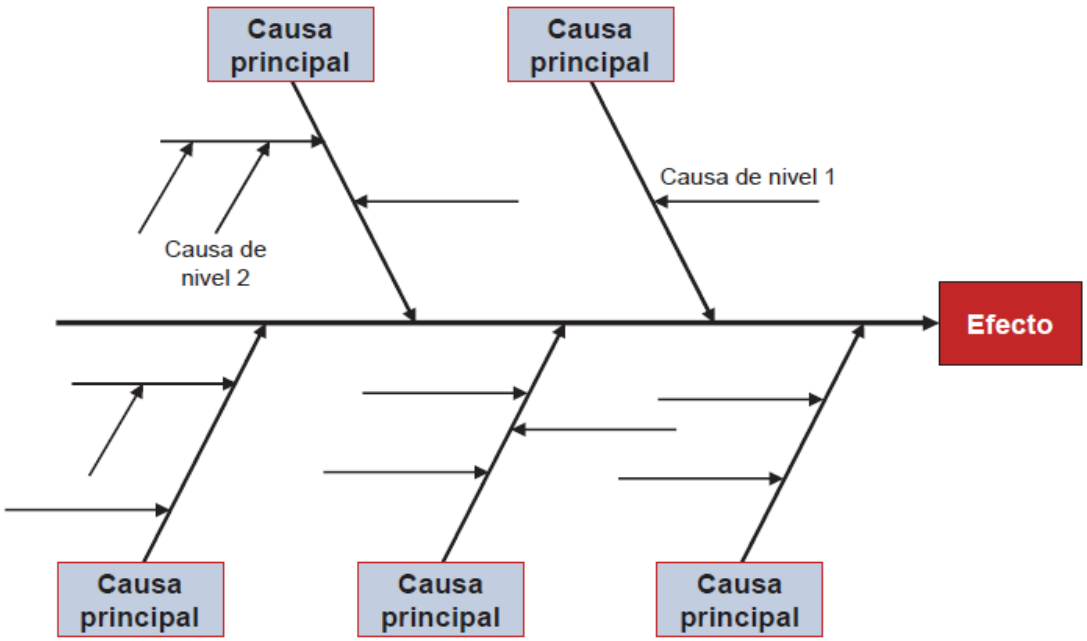
Un facilitador utiliza un cuestionario para solicitar ideas acerca de los riesgos importantes del proyecto. La técnica Delphi ayuda a reducir parcialidades en los datos y evita que cualquier persona ejerza influencias inapropiadas en el resultado (PMBoK, 2012).

Aplicaciones de Delphi en Gestión de Riesgos se pueden encontrar en estudios como: (Almansa & Martínez-Paz, 2011; Keil & Schmidt, 1998; Markmann, Darkow & von der Gracht, 2012).

El siguiente paso consistirá en elaborar una lista que será utilizada como una lista de control de riesgos, ésta deberá ser revisada en la fase de cierre del proyecto. Como hoja de verificación se emplea la técnica Checklist la cual se usa para hacer comprobaciones sistemáticas de actividades asegurándose de que no se olvide nada importante. Para ello, se traza una secuencia de forma ordenada que permita, mediante un vistazo rápido, verificar que el resultado es el esperado. En definitiva, sirve como registro para llevar un control de lo ocurrido y puede ser revisada cuantas veces sea necesario. Cada riesgo identificado se concibe y se desarrolla tomando como base un grupo de hipótesis y supuestos, se revisa la inexactitud o inconsistencia de estos supuestos explorando la validez de los escenarios que se aplican en el proyecto.

Definida la lista de control, el siguiente paso consistirá en realizar una diagramación que permita conectar gráficamente el problema con sus causas principales y secundarias con la técnica de diagramas causa y efecto tales como el diagrama Ishikawa o Fishbone); diagrama que muestra la relación entre una característica de calidad y los factores, es una técnica para identificar las causas posibles que afectan un proyecto, permite obtener un cuadro detallado y de fácil visualización de las diferentes causas que pueden originar un determinado problema.

Figura 3: Construcción de un Diagrama de Espina de Pescado Fuente: (Barato J., 2010)



El diagrama causa-efecto no es una herramienta para resolver un problema, sino para explicar sus razones, paso previo obligado si se desea corregirlo. A modo de ejemplo podemos citar a (González, 2011) que en su trabajo “Evaluación y análisis de la mejora del servicio de autorización de exportación del registro de bienes culturales de Matanzas" gestiona el riesgo de satisfacción/insatisfacción del cliente buscando sus causas con un diagrama Ishikawa.

Para aumentar el espectro de riesgos identificados conviene realizar un análisis de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades DAFO: La técnica comienza mediante la identificación de las fortalezas y debilidades del diseño, enfocándose en la organización del proyecto. Este análisis identifica cualquier oportunidad y amenaza, también examina el grado en el que las fortalezas contrarrestan las amenazas, y las oportunidades que pueden servir para superar las debilidades.

Finalmente para identificar los riesgos directamente y obtener una previa priorización de estos, se deberá realizar la evaluación de juicios con técnicas de toma de decisión multicriterio como por ejemplo el Proceso Analítico Jerárquico (AHP): este método se basa en la idea de que la complejidad inherente a un problema de toma de decisión con criterios múltiples, se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados, de manera que le permita al decisor estructurar el problema de forma visual.

Mediante esta metodología, el problema es modelado a través de una estructura jerárquica, utiliza escala de prioridades basada en la preferencia de un elemento sobre otro, sintetiza los juicios emitidos y proporciona un ranking u ordenamiento de las alternativas de acuerdo a los pesos obtenidos (Arancibia et al, 2003).

En cuanto a la aplicación del método AHP en gestión de riesgos en energías renovables, se presentan estudios recientes como por ejemplo: Aragones-Beltran et al. (2010) en el trabajo “An ANP-based approach for the selection of photovoltaic solar power plant investment projects" aplican AHP para la selección de proyectos de energía solar fotovoltaica (PV).

3. Definición, Aplicación y Resultados del Caso de Estudio en la República Dominicana (RD)

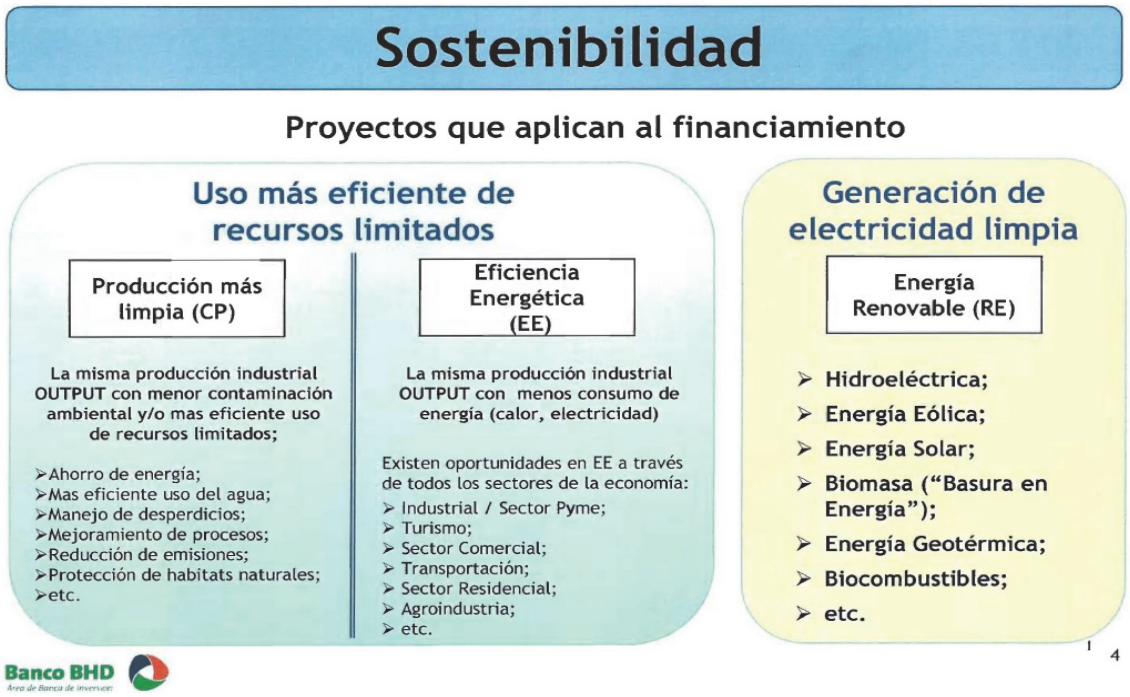
3.1. Planificación de la Gestión de Riesgos de EERR en RD

El sistema de suministro de energía eléctrica en la República Dominicana tiene uno de los índices de pérdidas de distribución más altos del mundo, cercano al 38% en 2010. De acuerdo con el departamento de estado de EE.UU., (ICEX, 2012) los factores responsables de las grandes pérdidas incluyen precios de electricidad con tope, cortes de electricidad, inversión inadecuada en aumentos de capacidad y capacidad regulatoria limitada.

Favorecido por una fuerte voluntad política y una contundente evidencia técnica y científica del potencial de energía renovable del país, el gobierno de la República Dominicana ha desarrollado un marco legislativo favorable para incentivar la implantación de tecnologías renovables. La Ley 57-07, establece una sólida base legal para el desarrollo de energía renovable y, de acuerdo a su prólogo, abre la puerta a la financiación comercial en dicho sector a través de incentivos tales como tarifas de alimentación o exenciones impositivas. Dicho marco legislativo ha permitido aumentar la confianza de los inversores y crear un entorno favorable para la planificación de este tipo de inversiones (ICEX, 2012).

El sector bancario dominicano aún carece de la conciencia requerida para financiar la energía renovable, sin embargo algunas entidades bancarias desean contribuir con el desarrollo sostenible del país apostando por estas tecnologías a través de líneas de financiación especiales para proyectos sostenibles y de eficiencia energética.

Figura 4: Definición de Sostenibilidad para aplicar a la Financiación Fuente: (IFC-BHD, 2010)

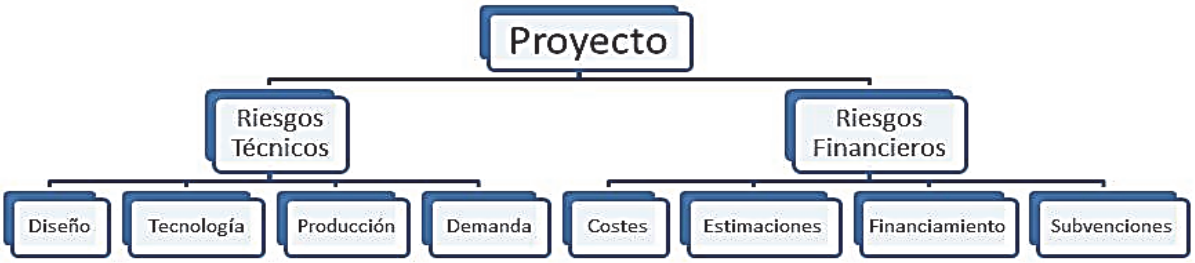


En la República Dominicana aún existen barreras tales como el alto riesgo de inversión percibido y real o la falta de instrumentos de compensación de riesgos adecuados que impiden el crecimiento sostenible, además, dado que el país no cuenta con grandes fondos de financiación que aseguren la viabilidad de estos proyectos, las entidades bancarias exigen un análisis de riesgos con consideraciones técnicas, ambientales y financieras a cualquier usuario que desee recurrir a la financiación de este tipo de servicios energéticos.

3.2. Recopilación de la Información

El cliente en este caso de estudio es un banco que pretende construir una instalación solar fotovoltaica en la zona de aparcamiento de sus oficinas principales en la ciudad de Santo Domingo para cubrir parte de su demanda eléctrica. En la primera fase del análisis se elaborará el plan de gestión de los riesgos definiendo la estructura de realización del proyecto. Este plan incluirá la revisión de: metodología, documentos del proyecto, roles y responsabilidades, presupuesto, calendario, archivos de proyectos anteriores, estimaciones, alcances del proyecto y la categoría del riesgo.

Figura 5: Estructura del Desglose del Riesgo (Fuente: Elaboración Propia)



La categorización no sólo proporcionará una estructura que asegure un proceso completo de identificación sistemática con un nivel de detalle coherente, sino que contribuirá a garantizar la efectividad y calidad de esta fase.

Para llevar a cabo la extracción del conocimiento, se recurrirá a un grupo de cinco expertos con probada capacidad que, a partir de la revisión estructurada de archivos de proyectos anteriores, documentos del diseño e información recopilada del proyecto se encargarán de identificar y comparar los riesgos con la finalidad de obtener una mayor consistencia en los resultados.

Tabla 1: Recopilación de la Documentación (Fuente: Elaboración Propia)

Resumen de las condiciones definidas del proyecto				
Objetivos del Proyecto	**Dimensionado**	**Diseño**	**Consumo Eléctrico**	**Análisis Económico**
Instalación Solar	Radiación: 4.01 Kw.h/m^2 .día	Rendimiento de Transformación 80 %	Consumo Promedio: 66.461,54 kWh/Mes	Costo= 234.014,25 US$
Localización: Santo Domingo	Paneles de 300 w Suniva MVX300	10 Paneles en Serie	Consumo Estimado: 114,00 Kwh/ día	Descuento por Ley= 40 %
Conectada a Red	Cantidad de Paneles= 380	38 Paneles en Paralelo	Consumo Anual: 864.000 Kwh	Precio del Kwh= 0,18 US$
Lugar: Parque del Banco Caribe	Velocidad del Viento: 105 mph	Rendimiento del Seguimiento 96 %	Producción Mensual: 12515,17 Kwh	Ahorro Anual Estimado= 26687,63 US$
Área: 761.5 m^2	Área de utilizada: 737 m^2	Umax inv= 600 V,	Porcentaje de Consumo Ahorrado: 19 %	Beneficio en 10 años: 156.212,60 US$

Latitud: 18,47 N	Vida útil: 25 años	Umin inv= 230 V	Potencia Anual: 2609,76 Kw	Pay Back: 5 años
Altitud: 56 m	Inversores Fronius CL 55.5 Delta	Sistema de Montaje: Unirac	Valor de Producción Mensual= 2223,97 US$	Beneficio en 25 años: 924.707,99 US$
Inclinación Optima: 8.47^0	Cantidad de Inversores= 2	5 Combiner Box	Promedio de Potencia Anual: 200,75 Kw/mes	TIR en 10 años: -3 %
Azimut: 0^0	Potencia Nominal del Inversor= 56 Kw	Potencia Nominal del Generador= 114 Kw	Promedio de Energía Normalizada: 180,71 Wh/Wp	TIR en 25 años: 20 %

Para que los expertos descubran los riesgos del proyecto con mayor facilidad después de revisar la documentación se les proporcionará un cuestionario utilizando la técnica Delphi que constará de dos fases, en la primera fase se realizarán las siguientes preguntas abiertas:

1. ¿Cuáles son los problemas técnicos que podrían afectar la rentabilidad de la instalación?
2. ¿Cuáles son los problemas financieros que podrían afectar la rentabilidad de la instalación?
3. Tomando en cuenta información histórica en este tipo de instalación y el conocimiento de proyectos similares. ¿Elabore una lista de estos problemas en orden de prioridad?

Con estas respuestas iniciales se ha elaborado la segunda fase combinado Delphi con la técnica Checklist:

4. Marque con una X cuales de estos riesgos técnicos, en caso de ocurrir, podrían afectar la rentabilidad de la instalación.

- ☐ Falta de Mantenimiento
- ☐ Pérdidas por Sombras
- ☐ Daños por Fenómenos Atmosféricos
- ☐ Falta de Suministro y Reemplazos

5. Marque con una X cuales de estos riesgos financieros, en caso de ocurrir, podrían afectar la rentabilidad de la instalación.

- ☐ Cambios en el Marco Legislativo
- ☐ Costos del Mantenimiento
- ☐ Variabilidad del VAN
- ☐ Falta de Financiación
- ☐ Alto Pay Back

En esta fase los expertos valorarán, jerarquizarán y compararán con el objetivo de crear una lista donde se refleja el nivel de consenso alcanzado generando un informe final para archivar en el registro de los riesgos.

Tabla 2: Informe final de la Selección de los Riesgos (Fuente: Elaboración Propia)

Riesgos Identificados		
Riesgos Técnicos	**Riesgos Financieros**	**Posible Priorización**
	Cambios en el Marco Legislativo	1
Daños por Fenómenos Atmosféricos		2
	Falta de Financiación	3
Falta de Suministro y Reemplazos		4
Perdidas por Sombras		5
Falta de Mantenimiento		6
	Alto Pay Back	7
	Variabilidad del VAN	8
	Costos del Mantenimiento	9

Una vez realizada la recopilación de documentación e identificación de riesgos se podrá abordar la siguiente etapa, ésta consistirá en efectuar un análisis de supuestos y en identificar las causas de ocurrencia.

3.3. Análisis de Supuestos

Cada riesgo identificado se habrá definido de forma que tenga en consideración un grupo de hipótesis las cuales podrán ocurrir una vez explorada la validez de la siguiente lista de supuestos:

1. Posibilidad de aparición de sombras debido a construcciones de edificaciones en las inmediaciones.
2. Cambio en la legislación del sector eléctrico relativo a las energías renovables en lo que se refiere a su conexión a la red, ayudas y subvenciones.
3. Posibilidad de aparición de huracanes u otros fenómenos atmosféricos adversos propios de la zona caribeña que puedan ocasionar daños en la instalación.
4. Posibles errores en la previsión económica dado que la amortización de la instalación está estrechamente ligada al grado de financiación y algunos índices económicos no han sido tomados en cuenta en el diseño.
5. Costes de mantenimiento de la instalación y recambio o reparación de elementos de la misma dañados con el paso del tiempo.

Revisando la consistencia de estos escenarios resulta posible realizar una clasificación de los riesgos determinados según el carácter de los supuestos:

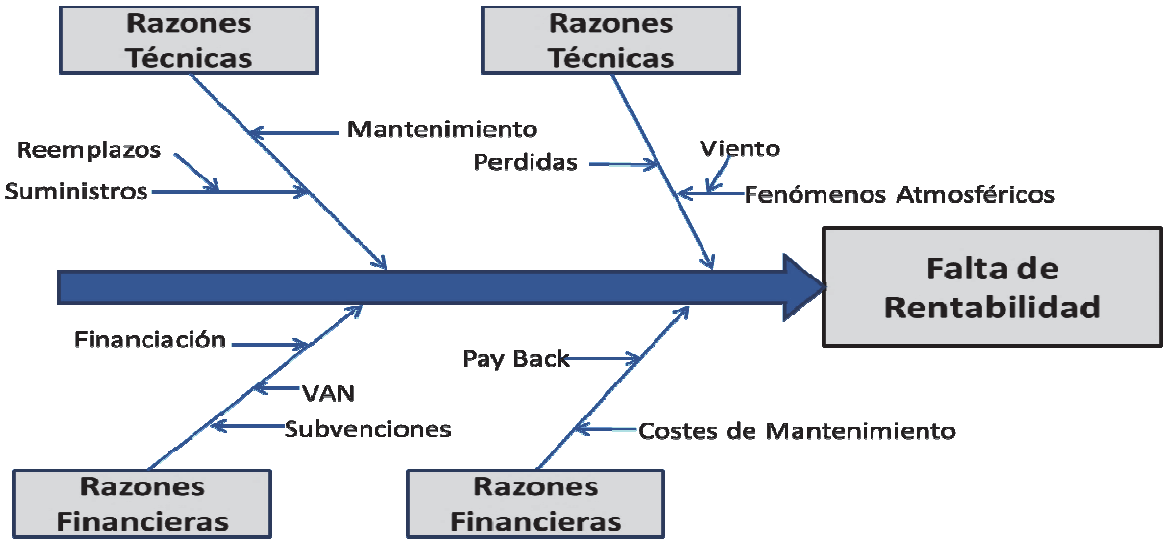
Tabla 3: Revisión de la Consistencia de los Riesgos. (Fuente: Elaboración Propia)

Clasificación de los Riesgos según el carácter de los supuestos				
Carácter	**Incompleto**	**Incoherente**	**Inestable**	**Inexacto**
Técnico	Suministro y Reemplazos	Mantenimiento	Fenómenos Atmosféricos	Perdidas por Sombras
Financiero	Coste de Mantenimiento y VAN	Marco Legislativo	Falta de Financiación	Alto Pay Back

3.4. Aplicación de Técnicas de Diagramación

Con el diagrama de causa y efecto se enlazarán los problemas con sus causas principales y secundarias con la finalidad de facilitar la organización de las relaciones existentes.

Figura 6: Diagrama de Causa y Efecto (Fuente: Elaboración Propia)



Posteriormente se construirá un diagrama DAFO que permita detectar aspectos tales como las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades del proyecto para aumentar el reflejo de los riesgos identificados, incluyendo los riesgos técnicos y financieros.

Tabla 4: Análisis DAFO del Proyecto. (Fuente: Elaboración Propia)

DAFO Análisis	Fortalezas	Debilidades
Análisis Externo	• Fuente de energía de larga vida y con coste muy bajo de operación • Recurso solar abundante en la zona • Reducción de gastos energéticos • Apoyo gubernamental	• Ocupación prácticamente inmodificable del terreno durante 25 años • Alta inversión inicial • Falta de Oportunidades para el Financiamiento
	Oportunidades	**Amenazas (Riesgos)**
Análisis Interno	• Proyectos beneficiosos al medio ambiente • Mejoras en la imagen empresarial • Ahorro en el consumo eléctrico • Beneficio económico a largo plazo	• Cambios en el Marco Legislativo • Daños por Fenómenos Atmosféricos • Falta de Financiación • Falta de Suministro y Reemplazos • Perdidas por Sombras • Falta de Mantenimiento • Alto Pay Back • Variabilidad del VAN • Costos del Mantenimiento

3.5. Evaluación de Juicio de Expertos

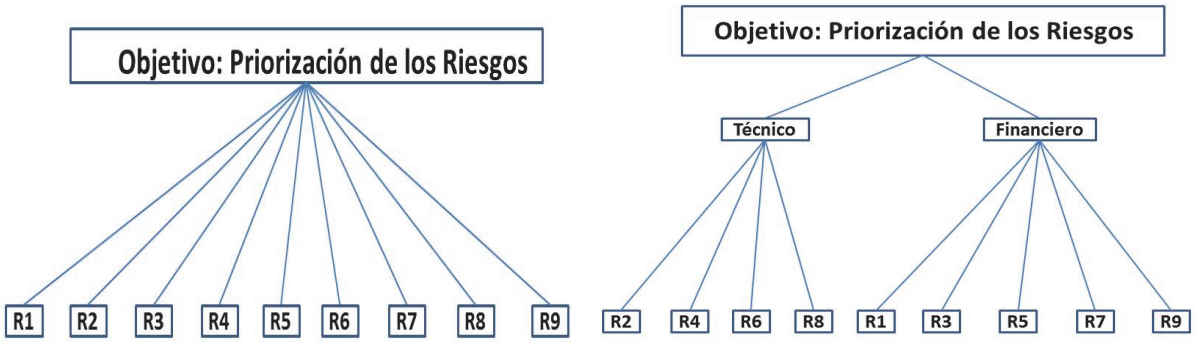
Para aplicar la metodología AHP descrita con anterioridad al problema de decisión planteado se elaborará un cuestionario que, a partir de documentos del proyecto y la aplicación de las técnicas anteriores, permitirá identificar y priorizar los riesgos que afectan a la rentabilidad de la instalación directamente.

Dicho cuestionario describirá el problema de forma sintetizada utilizando la escala de preferencia de (Saaty, 2000) para realizar el proceso de comparación y, permitirá construir dos estructuras jerárquicas diferentes a partir de la categoría de los riesgos (técnicos y financieros), éstos constituirán los criterios a evaluar por el grupo de expertos.

El cuestionario se realizará de forma que será posible aplicar el proceso AHP estructurando los riesgos por un lado de forma global (AHP 1), y por otro clasificándolos previamente en función de si el riesgo es de tipo técnico o financiero (AHP 2). En la estructura AHP 1 se evaluará la importancia que tienen los riesgos globalmente efectuando una combinación

binaria entre elementos situados en el mismo nivel de la jerarquía, dado que todos los criterios en esta estructura están situados en el mismo nivel, la combinación se realizará entre la totalidad de riesgos. En la estructura AHP 2 se evaluará la importancia de cada uno de los riesgos dependiendo de si es de tipo técnico o financiero.

Figura 7: Estructuras Modélicas Jerárquicas AHP del Caso (Fuente: Elaboración Propia)

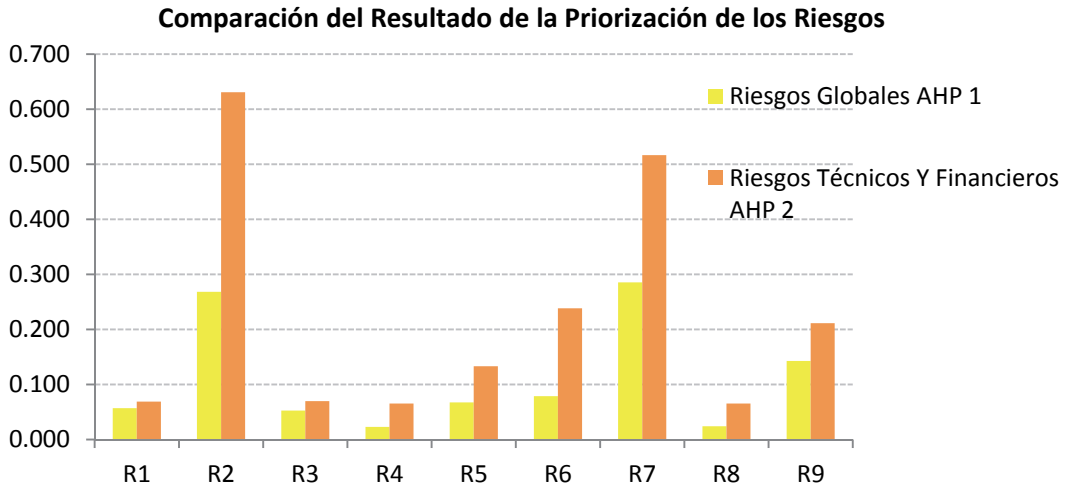


El cuestionario proporcionará una serie de resultados que serán modelados en una hoja de cálculo Excel midiendo la consistencia del experto para obtener una priorización precisa. Efectuando posteriormente una comparación gráfica y analítica del resultado obtenido (Figura 8).

Tabla 5: Orden de la Priorización de los Riesgos (Fuente: Elaboración Propia)

AHP 1			AHP 2		
Resultados	Riesgos	Ranking	Resultados	Riesgos Tecnicos	Ranking
0,057	R1: Alto Pay Back	6	0,631	R2: Perdidas por Sombras	1
0,268	R2: Perdidas por Sombras	2	0,066	R4: Daños por Fenomenos Atmosfericos	4
0,053	R3: Costes del Mantenimiento	7	0,238	R6: Falta de Mantenimiento	2
0,023	R4: Daños por Fenomenos Atmosfericos	9	0,066	R8: Falta de Suministro y Reemplazos	3
0,068	R5: Variabilidad del VAN	5	Orden: R2>R6>R8>R4		
0,079	R6: Falta de Mantenimiento	4	Resultados	Riesgos Fianacieros	Ranking
0,285	R7: Cambios en el Marco Legislativo	1	0,069	R1: Alto Pay Back	5
0,024	R8: Falta de Suminstro y Reemplazos	8	0,070	R3: Costes del Mantenimiento	4
0,143	R9: Falta de Financiación	3	0,133	R5: Variabilidad de VAN	3
Orden: R7>R2>R9>R6>R5>R1>R3>R8>R4			0,517	R7: Cambios en el Marco Legislativo	1
			0,211	R9: Falta de Financiación	2
			Orden: R7>R9>R5>R3>R1		

Figura 8: Comparación Grafica de los Resultados (Fuente: Elaboración Propia)



Observando el orden de prioridad obtenido en cada caso se aprecian dos tendencias en los riesgos finalmente identificados. Mientras que un grupo mantiene el mismo orden de priorización, el restante cambia un peldaño en la escala de priorización (rectángulos rojos en la tabla 6).

Tabla 6: Comparación del Orden de Priorización de los Riesgos (Fuente: Elaboración Propia)

Comparación Analítica de los Resultados		
Riesgos	Orden AHP 1	Orden AHP 2
R1: Alto Pay Back	0,057(6)	0,079(7)
R2: Perdidas por Sombras	0,268(2)	0,631(1)
R3: Costes del Mantenimiento	0,053(7)	0,070(6)
R4: Daños por Fenómenos Atmosférico	0,023(9)	0,066(9)
R5: Variabilidad del VAN	0,088(5)	0,133(5)
R6: Falta de Mantenimiento	0,070(4)	0,211(3)
R7: Cambios en el Marco Legislativo	0,285(1)	0,517(2)
R8: Falta de Suministro y Reemplazos	0,024(8)	0,066(8)
R9: Falta de Financiación	0,143(3)	0,211(4)

4. Conclusiones

Tras el análisis realizado se observa una variación mínima en el orden de prioridad de los riesgos identificados, incluso un grupo no tiene variación alguna: daños por fenómenos atmosféricos, variabilidad del VAN y la falta de suministro y reemplazos siendo estos los establecidos en los lugares de menor prioridad.

Ha sido posible establecer un grupo de cuatro riesgos que marcan la tendencia de importancia: cambios en el marco legislativo, pérdidas por sombras, falta de financiación y la falta de mantenimiento a partir del orden de estos riesgos se refleja la estabilidad en los demás.

A través del proceso AHP se han identificado los dos riesgos principales que más pueden afectar a la rentabilidad del proyecto. Concretamente se trata de un criterio perteneciente a la categoría de riesgos técnicos (perdidas por sombras) y otro de tipo financiero (cambios en el marco legislativo).

Con esta comparación no sólo se verifica que los riesgos técnicos y financieros afectan de igual forma a la rentabilidad de las instalaciones de energías renovables, sino también que la prioridad de respuestas y control suelen ser las mismas.

Cumpliendo con los objetivos del estudio de combinar diferentes metodologías para identificar, categorizar y priorizar, se han identificado los problemas que afectan la rentabilidad en una instalación destinada a las energías renovables en República Dominicana obteniendo un modelo para la gestión de riesgos técnicos y financieros.

Al aplicar este proceso a un caso real identificando los riesgos es posible controlar y mitigar posibles ocurrencias, los resultados obtenidos son satisfactorios y validan el proceso arrojando que la rentabilidad económica supone un gran problema aportando así garantías previas a la contratación de este tipo de proyectos.

Para posibles mitigaciones es importante tener en cuenta las condiciones de financiación dadas en el entorno del proyecto, además conviene realizar previsiones claras del mantenimiento, cálculos técnicos y disponer de datos precisos de la estabilidad legislativa del territorio.

Este modelo es necesario en la fase crítica de evaluación de este tipo de instalaciones, además es recomendable su aplicación en la gestión de riesgos en proyectos de servicios energéticos a desarrollar en países con necesidad de inversión en tecnologías renovables.

Como posibles estudios o análisis futuros se podría plantear la aplicación de otras técnicas y herramientas de decisión que generen un proceso eficaz capaz de abordar el análisis cualitativo y cuantitativo en la gestión de riesgos.

Referencias

Almansa, C. & Martinez-Paz, J. M. (2011). What weight should be assigned to future environmental impacts? a probabilistic cost benefit analysis using recent advances on discounting. *Science of the Total Environment*, 409(7),1305-1314.

Aragones-Beltran, P., Chaparro-Gonzalez, F., Pastor-Ferrando, J., & Rodriguez-Pozo, F. (2010). An anp-based approach for the selection of photovoltaic solar power plant investment projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1),249-264.

Arancibia, S., Contreras, E., Mella, S., Torres, P., & Villalba, I. (2003). *Evaluación Multicriterio: Aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva*, Universidad de Chile.

Arnold, U.,& Yildiz, O. (2014). Economic risk analysis of decentralized renewable energy infrastructures e A Monte Carlo Simulation approach. *Renewable Energy*, 77, 227-239.

Barato, J. (2010). Planificación de Riesgos (sesión 6/18). Curso de preparación para el examen PMP. Project Manager Profesional. Región de Murcia.

González, J. B. C. (2011). Evaluación y análisis de la mejora del servicio de autorización de exportación del registro de bienes culturales de matanzas. *Avanzada Científica*, 13(2),1-15.

ICEX Instituto Español de Comercio Exterior; Agosto (2012). El mercado de Energías Renovables en República Dominicana. Estudios de Mercado. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Santo Domingo.

IFC-BHD International Finance Corporation. Banco Hipotecario Dominicano.; (2010). LINEA DE FINANCIAMIENTO IFC Financiamiento sostenible para clientes BHD. Publicado por: Comisión Nacional de Energía. República Dominicana.

Keil, M., Cule, P. E., Lysine, K., & Schmidt, R. C. (1998). A framework for identifying software project risks. Communications of the ACM, 41(11), 76-83.

Kleindorfer P.R., Singhal , K. & Van Wassenhove L.N.(2009) , Sustainable Operations Management, *Production and Operations Management,* 14 (4), 482–492.,

Markmann, C., Darkow, I., & von der Gracht, H. (2012). A delphi-based risk analysis: Identifying and assessing future challenges for supply chain security in a multi-stakeholder environment. *Technological Forecasting and Social Change,* 80 (9), 1815-1883.

PMBoK (2012). *Project Management Institute. \Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía PMBOK*)". 5a ed.,Pennsylvania USA.

Saaty,TL. (2000). *Fundamentals of Decision Making and priority theory with the Analytic hierarchy Process.* Pittsburgh: RWS Publications. Y Saaty,TL. (2005). Theory and Applications of the Analytic Network Process. Pittsburgh: RWS Publications.

Sudi, A., Erhan, A., & Güngör, T. (2011). Financial risk management in renewable energy sector: Comparative analysis between the European Union and Turkey. *Procedia Social and Behavioral Sciences,* 24, 935–945.

05-034

CASE-STUDY: COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DOCUMENTS RECOGNIZED IN SPAIN FOR THE CERTIFICATION OF ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS

Carpio, Manuel [1]; García-Maraver, Ángela [2]; Martín-Morales, María [1]; Zamorano, Montserrat [2] [1] Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada, [2] Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Granada

Since the approval of the European Directive 2002/91/EC on the Energy Performance of Buildings (EPBD), the recast in the Directive 2010/31/EU, and their partial transposition in Spain by the Royal Decree RD 235/2013 that approves the basic procedure for certification of energy efficiency in buildings, several documents destined to simulate the energy efficiency in buildings have been developed. This study has selected 43 buildings with different characteristics in terms of geometry and constructive solutions. Their energy certificates were obtained by the three documents currently recognized in Spain for the simplified procedure for energy certification in buildings: (i) CE3; (ii) CEX; and (iii) CERMA. The comparative analysis has included parameters such as energy demand, primary energy consumed, energy rating of the whole building, and CO2 emissions. In addition, these parameters have been analyzed according to the purpose of the energy consumed: heating, cooling, or domestic hot water (DHW). The data analysis reveals that there are differences in the data outputs among the documents recognized for the same building, thus affecting not only the results regarding the energy consumption and greenhouse gases emissions, but also the energy rating obtained, which is the image of the level of energy efficiency of the building.

Keywords: *Energy rating; Building; Document recognized; Energy simulation*

DOCUMENTOS RECONOCIDOS PARA LA CERTIFICACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EXISTENTES MEDIANTE EL MÉTODO SIMPLIFICADO: COMPARATIVA MEDIANTE CASOS REALES

Desde la aprobación de la Directiva Europea 2002/91/EU, y su refundición en la Directiva 2010/31/EU, referente a la Eficiencia Energética de Edificios, y su transposición parcial en España con el Real Decreto 235/2013, Procedimiento Básico para la Certificación de Eficiencia Energética de los Edificios, se han reconocido diferentes documentos destinados a la simulación energética de los edificios y su correspondiente certificación. Este trabajo, mediante casos reales, se comparan los tres documentos para el procedimiento simplificado actualmente reconocidos: (i) CE3; (ii) CEX y (iii) CERMA. Los datos de la muestra se han obtenido a partir del análisis con todos los documentos de 43 viviendas, mediante su certificación energética, con diferentes tipologías, tanto geométricas como de soluciones constructivas. La comparativa ha incluido aspectos entre los que se encuentran: Calificación energética del edificio global, emisiones de CO2, demanda energética y energía primaria. El análisis de los datos revela que existen diferencias en las salidas de datos entre los documentos reconocidos para el mismo edificio, lo que afecta no sólo a los resultados en cuanto a consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también la calificación energética obtenida, que es el nivel de la eficiencia energética del edificio.

Palabras clave: *Certificación energética; Edificio; Documento reconocido; Simulación energética*

Correspondencia: Montserrat Zamorano zamorano@ugr.es

Agradecimientos: Grupo de Investigación RNM197 Gestión y Tecnología Ambiental - Universidad de Granada

1. Introducción

La sensación de confort en el interior de un edificio, implica un correcto diseño y la ejecución de la propia edificación, así como el uso adecuado de la fuente de energía (Wang, Gwilliam & Jones, 2009; Carpio, Zamorano & Costa, 2013).

La simulación energética previa a la construcción de un edificio proporciona información útil para un correcto diseño del mismo, como geometría, orientación, materiales, etc. (Newton, James & Bartholomew, 1988). De acuerdo a la normativa actualmente en vigor (Real Decreto 235/2013), estas simulaciones energéticas pueden realizarse manualmente, pero el gran volumen de información a tratar hace recomendable el uso de programas informáticos con tal fin. Estos programas no sólo agilizan el cálculo energético si no que proporcionan recomendaciones para la optimización de la eficiencia energética de los edificios. El uso de software diseñado para este propósito se inició en la década de 1980 (Newton, James & Bartholomew, 1988), y con el paso del tiempo se han creado herramientas sofisticadas que incluyen registros climáticos exhaustivos, bibliotecas de materiales con diferentes soluciones constructivas, y la integración completa de CAD.

En España, la ratificación del marco normativo europeo relativo a la calificación energética de los edificios (Directiva Europea 2002/91/CE; Directiva Europea 2010/31/UE), se realiza mediante la transposición parcial a través del Real Decreto 235/2013, *Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de los edificios*. El objeto de este decreto es el establecimiento de las condiciones técnicas y administrativas para realizar las certificaciones de eficiencia energética de los edificios y la metodología de cálculo de su calificación de eficiencia energética, considerando aquellos factores que más incidencia tienen en el consumo de energía de los edificios, así como la aprobación de la etiqueta de eficiencia energética como distintivo común en todo el territorio nacional. Para cumplir este objeto, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo ha reconocido una serie de documentos, en forma de software, creados para la simulación energética de los edificios.

En términos generales, los programas disponibles y reconocidos actualmente únicamente se diferencian en la forma de introducir las características del edificio como entrada, y en la salida prevista (Crawley et al. 2008). Sin embargo, aunque todos los documentos de software anteriormente descritos son válidos, y por tanto lo son sus resultados, es posible que al basarse en diferentes parámetros -cálculos, variables, mediante la introducción de datos, motor de cálculo, informe de salida, etc.- den lugar a resultados divergentes. Estas diferencias de resultados pueden generar errores en los dimensionamientos de los propios edificios, tanto geométricos, como al seleccionar soluciones constructivas.

2. Objetivos

El objetivo de esta investigación es la comparación, mediante casos reales, de los tres documentos actualmente reconocidos en España para el procedimiento de simulación energética simplificado.

Este objetivo se lleva a cabo mediante el análisis de los datos obtenidos para un mismo edificio mediante cada uno de los documentos reconocidos. Los resultados a analizar serán aquellos relativos al consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero, y la calificación energética o nivel de la eficiencia energética del edificio.

3. Metodología

3.1Documentos reconocidos

El Real Decreto 235/2013 señala la posibilidad de realizar las certificaciones energéticas mediante dos métodos, el general y el simplificado. Por un lado CALENER VYP aplica el método general de carácter obligatorio; mientras CE3, CEX y CERMA aplican la opción simplificada de carácter prescriptivo, cuyo cálculo indirecto se basa en el método general. El método simplificado se limita a que las aberturas en la fachada deben constituir menos del 60% de su superficie total y el porcentaje de claraboyas debe ser menor de 5% de la superficie cubierta. En edificación residencial el método simplificado se puede aplicar a la mayoría de los supuestos. Por otra parte, quedan excluidos del procedimiento los edificios que consten de soluciones constructivas no convencionales.

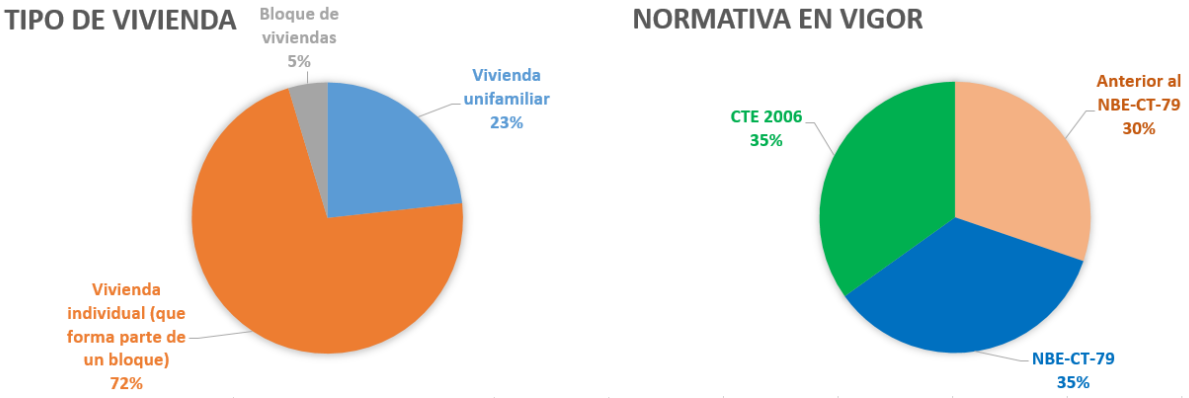
En el presente estudio la comparativa de la muestra se realiza sobre los tres documentos reconocidos de la opción simplificada: (i) CE3; (ii) CEX y (iii) CERMA.

3.2 Muestra

La muestra se compone de 43 casos reales de diferentes viviendas situadas en diversas zonas climáticas. Respecto a la tipología de las viviendas, se han seleccionado geometrías y soluciones constructivas representativas en España obtenidas en base a las descritas por el Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España (CSCAE), y el Consejo General de la Arquitectura Técnica de España (CGATE).

Las superficies habitables de las viviendas consideradas van desde los 35 m^2 hasta los 507 m^2, con una altura libre entre los 2.2 m y los 3.0 m. La vivienda de la muestra más antigua, fue construida en 1910, frente a la más moderna construida en 2014.

Figura 1: Distribución de tipo de vivienda y normativa en vigor de la construcción



En la Figura 1 se observa la distribución de la proporción de las viviendas del estudio, según la normativa afectada en el momento de la construcción. Existen tres grandes bloques:

1. Anterior a 1979. No existe normativa en materia de eficiencia energética en la edificación.
2. Entre 1979 y 2006. La normativa en vigor es la Norma Básica de la Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios (NBE-CT-79).
3. Posterior a 2006. La normativa en vigor es el: Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Del mismo modo, en la Figura 1, también se observa la distribución de las unidades certificadas según su tipología, diferenciándose en edificación residencial tres categorías:

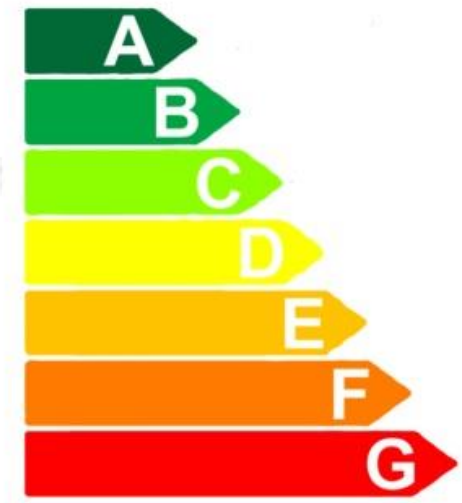
1. Viviendas unifamiliares.
2. Vivienda individual (que forma parte de un bloque).
3. Bloque de viviendas.

3.3 Niveles de eficiencia energética

Según el Real Decreto 235/2013, la calificación de la eficiencia energética de un edificio, o de parte del mismo, se define como expresión de la eficiencia energética de un edificio, o parte del mismo, que se determina de acuerdo con la metodología de cálculo establecida en el documento reconocido, correspondiente al procedimiento básico, y se expresa con indicadores energéticos mediante la etiqueta de eficiencia energética.

Mediante una serie de condicionantes, como son la zona climática de verano y la zona climática de invierno, la tipología de la vivienda y el año de construcción, se determinan una serie de umbrales, diferentes para cada caso, en los que según la cantidad de emisiones de CO_2/m^2 que emitan al ambiente, la vivienda se encuadra en uno de los niveles de la escala energética. Como se observa en la Figura 2, esta escala se compone de siete niveles, la más eficiente denotada por A, y la menos eficiente designada por G.

Figura 2: Escala de 7 niveles de calificación energética (CTE)



4. Resultados

4.1 Emisiones de CO_2

En la Tabla 1, se observan las diferencias en el cálculo de las emisiones globales de CO_2 de los 43 casos reales que componen la muestra, calculados con los tres documentos reconocidos.

Para analizar las diferencias entre los diferentes documentos se han realizado diferencias relativas de los mismos, basados en los resultados de la Tabla 1, resultando tres casos CEX

vs CE3, CERMA vs CEX y CERMA vs CE3, tal y como se observan en las Figuras 3, 4 y 5 respectivamente.

En el caso de la diferencia relativa de CE3 vs CEX, se ha observado un promedio con una desviación estándar de 4.45%±3.69%. En el caso de CERMA vs CEX un resultado de 1.81%±1.29% así como en CERMA vs CE3 un resultado de 3.23%±2.83%. Con estos resultados se puede afirmar que los resultados obtenidos entre los diferentes documentos reconocidos varían de una forma considerable, obteniendo resultados muy distantes según el documento escogido para realizar la certificación energética.

Por otro lado se ha observado que a bajas emisiones de CO_2, se producen grandes divergencias en los resultados a valores inferiores a 25 kg de CO_2/m^2. Por lo que se puede deducir, que estos documentos obtienen unos resultados más similares entre ellos cuanto mayor sea el valor de las emisiones de CO_2 emitidas al medioambiente.

En las tres comparativas se observa que el 62.79% de los casos reales estudiados se encuentran en el intervalo comprendido entre 20 y 50 kg de CO_2/m^2. En este intervalo, aplicando el coeficiente de correlación lineal de Pearson, los dos documentos que más confluyen en resultados son CE3 vs CEX, con un coeficiente de 0.40, seguido de CERMA vs CE3 (0.34) y por último CERMA vs CEX (0.34). Estos resultados ponen de manifiesto la baja similitud entre los documentos reconocidos, dificultando al técnico certificador en la realización de una correcta certificación, aun siendo todos estos resultados válidos.

Tabla 1: Emisiones globales de kg de CO_2/m^2

ID	CE3	CEX	CERMA	ID	CE3	CEX	CERMA
1	9.33	19.20	13.80	23	38.98	49.65	41.69
2	11.10	24.15	16.00	24	40.42	43.26	37.00
3	15.86	58.66	37.80	25	41.38	40.69	35.60
4	16.17	23.15	27.37	26	41.45	67.15	35.63
5	18.30	40.07	23.27	27	41.97	43.80	40.30
6	18.33	17.37	15.63	28	42.21	46.89	27.41
7	22.65	25.03	19.04	29	42.76	36.21	27.78
8	22.67	22.47	20.67	30	44.52	48.60	28.00
9	25.69	32.55	27.58	31	44.84	78.47	33.90
10	26.68	64.36	49.24	32	48.94	86.52	60.40
11	27.98	45.82	25.36	33	57.31	34.72	59.56
12	29.02	53.05	37.39	34	59.18	64.13	88.40
13	30.06	80.18	16.50	35	63.11	43.93	28.95
14	30.32	48.51	33.70	36	65.12	62.10	35.90
15	30.69	57.32	54.08	37	65.51	105.10	57.81
16	31.41	60.79	87.69	38	90.02	95.40	55.26
17	34.12	41.52	20.88	39	104.56	119.06	128.64
18	34.26	34.69	37.06	40	114.22	81.17	63.05
19	34.32	47.46	10.70	41	150.66	72.46	30.93
20	35.30	27.81	25.20	42	163.81	126.10	66.52
21	35.51	54.53	25.90	43	46.00	49.72	30.82
22	36.50	73.21	32.71				

Figura 3: Diferencia relativa de emisiones globales de kg de CO_2/m^2. CE3 vs CEX

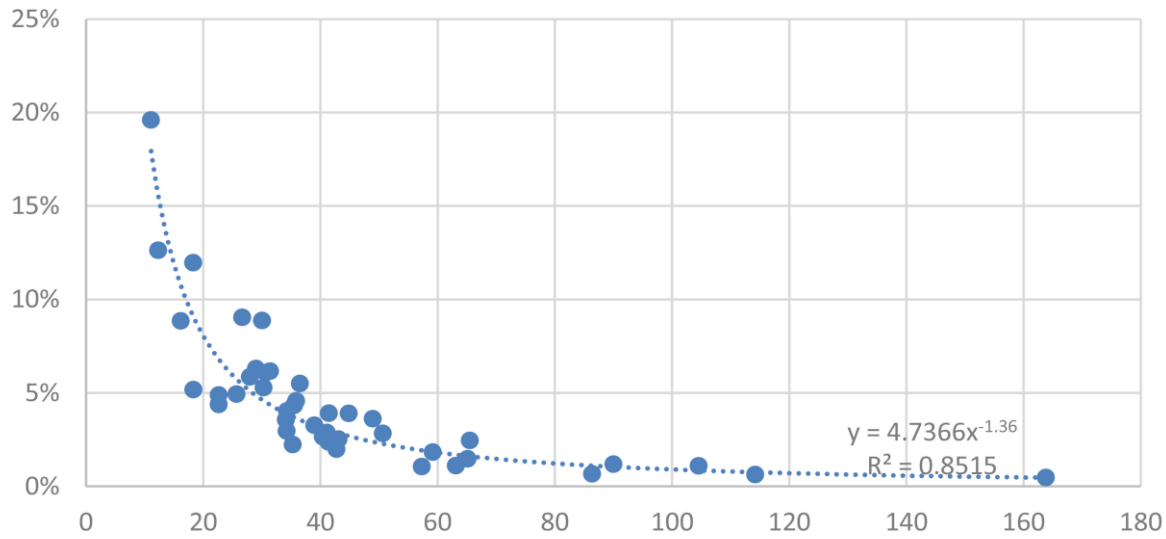


Figura 4: Diferencia relativa de emisiones globales de kg de CO_2/m^2. CERMA vs CEX

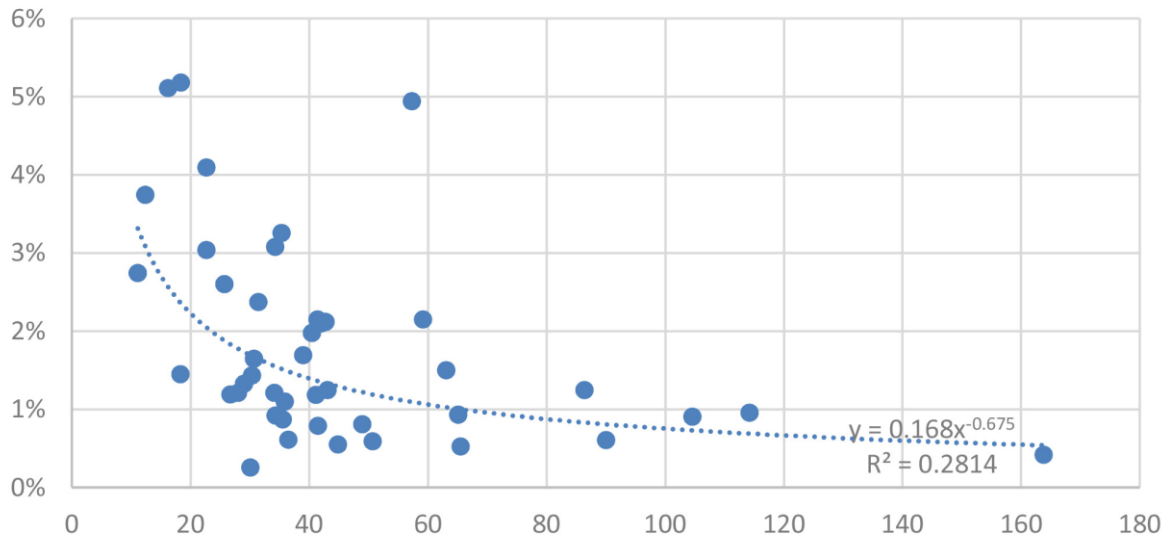
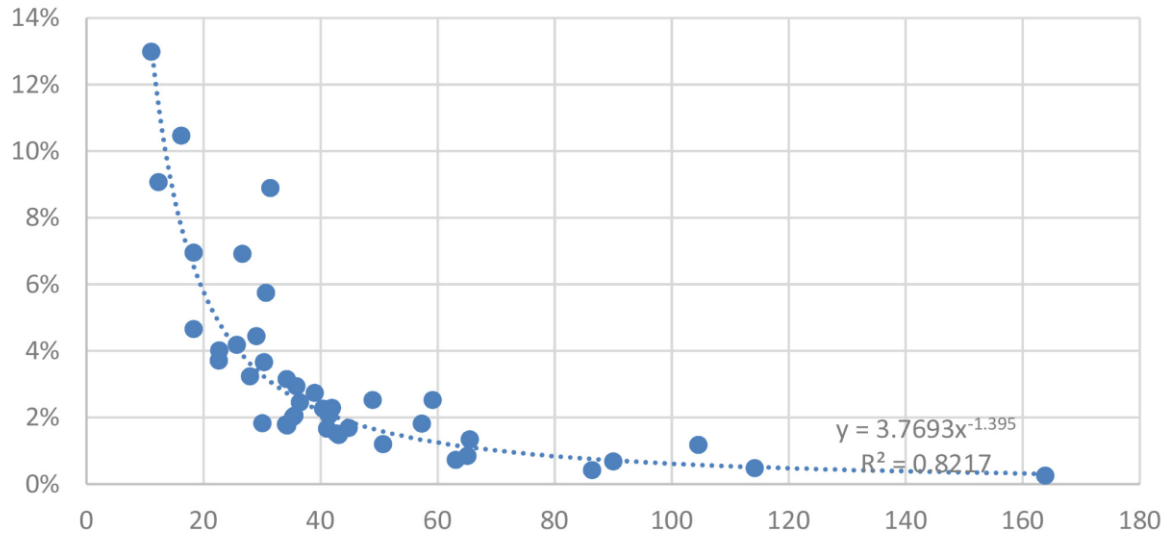


Figura 5: Diferencia relativa de emisiones globales de kg de CO_2/m^2. CERMA vs CE3



4.2 Calificación energética

La Tabla 2 muestra una tabla de triple entrada mediante el sistema de tabulación cruzada. En ella se observan las coincidencias de los 43 casos estudiados en los niveles de calificación energética (Figura 2) mediante los tres documentos reconocidos.

Se observa que en el 28% de los casos (12) se ha obtenido el mismo nivel de calificación energética mediante los diferentes documentos. Por otro lado, en el 51% de las viviendas (22) sólo han coincidido en dos de los tres programas, obteniendo uno de ellos un nivel diferente. Por último, en el 21 % de los casos (9), ninguno de los tres documentos ha mostrado el mismo resultado.

Pese a que los umbrales de los niveles de calificación energética de las viviendas se ven influenciados por otras variables tales como la zona climática donde se encuentran estas ubicadas, así como la tipología de la vivienda, la repercusión de los distintos niveles de CO_2 resultantes de la aplicación de cada uno de los programas condicionan directamente el nivel de eficiencia final.

En los supuestos en los que los niveles de eficiencia energética no coinciden, se han observado diferencias de hasta 3 niveles en el 6% de los casos (2), de 2 niveles en el 39% (13) y de solo 1 nivel en el 55% restante (18). Con estos resultados se observa que un mismo edificio puede clasificarse en niveles distintos en función del documento reconocido con el que lo certifiquemos, siendo todos los resultados válidos, y por tanto suponiendo una baja fiabilidad de los mismos.

Tabla 2. Tabulación cruzada de las calificaciones energéticas globales de los 43 casos mediante los diferentes documentos reconocidos

Calificación energética de edificio global [CERMA]			Calificación energética de edificio global [CEX]				Total
			D	E	F	G	
C	Calificación energética de edificio global [CE3]	D	1	1			2
		E	0	1			1
	Total		1	2			3
D	Calificación energética de edificio global [CE3]	D	1	2	0	0	3
		E	1	4	1	1	7
		G	0	2	0	0	2
	Total		2	8	1	1	12
E	Calificación energética de edificio global [CE3]	D	1	0	0	0	1
		E	0	7	1	2	10
		F	0	0	1	2	3
		G	0	1	1	1	3
	Total		1	8	3	5	17
F	Calificación energética de edificio global [CE3]	D		1		0	1
		F		1		0	1
		G		0		1	1
	Total			2		1	3
G	Calificación energética de edificio global [CE3]	E			0	2	2
		F			1	1	2
		G			0	4	4
	Total				1	7	8
Total	Calificación energética de edificio global [CE3]	D	3	4	0	0	7
		E	1	12	2	5	20
		F	0	1	2	3	6
		G	0	3	1	6	10
	Total		4	20	5	14	43

5. Conclusiones

De la investigación derivada de la comparación de los tres documentos reconocidos en España para la certificación energética de edificios residenciales mediante el método simplificado, se han obtenido las siguientes conclusiones:

En el cálculo de las emisiones de CO_2, obtenidas por los diferentes documentos comparados entre sí, se obtienen resultados con variaciones considerables que alcanzan

valores de 4.45%±3.69%, 3.23%±2.83% y 1.81%±1.29% para CE3 vs CEX, CERMA vs CE3 y CERMA vs CEX respectivamente.

Las mayores divergencias de resultados de emisiones de CO_2 se producen a concentraciones inferiores a 25 kg de CO_2/m^2. En consecuencia, la fiabilidad de los documentos reconocidos aumenta con el valor de las emisiones de CO_2, estando estas en la mayoría de los casos estudiados en el intervalo comprendido entre 20 y 50 kg de CO_2/m^2, en este intervalo, la mayor correlación de Pearson obtenida es de 0.40, representando este valor una baja confluencia de resultados entre los documentos reconocidos.

Respecto a la calificación energética y teniendo en cuenta que esta se ve afectada por el cálculo previo relativo a las emisiones de CO_2, cabe destacar que sólo en el 28% de los casos el resultado obtenido por los tres documentos coincide. Por otro lado, en el 51% de los casos sólo dos de los tres documentos coinciden, frente al 21% de los casos en los que cada documento proporciona una calificación diferente.

Con todo lo expuesto, se llega a la conclusión de que siendo todos los resultados válidos, ya que estos documentos están reconocidos por la normativa vigente, existen grandes diferencias entre ellos, por lo que es necesario una armonización de los mismos para evitar divergencias en los mismos.

6. Referencias

Carpio, M., Zamorano, M. & Costa, M. (2013). Impact of using biomass boilers on the energy rating and CO2 emissions of Iberian Peninsula residential buildings, *Energy and Buildings, 66,* 732-744.

Crawley, D., Hand, J., Kummert, M Griffith, B,. (2008) Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs, *Buildings and Environments. 43*, 661-73.

España. APPLUS, U. AICIA I CERDÁ, IETcc & REPSOL, Calificación energética de Edificios Existentes, CE3. 1.1 [2013] [Software]. Disponible en: www.minetur.gob.es.

España. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, Universidad de Valencia, CERMA. V. 2.6 [2013] [Software]. Disponible en: www.atecyr.org

España. CENER & MIYABI, Certificación Energética Simplificada de Edificios Existentes, CEX. 1.1 [2014] [Software]. Disponible en: http://www.cener.com/

España. IBM, SPSS. 20.0.0 [2011] [Software]. Disponible en: http://www-01.ibm.com/software/es/analytics/spss/.

España. Ministerio de Industria Energía y Turismo, CALENER-VYP. V. 1.0 [2010] [Software]. Disponible en: www.minetur.gob.es.

España. Real Decreto 2429/79, de 6 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre Condiciones Térmicas en los edificios. *Boletín Oficial del Estado,* 22 de octubre de 1979, núm. 253, pp. 24524.

España. Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, Código Técnico de la Edificación (CTE) *Boletín Oficial del Estado*, 28 de marzo de 2006, núm. 74, pp.11816-11831.

España. Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, *Boletín Oficial del Estado*, 13 de abril de 2013, núm. 89, pp. 27548-27562.

Newton, D., R. James, R. & Bartholomew, D. (1988), Building energy simulation - A user's perspective, *Energy and Buildings, 10,* 241-247.

Unión Europea. Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 1, pp. 65-71.

Unión Europea. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). *Diario Oficial de la Unión Europea*, núm. 153, pp. 13-35.

Wang, L., Gwilliam, J. & Jones, P. (2009). Case study of zero energy house design in UK, *Energy and Buildings, 41,* 1215-1222.

05-035

SOFTWARE AGROGAS. NEW COMPUTER TOOL FOR FARMS WITH PRODUCTION OF BIOGAS.

Márquez Pocostales, Francisco Javier [1]; López Rodríguez, Fernando [2]; Ruiz Celma, Antonio [2]

[1] Agencia Extremeña de la Energía, [2] Universidad de Extremadura

Software AGROGAS try to find viable technical solutions for managing of livestock, agricultural and industrial wastes and its energy valorization. These solutions are achieved through anaerobic digestion. It means the reduction of the polluting power of these wastes, value the important volumes of biogas obtained and which can be used to produce heat, electricity, and/or to inject the gas grid after a process of cleansing and purification. AGROGAS SOFTWARE is a tool for the feasibility analysis of biogas plants. The feasibility analysis is made from the technical, economic and environmental points of view. Some of the main parameters used in the calculation of the biogas plant viability are the location of the plant, valorization type of the biogas produced and the type and quantity of treated waste. This tool allows the simulation of various scenarios depending on the use to which it will be intended the biogas produced. At the same time, it allows you to compare up to three different scenarios in the same calculation.

Keywords: *Digestion; anaerobic; biogas; wastes; analysis; viability*

NUEVA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA EVALUACIÓN DE EXPLOTACIONES GANADERAS CON PRODUCCIÓN DE BIOGÁS. SOFTWARE AGROGAS

Se trata de buscar soluciones técnicas viables para el tratamiento de residuos sólidos agroganaderos, agrícolas e industriales y su valoración energética. Para ello se sigue la tecnología de la digestión anaerobia. Se trata de la disminución del poder contaminante de dichos residuos, de valorizar los importantes volúmenes de biogás que se obtienen y que pueden ser utilizados para producir calor para un proceso demandante del mismo, electricidad para transferir a la red eléctrica, o inyectar a la red gasista tras un proceso de limpieza y depuración. El SOFTWARE AGROGAS es una herramienta informática para el análisis de viabilidad de plantas de biogás. Dicho análisis de viabilidad se realiza desde los puntos de vista técnico, económico y medioambiental. Algunos de los principales parámetros usados en el cálculo de la viabilidad de la planta de biogás son la localización de la planta, el tipo de valoración del biogás producido y la tipología y cantidad de los residuos tratados. Esta herramienta permite la simulación de varios escenarios en función del uso al que vaya a ser destinado el biogás. A su vez, permite comparar hasta tres escenarios distintos en el mismo cálculo

Palabras clave: *Digestión; anaerobia; biogás; residuos; análisis; viabilidad*

Correspondencia: Francisco Javier Márquez Pocostales fjmarquez@agenex.org

Agradecimientos: Dirección General de Agricultura y Ganadería de la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía de la Junta de Extremadura; AINIA; CIEMAT y BYDT por participar en el desarrollo de la herramienta.

1. Introducción

Las actividades relacionadas con la cría de ganado, fundamentalmente intensiva, y la elaboración posterior de productos cárnicos conlleva una fuerte influencia sobre la economía regional. Actualmente, en Extremadura se sacrifican al año alrededor de un millón de reses (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2013). La cantidad de residuos generados es enorme y con un potencial contaminante muy elevado, tanto en el caso de los residuos sólidos como líquidos en intensivo y extensivo.

La digestión anaerobia (DA) o biodigestión es una tecnología de degradación biológica de la materia orgánica en un medio anóxico; esto es, en ausencia de oxígeno. Presenta dos grandes ventajas, por una parte la de producir lo que conocemos como biogás, que es una mezcla de CO_2 (aproximadamente el 30%) y metano (el 70%) aprovechable energéticamente, y además se genera un lodo efluente con menos olores y rico en nutrientes aprovechable como enmienda orgánica.

Estas tecnologías de DA se han utilizado para degradar una gran variedad de residuos de la industria agroalimentaria, como por ejemplo residuos de frutas y vegetales (Bouallagui et al., 2004. Bouallagui et al., 2005. Kaparaju y Rintala, 2005), tratamiento de restos de oliva de almazara (Borja et al., 2002. Ergüder, Güven y Demirer, 2000), etc.

También, la DA se ha utilizado para la biodegradación y valoración energética de residuos sólidos urbanos (RSU) (International Solid Waste Association [ISWA], 2002). Además de estos ejemplos, se pueden encontrar otros muchos más que utilizan la DA para degradar todo tipo de biomasa residual húmeda. En definitiva, se trata de una tecnología versátil con la que se puede realizar una gestión completa e integrada de diferentes tipos de residuos.

El objetivo del presente trabajo ha sido el de proveer de una estrategia útil para el reciclaje de los residuos ganaderos y de la industria agroalimentaria en Extremadura, de modo que el medioambiente sea conservado en las mismas condiciones que permitieron a esta región ser considerada como una reserva ambiental en la Unión Europea

Por todo ello, un consorcio internacional coordinado por la Agencia Extremeña de la Energía y la Dirección General de Agricultura y Ganadería, han creado, dentro del proyecto AGROGAS, el software AGROGAS, cuyo objetivo es llevar a la práctica los resultados obtenidos en proyectos previos del programa SUDOE, para conseguir que los sectores ganadero, agrícola y agroindustrial reduzcan de manera real el impacto medioambiental que producen sus residuos intensivos, al mismo tiempo que se reduce su dependencia energética y se mejora la eficiencia de los recursos energéticos de las zonas rurales.

2. Objetivos

El Software AGROGAS es una herramienta informática para el análisis de viabilidad de plantas de biogás. Dicho análisis de viabilidad se realiza desde los puntos de vista técnico, económico y medioambiental.

La herramienta, cuya pantalla de inicio se puede apreciar en la figura 1, se centra en la búsqueda de soluciones técnicas viables para el tratamiento de los residuos ganaderos, agrícola y agroindustrial y su valorización energética, basándose en la digestión anaerobia, no solo porque conduce a una drástica disminución del poder contaminante de dichos residuos, sino también por los importantes volúmenes de biogás que se obtienen, que puede ser utilizado para transferencia de calor a un proceso demandante, electricidad a la red eléctrica o inyectarlo directamente a la red gasista.

Figura 1: Pantalla de inicio del Software AGROGAS.

En la actualidad y en Extremadura hay 5.409.044 cabezas de ganado entre caprino, bovino, ovino y porcino, en más de 27.000 explotaciones ganaderas y se sacrificaron un total de 1.050.964 reses en el año 2011.

La cantidad de residuos sólidos (estómagos, grasas, vísceras, e intestinos) así como los residuos líquidos (purines, sangre y aguas de lavado) que genera este sector es enorme, y, lo que es peor, con una gran carga contaminante, lo que puede provocar graves problemas ambientales. Teniendo en cuenta la cantidad de reses de cada especie sacrificadas, se puede deducir que la cantidad de residuos sólidos totales generados alcanza cifras que superan las 37.500 toneladas/año, mientras que los purines y aguas de lavado generados alcanzan las 1.250.000 t/año. Este dato refleja la magnitud del problema al que nos enfrentamos, y que es común a otras regiones del mundo con una fuerte dependencia del sector ganadero.

El objetivo del software AGROGAS, como se ha indicado anteriormente, es el de poner de manifiesto una estrategia útil para el reciclaje de los residuos ganaderos y agroalimentarios de Extremadura. Tal estrategia está basada en la digestión anaerobia de desechos que conduce, por una parte, a ratios de descontaminación bastante satisfactorios, y por otra a la valoración enérgica de los residuos, que favorece la viabilidad económica con períodos de retorno relativamente cortos.

Se trata de una herramienta perdurable en el tiempo y útil en la toma de decisiones de la instalación de una planta de biogás.

Para ello el programa opera en los idiomas español, francés o portugués, dependiendo del idioma del sistema operativo en el que se ejecute. Los datos de entrada son introducidos por el usuario a través de la interfaz, y son editables por el administrador de la herramienta.

Dispone de dos versiones, la opción resumida, puede ser utilizada por personas sin experiencia (agricultores, ganaderos, etc.), mientras que la opción detallada, requiere un mayor conocimiento técnico sobre la digestión anaerobia.

Se puede desarrollar en cualquier equipo con sistema operativo Windows XP, MS Office 2003 y Plataforma Java (Java Standard Edition versión 7) o superiores.

3. Desarrollo

El software AGROGAS calcula la viabilidad de la planta de biogás en función de la localización de la planta, el tipo de valoración del biogás producido y los residuos tratados.

En función de la localización de la planta, la herramienta asigna ciertos valores por defecto (editables en la opción detallada), como por ejemplo, los precios de los productos obtenidos en la futura planta de biogás (electricidad, calor, biometano y digerido).

Permite la simulación de la planta hasta en 8 escenarios distintos. Entre ellos se encuentra el que utiliza el biogás para producir calor mediante una caldera de gas, siendo este calor autoconsumido o vendido; el que usa el biogás para producir electricidad y calor, que puede autoconsumirse y/o venderse, mediante cogeneración con un MCIA (Motor de Combustión Interna Alternativo); y el de uso directo del biogás (transformado en biometano tras el consecuente proceso de depuración), como combustible de automoción (biofuel) o el de inyección directa a red de gas natural. Los escenarios se resumen en la tabla 1.

Tabla 1: Escenarios posibles en el Software AGROGAS

Nº	Valorización	Electricidad	Calor	Biometano
1	Caldera	--	Autoconsumo	--
2		--	Venta	--
3	Cogeneración	Autoconsumo	Autoconsumo	--
4		Venta	Autoconsumo	--
5		Autoconsumo	Venta	--
6		Venta	Venta	--
7	Biometano	--	--	Inyección a red
8		--	--	Biocombustible

La herramienta permite la selección de 3 escenarios a la vez, lo que facilitará la comparación entre ambos. No obstante, caso de necesitar comparar más de 3 escenarios, o incluso los 8 posibles, tan sólo habrá que generar varios informes con los mismos datos.

También existe la opción de incorporar “externalidades económicas” en forma, por ejemplo, de subvenciones y/o ayudas en la reducción del tipo de interés, para el análisis de la viabilidad económica. Incorporar inversiones relacionadas con la construcción de la planta como pueden ser las infraestructuras de evacuación de la energía y/o gas producido.

Además de los datos de entrada introducidos por el usuario, el programa utiliza bases de datos. Entre ellas una base de datos geográfica, referida al suroeste europeo (región SUDOE), o una base de datos de sustratos.

La base de datos de sustratos contiene 225 residuos, entre los que se encuentran los residuos agrícolas, ganaderos y agroindustriales más representativos de la región SUDOE. Los datos principales de estos residuos, que aparecen en la herramienta, son el porcentaje en materia seca, materia orgánica digerible, potencial de producción de metano, contenido en nitrógeno y nitrógeno amoniacal, etc.

El usuario debe conocer la cantidad de residuos que produce al año, el coste de adquisición de estos residuos (caso de que exista) y la distancia de transporte de los residuos (caso de que exista).

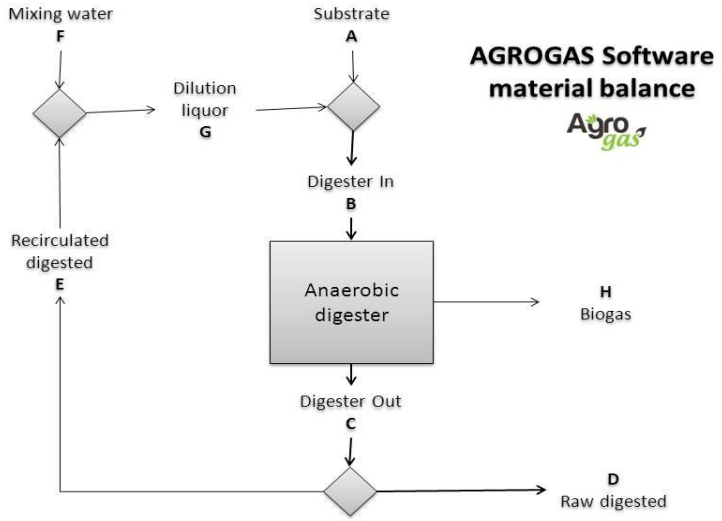
El programa permite al usuario seleccionar hasta seis tipos de sustrato en codigestión, cuyas características puede definir él mismo (en la opción detallada) o bien tomar de la base de datos de sustratos.

Por otra parte, el software emite una serie de alertas y avisos para señalar si alguno de los parámetros introducidos impide la realización de los cálculos. Por su parte, los avisos se muestran en los resultados y tienen la finalidad de incitar al usuario a modificar ciertos parámetros para mejorar la viabilidad de la planta.

4. Metodología

El Software AGROGAS se basa en un balance de materia como el que se muestra en la figura 2. Por otra parte, en la tabla 2 aparecen los datos de un balance de materia tipo usado por el Software, con una entrada de 100.000 t/año de sustrato.

Figura 2: Esquema del balance de materia realizado por el Software AGROGAS.



Estos son los principales procesos realizados por el Software, con el fin de conocer la cantidad de biogás generado.

Tabla 2: Escenarios posibles en el Software AGROGAS

Descripción		Masa total (t/año ó Nm3/año)	MS (t/año)	MO (t/año)	Agua (t/año)	Inertes (t/año)	MS (%)	MO (%)
Notación		*m*	*s*	*o*	*a*	*i*	*α*	*β*
A	Sustrato	100,000	25,000	19,000	75,000	6,000	25.0	76.0
B	Entrada digestor	180,490	26,919	20,031	153,571	6,888	14.9	74.4
C	Salida digestor	170,795	16,904	10,015	153,892	6,888	9.9	59.2
D	Digerido bruto	149,234	14,985	8,985	134,249	6,000	10.0	60.0
E	Digerido recirculado	21,562	1,919	1,031	19,643	888	8.9	53.7
F	Agua de mezcla	58,929	--	--	58,929	--	--	--
G	Licor de dilución	80,490	1,919	1,031	78,571	888	2.4	53.7
H	Biogás	7,500,000	--	10,015	320	--	--	--

Por otra parte, para aclarar aún más cómo el Software realiza el cálculo, algunas de las ecuaciones principales utilizadas en el cálculo se muestra en las siguientes líneas. Es necesario prestar atención a la notación de imagen 2 y tabla 2, para obtener una mejor comprensión de las ecuaciones.

Para fijar el balance se utilizan como parámetros de entrada k1, k2,... k10. Éstos son datos calculados previamente y consignas que se encuentran entre los datos de entrada editables por el administrador (entre paréntesis los valores definidos por defecto):

- k1 Σ Amount of processed substrate (t/year)
- k4 Σ DOM/OM (Digestible Organic Matter/ Organic Matter) (%)
- k9 Water content in biogas (42,7 g/m3)

Así, estos parámetros son usados en las principales ecuaciones del balance:

$$m_A = k_1 \quad (1)$$

$$a_A = m_A - s_A \quad (2)$$

$$\alpha_A = 100 \cdot s_A / m_A \quad (3)$$

$$\beta_A = 100 \cdot o_A / s_A \quad (4)$$

$$m_B = s_B + a_B \quad (5)$$

$$s_B = s_A + s_G \quad (6)$$

$$a_B = a_A + a_G \quad (7)$$

$$m_C = m_B + a_H - o_H \quad (8)$$

$$s_C = o_C + i_C \quad (9)$$

$$o_C = o_B \cdot (1 - k_4/100) \quad (10)$$

$$m_D = m_C - m_E \quad (11)$$

$$s_D = s_C - s_E \quad (12)$$

$$a_D = a_C - a_E \quad (13)$$

$$i_D = i_C - i_E \quad (14)$$

$$m_E = a_E / (1 - \alpha_E/100) \quad (15)$$

$$s_E = m_E - a_E \quad (16)$$

$$a_E = a_G - a_F \quad (17)$$

$$m_G = s_G + a_G \quad (18)$$

$$a_H = m_H \cdot k_9/1000000 \quad (19)$$

Otro de los puntos críticos es el cálculo del volumen del digestor, para el cual se siguen las siguientes ecuaciones:

$$V = 0{,}25 \cdot \pi \cdot k_{11} \cdot \phi^2 \quad (20)$$

$$\phi = \sqrt{4 \cdot V' / k_{12}} \quad (21)$$

$$V' = (1000/365) \cdot (k_{14}/k_{15}) \cdot (o_A + k_{13} \cdot o_G/100) \quad (22)$$

Donde:

- ϕ Diámetro del digestor (m)
- V Volumen total del digestor (m^3)
- V' Volumen efectivo del digestor (m^3)

5. Resultados

El programa presenta los resultados en formato de libro Excel, permitiendo incluir texto y datos. Existen dos versiones de informes que el usuario puede seleccionar a través de la interfaz: informe detallado e informe resumido. Así mismo, la selección de uno u otro dará lugar a una versión más detallada o resumida de la interfaz, esta última con menor cantidad de datos a introducir por parte del usuario.

Los resultados se estructuran en tres partes encaminadas a mostrar la viabilidad técnica, económica y medioambiental.

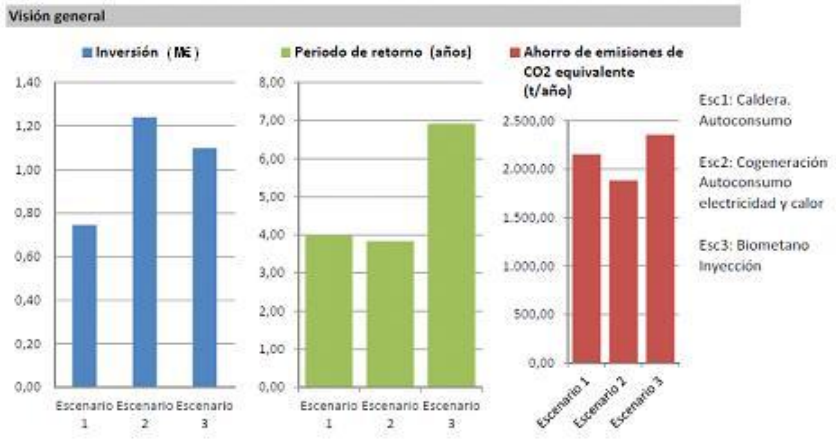
La primera parte es común a todos los escenarios, se ha denominado “digestión anaerobia” y está considerado como el análisis de viabilidad técnico. Muestra las principales características de la planta, como son la producción de biogás anual, el volumen de los digestores, cantidad de sustrato procesado, etc. Además, incluye una breve enumeración de

los principales componentes de la futura planta de biogás. También aparece las cantidades de energía producida, potencia necesaria (caso de aplicarse), etc.

La segunda y tercera parte repiten su estructura para cada escenario. En esta segunda parte (análisis de viabilidad económico); aparece la inversión necesaria, ingresos y costes de operación de la planta de biogás. A su vez se calculan varios índices económicos y financieros para determinar la viabilidad económica de la futura planta de biogás. Alguno de estos índices son el EBIDTA (beneficio antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones), VAN(Valor Actual Neto) y el Periodo de Retorno de la inversión

En la tercera parte se realiza el análisis medioambiental. En esta, para cada uno de los escenarios simulados se arrojan valores como el ahorro de energía primaria y el ahorro de emisiones de CO_2 equivalentes. Además, se incorporan conceptos nuevos como *coches anuales equivalentes*, esto es el número de coches cuyas emisiones de CO_2 equivalente se corresponden con las ahorradas; entre otros.

Figura 3: Gráficos comparativos del informe emitido por el Software AGROGAS.



Se incorporan varias gráficas, figura 3, que ayudan a comparar los distintos escenarios. Los parámetros mostrados son inversión, periodo de retorno y ahorro de emisiones.

En la tabla 3 se resumen los resultados obtenidos por la Agencia Extremeña de la Energía para dos explotaciones situadas en la provincia de Badajoz. En la primera, una granja con una producción de residuos de 52.000 toneladas/año de purín de cerdo y en la segunda, una granja con una producción de residuos de 600 t/año de estiércol de pollo. Ambos ejemplos han resultado viables tanto técnica como económica y medioambientalmente.

Tabla 3: Ejemplos de resultados emitidos por el Software AGROGAS

Residuos usados	Escenario más rentable	Producción de biogás (Nm^3/año)	Coste de inversión (€)	Periodo retorno (años)	Ahorro energía primaria (MWh/año)
Purín cerdos	Cogeneración con autoconsumo de electricidad y calor	559.062	1.654.769	13,8	3.440
Estiércol pollo	Cogeneración con autoconsumo de electricidad y calor	146.936	173.456	3,7	886

6. Conclusiones

La herramienta ha sido testada, con datos de varias plantas de biogás en funcionamiento, y presentada en el Workshop AGROGAS de Pamplona. En el testeo se comprobó que los resultados arrojados por la herramienta se aproximan a los datos de funcionamiento de las plantas. Esto evidencia que los cálculos que realiza el Software AGROGAS se aproximan suficientemente a estudios de viabilidad mucho más complejos, realizados por empresas especializadas.

Posteriormente, la herramienta ha sido usada en más de 100 análisis de explotaciones, granjas y agroindustrias, llevados a cabo por los socios del proyecto, con el objetivo de incrementar la cantidad de residuos gestionados de forma sostenible; a la vez que se aumenta la diversificación energética en el medio rural.

Como se ha podido comprobar en las secciones anteriores y en los análisis realizados hasta ahora, la región extremeña (y otras regiones del espacio SUDOE) se postulan como opciones interesantes para el desarrollo de proyectos sobre digestión anaerobio de residuos.

Uno de los escenarios más rentable para las plantas de biogás en España es la cogeneración con autoconsumo del calor y la electricidad producidos. Además, se ha calculado el umbral de prima a la venta de energía que sería necesaria para que una planta de venta de energía fuese rentable. Este umbral, para el escenario de cogeneración con venta de electricidad, se ha situado en los 11,5 c€/kWh.

A la luz arrojada por estos datos, se muestra que el futuro a corto plazo de las instalaciones de biogás pasa por el autoconsumo.

Bibliografía

Instituto Nacional de Estadística (INE) (2013). Anuario Estadístico de España 2013. Madrid: Instituto Nacional de Estadística

Bouallagui H., Haouari O., Touhami Y., Ben Cheikh R., Marouani L. & Handi M. (2004) Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. *Process Biochemistry*; *39*, 2143-2148

Bouallagui H., Touhami Y., Ben Cheikh R. & Handi M. (2005) Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. Process Biochemistry; 40, 989-995

Kaparaju P. & Rintala J. (2008) Anaerobic co-digestion of potato tuber and its industrial by-products with pig manure. Resour Conser Recyc, 52, 592-600.

Borja R., Rincón B., Raposo F., Alba J. & Martín A. (2002) A study of anaerobic digestivity of two-phases olive mill solid waste (OMSW) at meshophilic temperatura. Process Biochemistry, 38, 733-742.

Ergüder T.H., Güven E. & Demirer G.N. (2002). Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactor process. Process Biochemestry, 36, 243-248.

International Solid Waste Association (ISWA). (2002) Industry as a partner in sustainable development – waste management. Copenhagen: International Solid Waste Association

Proyecto AGROGAS (n.d.). Obtenido el 3 de noviembre de 2014, desde http://www.agrogas.eu/inicio-462.html

05-036

THERMAL COMFORT AND OCCUPANTS' FEEDBACK. LITERATURE REVIEW IN HISTORICAL AND NON-HISTORICAL BUILDINGS

Martínez Molina, Antonio; Tort Ausina, Isabel; Mendoza, Claudia; Cerra Rubio, Sergio; Vivancos Bono, Jose Luis
Universitat Politècnica de València

This paper presents the results of an extensive literature review on the topic of assessment of occupants' opinion of the internal environment in historical buildings, based upon their responses to questions relating to a range of discrete factors. The adaptive approach to modelling thermal comfort acknowledges that thermal perception in 'real world' settings is influenced by the complexities of past thermal history and cultural and technical practices. Thermal adaptation can be attributed to three different processes—behavioural adjustment, physiological acclimatization and psychological habituation or expectation. The mechanism of the impact of individual control on thermal comfort was also discussed in terms of psychological and behavioural adaptations. All these studies have in common that they have used a survey that considers many aspects of the internal environment and seeks to gain occupants responses to each of these in terms of "User Satisfaction" and "Degree of Importance". The questionnaires utilised a seven-point bi-polar scale to score. Usually authors have used one of these scales Thermal sensation votes (ASHRAE 7-point scale) and comfort votes (Bedford 7-point scale).

Keywords: *Environmental quality, Historical buildings, Occupants feedback; Thermal comfort; Thermal adaption*

CONFORT TÉRMICO Y RETROALIMENTACIÓN DE LOS USUARIOS. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EDIFICIOS HISTÓRICOS Y NO HISTÓRICOS

Este trabajo presenta los resultados de una extensa revisión de la literatura sobre el tema de la evaluación de la opinión de los ocupantes del ambiente interior de los edificios, sobre la base de sus respuestas a las cuestiones relativas a una serie de factores. El enfoque de adaptación a la modelización del confort térmico reconoce que la percepción térmica está influenciada por las complejidades de la historia y las prácticas culturales y técnicas. La adaptación térmica se puede atribuir a tres diferentes procesos de ajuste conductual, aclimatación fisiológica y habituación psicológica o expectativa. El mecanismo de los efectos de control individual en el confort térmico también se discute en términos de adaptaciones psicológicas y de comportamiento. Todos estos estudios tienen en común que han utilizado encuestas que consideran muchos aspectos del ambiente interno y busca obtener respuestas de los ocupantes a cada una de ellas en términos de "Satisfacción de Usuarios" y el "grado de importancia". Los cuestionarios utilizaron una escala de siete puntos bi-polar. En general, los autores han utilizado alguna de las escalas de sensación térmica, ASHRAE y Bedford de siete puntos.

Palabras clave: *Calidad Ambiental; Edificios Históricos; Retroalimentación de ocupantes; Confort Térmico; Adaptación termica*

Correspondencia: Jose Luis Vivancos Bono jvivanco@dpi.upv.es

1. Introducción

El valor a largo plazo de un edificio depende, entre otros factores, de su capacidad de satisfacer las necesidades de los usuarios y de las condiciones medioambientales variables a las que está sometido. Por ello, los edificios bien ventilados e iluminados, con consumo reducido de energía y que resulten confortables térmicamente para los usuarios, constituirán una inversión más sólida y duradera que los dependientes de combustibles fósiles o los que no permitan una vida saludable. Como consecuencia, la prolongación de la vida útil del edificio ya construido y la conservación de su valor como inversión a largo plazo van a depender de una serie de intervenciones de rehabilitación destinadas a mejorar la construcción en función de dichos factores.

Los edificios históricos obtienen, a menudo, una calificación aceptable en las evaluaciones de eficiencia energética y confort térmico. Las paredes gruesas y ventanas relativamente pequeñas dan una alta inercia térmica, lo que significa que disipan más lentamente el calor o el frio y permanecen más cálidos en invierno y más frescos en verano que muchas casas modernas. Siempre han sido bioclimáticos por necesidad, construidos por la gente como respuesta directa a sus necesidades y valores, en una época donde la energía era realmente escasa y cara. Esta arquitectura, que no ha sido lo suficientemente estudiada desde este punto de vista, es depositaria de una sabiduría validada por el método de “ensayo-error” que ha demostrado su capacidad de adaptación al medio.

La investigación científica sobre la mejora de la eficiencia energética y el confort térmico en la edificación, hoy en día, supone un campo muy extenso. A lo largo de décadas se han desarrollado métodos eficaces y viables para la evaluación, intervención y gestión energética en la edificación. Pero sin embargo estos desarrollos se circunscriben, sobre todo, a la nueva edificación, dejando la edificación existente a un lado.

Se han realizado contados estudios con un acercamiento sistémico a la edificación tradicional para determinar su comportamiento energético específico, monitorizando las temperaturas y la humedad relativa para determinar la interacción entre los diferentes subsistemas que componen su estructura energética. Los resultados de estas investigaciones concluyen que los edificios tradicionales son sistemas interactivos con propiedades bioclimáticas más complejas que los edificios más modernos, y no necesariamente peores desde el punto de vista energético. Su diseño tiene en cuenta las condiciones ambientales del lugar donde se ubican para mantener el confort térmico sin la utilización de sistemas mecánicos.

Por todo lo expuesto hasta el momento, una de las necesidades nombradas anteriormente que un edificio debe satisfacer es el confort térmico de los usuarios. Este es un aspecto subjetivo que no puede ser medido de manera exacta, ya que representa una percepción un tanto relativa que depende de múltiples variables. Su estudio conlleva un gran debate y diferentes opiniones, y pensamos que la mejor manera de conseguir datos del confort térmico interior en edificación es, por lo tanto, preguntando a los ocupantes de dichos edificios. Este estudio intenta recopilar algunas de las más relevantes investigaciones respecto al confort térmico en edificios, tanto históricos como no históricos, utilizando encuestas de satisfacción subjetiva de los usuarios.

2. Interés por el estudio del confort térmico a través de encuestas de satisfacción subjetiva.

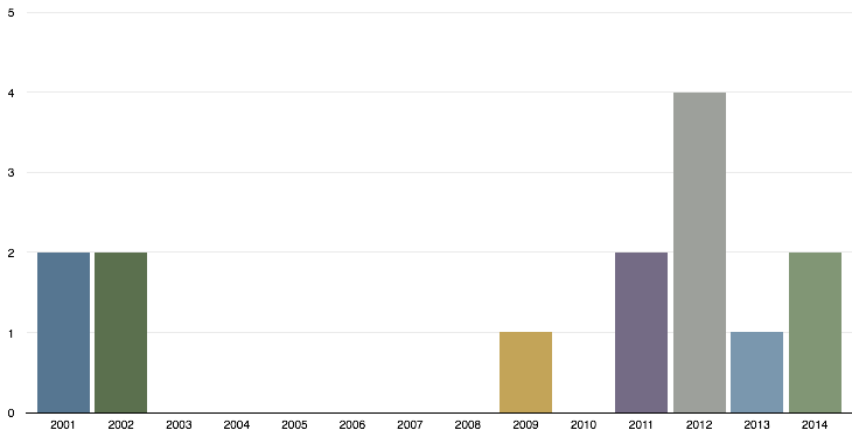
La eficiencia energética y el confort térmico en edificación es un tema muy estudiado y discutido en los últimos años. La inmensa mayoría de las investigaciones se desarrollan intentando optimizar el comportamiento del edificio en base a unos parámetros de confort

térmico pre-establecidos. Sin embargo, estos parámetros de confort no son funcionales en todas las situaciones ni para todo tipo de personas. Existen innumerables variables a tener en cuenta a la hora de confirmar los parámetros de confort para un determinado edificio. Se han analizado catorce de los artículos científicos, a nuestro juicio, más interesantes donde se intenta dar respuesta a esta problemática. Obviamente, todos ellos desde la compilación y análisis de las opiniones de los usuarios de los edificios.

2.1 Interés en el mundo.

Recientemente se ha experimentado un crecimiento de las investigaciones en análisis del confort térmico. Como se puede observar en la figura 1, entre los años 2001 y 2002 se publicaron cuatro artículos relacionados en mayor o menor medida con este tema. Más tarde, y debido seguramente a los años de bonanza económica, y a la no necesidad de ahorrar en energía, las investigaciones sobre eficiencia energética y confort térmico cayeron estrepitosamente.

Figura 1. Evolución en el tiempo de las investigaciones de confort térmico mediante encuestas a ocupantes

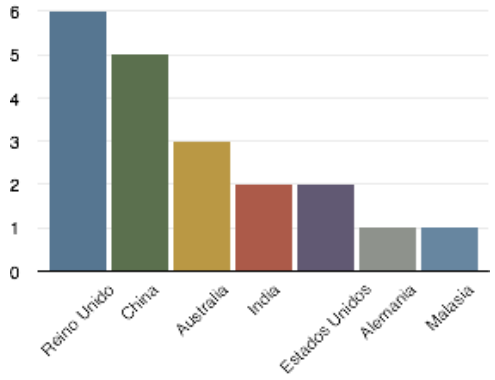


Años después, la economía comenzó a decaer y el interés por este tipo de estudios vuelve a crecer hasta llegar a niveles nunca antes alcanzados. En 2009 comienza la recuperación hasta llegar en 2011 a niveles de diez años antes, y en los tres años posteriores 2012, 2013 y 2014 se publicaron los mismos estudios que en la década anterior, siete.

2.2 Países de los artículos

Siempre ha habido países más interesados que otros en la investigación en eficiencia energética y confort térmico, entre ellos por supuesto los países nórdicos, siempre punteros en este tipo de estudios. Pero centrándonos en el análisis del confort térmico mediante encuestas de satisfacción subjetiva a ocupantes, países como Reino Unido con seis o China con cinco autores en publicaciones de este tipo, se encuentran a la cabeza. Estos dos países están apostando muy fuerte por este tipo de líneas de investigación con el objetivo de reducir la dependencia de combustibles fósiles sin abandonar los niveles de confort térmico actuales.

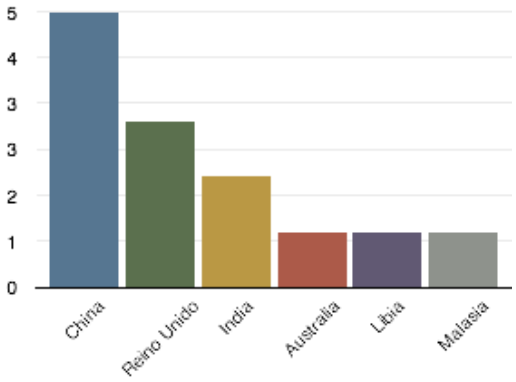
Figura 2. Países con mayor número de publicaciones sobre confort térmico mediante encuestas a ocupantes



Con tres autores con artículos publicados, Australia se acerca a Reino Unido y China. India y los Estados Unidos de América con dos investigadores cada uno, también demuestran interés en el estudio del confort térmico. Cierran la lista Alemania y Malasia con uno autor publicando en esta línea. Lo que primero se aprecia al ver estos resultados, es que hay dos tipos de países que apuestan por este tipo de investigaciones. Los que más presupuesto destinan a investigación como Reino Unido, China, Estados Unidos y Alemania. Además, países con climatologías muy particulares donde el confort térmico es un tema muy actual como Australia, India o Malasia.

A su vez, los investigadores no siempre realizan sus estudios en su país de origen. Existen varios casos donde los investigadores atraídos por una climatología más adversa, por edificios singulares o simplemente por facilidades a la hora de llevar a cabo los estudios, se desplazan a países diferentes de su lugar de origen.

Figura 3. Países con mayor número de edificios analizados sobre confort térmico mediante encuestas a ocupantes

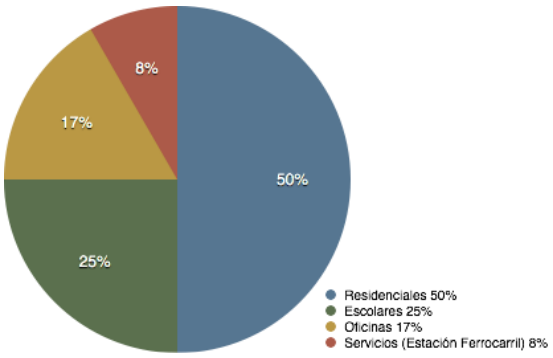


Los edificios que han sido casos de estudio en este tipo de análisis del confort térmico están situados principalmente en China, Reino Unido e India. Otros países con una única construcción analizada son Australia, Libia y Malasia. Como se puede observar en las figuras 2 y 3, investigadores de países como China y Reino Unido lideran en estos

momentos el campo de la investigación del confort térmico mediante el análisis de la opinión subjetiva de los usuarios.

Por otro lado, los edificios analizados en este tipo de investigaciones suelen ser principalmente residenciales (50%). Esto puede deberse a la facilidad de acceso para llevar a cabo el estudio y al interés que suscita saber que es el tipo de construcción donde los ocupantes invierten mayor cantidad de horas al día. Por lo tanto, este sería el edificio más interesante a la hora de optimizar su confort térmico por su potencial de ahorro energético y mejora del confort térmico.

Figura 4. Usos de los edificios analizados sobre confort térmico mediante encuestas a ocupantes



Con el 25% de los edificios estudiados, el uso escolar es el segundo más utilizado como caso de estudio, probablemente también debido a las mismas razones del uso residencial. Además, este tipo de edificación tiene un gran interés ya que la afluencia de usuarios es mucho mayor que en el uso residencial con el fin de completar las encuestas de satisfacción, pero por el contrario, los sujetos suelen ser menores de edad con lo que conlleva una dificultad añadida. Edificios de oficinas con el 17% y, de servicios como una estación de ferrocarril, completan la lista de edificios que han sido examinados.

3. Artículos

Se han estudiado catorce artículos científicos sobre el confort térmico interior, todos ellos utilizando como base de la investigación encuestas de satisfacción subjetiva del confort térmico. Después de realizar el estudio de las publicaciones, han sido claramente diferenciados dos grupos, las investigaciones llevadas a cabo sobre edificios históricos y no históricos. Este tipo de estudios son muy utilizados en edificación histórica por los valiosos resultados que se obtienen en combinación con su carácter no destructivo. Resulta de una gran dificultad analizar un edificio en profundidad sin dañarlo lo más mínimo, estos estudios lo consiguen y por ello son tan interesantes en edificación protegida.

Las investigaciones han sido divididas, según los casos de estudio, en edificios históricos y edificios no históricos (Tabla 1).

Tabla 1. Artículos publicados sobre confort térmico mediante encuestas a ocupantes en edificios no históricos

Año	Autor/es	Origen Autor/es	Localización Edificio/s	Año construcción edificio/s	Uso del edificio/s
2002	Dear & Brager	Australia & EEUU	-	-	-
2009	Yao et al.	Reino Unido & China	China	-	Escolar
2011	Singh et al.	India	India	-	Residencial
2012	Deuble & Dear	Australia	Australia	1960 & 2006	Oficina
2012	Liu et al.	China	China	-	Oficina
2012	Teli et al.	Australia & Reino Unido	Reino Unido	1978	Escolar
2014	Cao et al.	China	China	2000	Residencial
2002	Dear & Brager	Australia & EEUU	-	-	-

3.1 Edificios no históricos

Deuble y de Dear (2012) publicaron un estudio mediante el cual analizaban el confort térmico de los ocupantes en dos edificios de oficinas situados en el área subtropical de Australia. Los cuestionarios entregados a los usuarios fueron para registrar su confort térmico, y éstos se acompañaron con otro cuestionario de actitudes y respeto al medio natural. Al analizar estos resultados, se averiguó que los ocupantes con mayor satisfacción del confort térmico eran los que tenían una mentalidad más ecológica. Estos resultados apoyan la hipótesis de que las actitudes “verdes” están asociadas con una mayor permisividad sobre los valores de confort térmico.

Por su parte Cao et al. (2014) publicaron un artículo comparativo de diez apartamentos en Beijing, China. Los casos de estudio eran dos tipos de apartamentos, cinco de ellos utilizaban calefacción urbana (o calefacción centralizada por barrios), y los otros cinco utilizaban sistemas de calefacción individual o aislada. Durante 4 meses los datos del confort térmico de los ocupantes y las condiciones ambientales interiores fueron recogidos mediante cuestionarios e instrumentos de medida, respectivamente. Después de analizar los datos, los resultados de confort térmico fueron mejores en los apartamentos calefactados por calefacción individual. Esto se debe, según los autores, a la posibilidad de controlar la temperatura interior. Además, el hecho de que el coste de la energía de la calefacción dependa del control del usuario beneficia el comportamiento adaptativo. Por lo tanto, en este estudio los sistemas de calefacción individuales resultan mucho más convenientes que los centralizados.

Siguiendo en la línea de la influencia de las instalaciones en el comportamiento de los usuarios, Liu et al. (2012) completaron un estudio que dio una visión de conjunto de la relación entre el comportamiento térmico adaptativo humano y el cambio de las condiciones climáticas. Se realizó una encuesta entre enero de 2010 y febrero de 2011 en dos oficinas con ventilación natural en Changsha, China. Las encuestas fueron rellenadas diariamente por los trabajadores de las oficinas y fueron analizados los comportamientos de estos con respecto al funcionamiento de los “controles” (ventanas, puertas, cortinas, ventiladores, refrigeración y lo que ellos llaman “calentador de manos”). Las conclusiones de este estudio fueron que el parámetro climático con más influencia a la hora de utilizar los “controles” fue la temperatura del aire exterior. Además se consiguió obtener una información muy

interesante de qué controles se utilizaban con más frecuencia en determinadas situaciones climatológicas.

El estándar 55 de la ASHRAE (ASHRAE 2013) propone las condiciones térmicas ambientales para usuarios en edificios. El objetivo de este estándar es especificar las combinaciones de los factores del ambiente interior y los factores personales, que producirán aceptables condiciones térmicas y ambientales para, al menos, el 80% de los usuarios del espacio. Este estándar se ha convertido en la principal guía para gestionar investigaciones acerca del confort térmico en toda la comunidad científica.

Uno de los artículos que toman como base el estándar 55 de la ASHRAE es el de de Dear y Brager (2002). Este revisa el estándar 55 y el "nuevo" estándar de confort adaptativo (ACS) que permite condiciones térmicas más cálidas para edificios con ventilación natural durante el verano y en zonas climáticas más cálidas. Además, sugiere maneras de utilización del "nuevo" estándar de confort adaptativo (ACS) en el diseño, gestión y evaluación de edificios, a la vez de en aplicaciones de investigación. Por otro lado, también se utiliza el Sistema de Información Geográfica (GIS) para analizar el potencial de ahorro energético de dicho estándar en los Estados Unidos de América. Por último, también se comentan las nuevas directrices del estándar para investigadores y profesionales involucrados con el diseño de edificios y sus sistemas de control ambiental.

Continuando con los modelos de confort adaptativos, Yao, Li y Liu (2009) propusieron un nuevo modelo adaptativo teórico de confort térmico basado en la teoría de la "Black box", teniendo en cuenta aspectos como cultural, climático, social, psicológico y las adaptaciones de comportamiento. Según el autor, estos condicionantes tienen una gran influencia en los sentidos para percibir el confort térmico. El modelo llamado "Adaptative Predicted Mean Vote" (aPMV), explica lo ya demostrado por varios investigadores, que el "Predicted Mean Vote" (PMV) es mayor que el "Actual Mean Vote" (AMV) en edificios de consumo casi nulo. Los autores proponen un coeficiente de adaptabilidad que afecta la sensación de confort térmico. Los valores de este coeficiente en sus diferentes tipologías de edificios y zonas climáticas se esperan que sean calculados en futuras investigaciones.

Hasta aquí, las investigaciones examinadas en este trabajo se han llevado a cabo con individuos adultos como ocupantes de los edificios analizados. Sin embargo, el trabajo publicado por Teli, Jentsch y James (2012), estudia el confort térmico mediante encuestas de satisfacción y condiciones ambientales interiores en aulas con ventilación natural en Hampshire, Inglaterra. Las encuestas se entregaron a estudiantes de entre siete y diez años, y se recogieron alrededor de 1300 respuestas. Estos resultados han sido comparados con las dos estrategias utilizadas en estándares de confort existente. "Heat balance" con los índices PMV (predicted mean vote) y PPD (predicted percentage of dissatisfied) y el "adaptative confort model" basado en la normativa europea EN15251. Los resultados mostraron que los niños/as son más sensibles a las altas temperaturas que los adultos, siendo 4ºC y 2ºC más bajas que los modelos de confort adaptativos PMV y EN15251, respectivamente.

Por último y también utilizando como base de la investigación el estándar 55 de la ASHRAE, y además la ISO 7730, Singh, Mahapatra y Atreya (2011) llevaron a cabo un estudio del confort térmico de los usuarios en edificios con ventilación natural mediante cuestionarios en diferentes zonas climáticas del noreste de la India en diferentes estaciones del año. Se obtuvo el "Actual mean Vote" (AMV) mediante las encuestas y utilizando la ISO 7730 se calculó el valor del "Predicted Mean Vote" (PMV). Los resultados muestran que el PMV varía del AMV, por lo que se calculó un "coeficiente de adaptabilidad" para corregir esta variación, para diferentes estaciones y lugares. Esta investigación refleja que existen diferentes niveles de adaptabilidad para diferentes circunstancias.

3.2 Edificios históricos

En la tabla 2 se muestran los artículos analizados en este apartado. Respecto a los edificios históricos como casos de estudio en este tipo de investigaciones, Kamaruzzaman et al. (2011) analizaron tres edificios de oficinas, un hotel, una escuela y un edificio destinado a servicios públicos en Malasia. Todos ellos construidos alrededor del año 1900, de dos o tres plantas, y de estilo Neo-Clásico y Neo-Gótico. Se encuestaron a los ocupantes de los seis edificios respecto a diferentes factores del ambiente interior, y tomando de nuevo como base el estándar 55 de la ASHRAE. Además se preguntó a los encuestados sobre los aspectos ambientales del edificio que consideraban más y menos importantes. Los autores concluyen que los resultados de un desarrollo sostenible en un edificio, no sólo debe centrarse en la conservación del mismo, sino en incrementar la productividad y el bienestar dentro de los inmuebles.

Tabla 2. Artículos publicados sobre confort térmico mediante encuestas a ocupantes en edificios históricos.

Año	Autor/es	Origen Autor/es	Localización Edificio/s	Año construcción edificio/s	Uso del edificio/s
2001	Ealiwa et al.	Reino Unido	Libia	-	Residencial
2002	Hanna	Reino Unido	Reino Unido	1900	Escolar
2010	Deb & Ramachandraiah	India	India	1873	Estación ferroviaria
2011	Kamaruzzaman et al.	Malasia & Reino Unido	Malasia	1900	-
2012	Li et al.	China	China	1300	Residencial
2013	Li et al.	China	China	1300	Residencial
2014	Ben et al.	Reino Unido	Reino Unido	1967	Residencial
2001	Ealiwa et al.	Reino Unido	Libia	-	Residencial

Un caso muy particular es el de Deb y Ramachandraiah (2010) que desarrollan una investigación del confort térmico de los pasajeros en la estación de trenes de Chennai, al sur de la India. El estudio se llevó a cabo en el mes de Junio durante 15 días, y recogió los datos de campo como temperatura y humedad, y las encuestas de satisfacción térmica de los 402 usuarios preguntados. Después del análisis de las encuestas se observa que la temperatura neutral de los ocupantes estaba en torno a 32ºC. Los resultados demuestran una gran adaptabilidad y tolerancia térmica, pero sin embargo, también se evidencian importantes diferencias entre las distintas estancias de la estación, como las salas de espera.

Un estudio más interdisciplinar es el de Hanna (2002) en la Escuela de Arte de Glasgow en Escocia, construida en 1900. Se han analizado estadísticamente algunas variables del edificio como el sonido, iluminación y el calor, y el comportamiento de los ocupantes respecto a éstas. Se preguntó a los usuarios por el confort lumínico, sonoro y térmico dentro del museo, y algunos de los resultados referentes al sonido confirmaron que existían zonas de disconfort en las oficinas y la biblioteca. Respecto al confort lumínico, se evidenciaron niveles demasiado altos de luz en verano y demasiado bajos en invierno en las aulas de la

cara norte del edificio. Por otro lado, las encuestas revelaron que los usuarios no respondieron negativamente respecto a los niveles visuales y térmicos en las aulas de estudio, a pesar de los enormes ventanales con vidrio sencillo. Además, prácticamente todos los encuestados le dieron gran importancia al hecho de que la escuela esté albergada por un edificio histórico.

En lo referente a estudios comparativos, dos de este tipo fueron realizados entre viviendas históricas rurales (Tulou) y otros edificios residenciales no históricos, en el sureste de China. Estos edificios patrimoniales fueron construidos alrededor del año 1200 y forman parte del patrimonio histórico de la humanidad por la UNESCO. El primer artículo (Li et al. 2012) consiste en el análisis del confort térmico mediante encuestas de satisfacción térmica de los ocupantes y el cálculo del consumo energético. Los resultados de la comparativa muestran un menor consumo y una mayor satisfacción del confort térmico en los edificios históricos. El segundo artículo (Li et al. 2013) continúa la línea del anterior pero profundiza en más aspectos relacionados con la calidad ambiental interior (IEQ), como son el aspecto térmico, lumínico, acústico y la calidad del aire interior. También recoge las impresiones de los usuarios de los Tulou mediante encuestas, obviamente, esta vez con más parámetros a determinar. Como en la investigación anterior, los resultados revelaron una mayor satisfacción térmica y un menor confort acústico (probablemente debido a los turistas que visitan el edificio). Sin embargo, en los aspectos lumínicos y de calidad del aire interior no se detectaron diferencias destacables.

En la misma línea de los artículos comparativos, Ealiwa et al. (2001) publicó un artículo donde estudiaba el confort térmico de cincuenta y un edificios mediante cuestionarios realizados a los usuarios, en Libia, durante los veranos del 1997 y 1998. De esos cincuenta y un edificios, veinticuatro eran tradicionales que utilizaban ventilación natural, y los veintisiete restantes son edificios nuevos con aire acondicionado. Los resultados muestran una mayor satisfacción térmica en los edificios tradicionales que en los edificios nuevos.

Ben y Steemers (2014) llevaron a cabo una investigación en un edificio residencial de Londres construido en 1967. Se monitorizaron sus condiciones internas, modelizado mediante un software de simulación energética, validado el modelo, proponiendo mejoras en el edificio y calculado su potencial de ahorro energético. Por otro lado, se supusieron diferentes niveles de comportamiento de los ocupantes en lo que se refiere al ahorro energético. Se compararon ambos supuestos y los resultados mostraron que el comportamiento de los ocupantes tiene un mayor potencial de ahorro energético y mejora del confort térmico que las posibles mejoras físicas en el edifico protegido. Probablemente este resultado está condicionado al reducido margen para modificar un edificio patrimonial.

4. Conclusión

El presente estudio ha presentado un análisis detallado de los resultados obtenidos en catorce estudios de calidad ambiental interior (IEQ) basados tanto en edificios históricos como en no históricos en todo el mundo, en los que se ha utilizado algún tipo de cuestionario. Los catorce estudios han sido seleccionados para este trabajo después de una amplísima revisión bibliográfica sobre confort térmico en edificios y percepción de los usuarios. Por ello, todos los estudios analizados se apoyan en encuestas de satisfacción subjetiva del confort térmico de los usuarios para obtener los valores de bienestar interior. Con el alcance del estudio, tras la revisión bibliográfica y la selección ya citada, han sido obtenidas las siguientes conclusiones:

- Conseguir alcanzar el confort térmico interior en edificios de pública concurrencia se ha convertido ya en uno de los objetivos primordiales a la hora de rehabilitar, reformar o transformar edificios existentes a las exigencias actuales, especialmente en el caso de los edificios históricos.

- La evaluación del confort térmico interior en edificación ocupa una línea de investigación en alza debido, en cierta medida, a la escasez de datos contrastados de los que se dispone. En este sentido, en los estudios analizados se muestra cómo la utilización de encuestas o cuestionarios de satisfacción subjetiva resulta un método más que interesante, y que permite obtener conclusiones sólidas. Además, la capacidad de adaptabilidad de los individuos, dependiente de múltiples factores, convierte este método en uno de los más rigurosos.
- En el caso particular de los edificios históricos, destaca especialmente que en varios de los casos analizados se muestra cómo se ha obtenido un nivel de satisfacción térmica superior al hallado en los edificios de nueva construcción. Esto se debe principalmente a la necesidad de implementación de las técnicas pasivas de los edificios patrimoniales, ya que no disponían de sistemas activos, y, en algunos casos, su incorporación entraría en conflicto con la conservación de los valores patrimoniales, que es precisamente lo que nos ha llevado a estudiar este tipo de edificios por separado.
- El papel que juegan los usuarios en los resultados de cualquier estudio de confort térmico es más importante de lo que podría parecer a priori. El comportamiento de los ocupantes, la mentalidad ecológica que posean y su edad son algunos de los factores que hacen variar tremendamente los resultados obtenidos en los estudios sobre valores de confort térmico de un edificio.

5. Referencias

American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (2013). Thermal Environmental conditions for Human Occupancy (Standard 55-2013. ISSN 1041-2336). Atlanta, GE.

Ben, H. & Steemers, K. (2014, Septiembre). Energy retrofit and occupant behaviour in protected housing: A case study of the Brunswick Centre in London. *Energy and Buildings*, *80*, 120-130.

De Dear, R.J. & Brager, G.S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, *34*, 549-561.

Deb, C. & Ramachandraiah, A. (2010, Mayo). Evaluation of thermal comfort in a rail terminal location in India. *Building and Environment*, *45*, 2571-2580.

Cao, B., Zhu, Y., Li, M. & Ouyang, Q. (2014, Abril). Individual and district heating: A comparison of residential heating modes with an analysis of adaptive thermal comfort. *Energy and Buildings*, *78*, 17-24.

Deuble, M.P. & de Dear, R.J. (2012, Febrero). Green occupants for green buildings: The missing link?. *Building and Environment*, *56*, 21-27.

Ealiwa, M.A., Taki, A.H., Howarth, A.T. & Seden, M.R. (1999, Noviembre). An investigation into thermal comfort in the summer season of Ghadames, Lybia. *Building and Environment*, *36*, 231-237.

Hanna, R. (2002, Noviembre).Environmental appraisal of historic buildings in Scotland: the case of study of the Glasgow School of Art. *Building and Environment*, *37*, 1-10.

Kamaruzzaman, S.N., Egbu, C.O., Zawawi, E.M.A., Ali, A.S. & Che-Ani, A.I. (2011, Octubre). The effect of indoor environmental quality on occupants' perception of performance: A case study of refurbished historic buildings in Malaysia. *Energy and Buildings*, *43*, 17-24.

Li, Q., Sun, X. , Chen, C. & Yang, X. (2012, Febrero). Characterizing the household energy consumption in heritage Nanjing Tulou buildings, China: A comparative field survey study. *Energy and Buildings*, *49*, 317-326.

Li, Q., You, R. , Chen, C. & Yang, X. (2013, Febrero). A field investigation and comparative study of indoor environmental quality in heritage Chinese rural buildings with thick rammed earth wall. *Energy and Buildings*, *62*, 286-293.

Liu, W., Zheng, Y. , Deng, Q. & Yang, L. (2012, October). Human thermal adaptive behaviour in naturally ventilated offices for different outdoor air temperatures: A case study in Changsha China. *Building and Environment*, *50*, 76-89.

Singh, M.K., Mahapatra, S. & Atreya, S.K. (2011, Febrero). Adaptive thermal comfort model for different climatic zones of North-East India. *Applied Energy*, *88*, 2420-2428.

Teli, D., Jentsch, M.F. & James, P.A.B. (2012, Junio). Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. *Energy and Buildings*, *53*, 166-182.

Yao, R., Li, B. & Jing, Liu. (2009, Febrero). A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). *Building and Environment*, *44*, 2089-2096.

05-037

SELECTION OF OPTIMAL LOCATIONS OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN THE NORTHWEST OF THE REGION OF MURCIA THROUGH SIG AND ELECTRE-TRI

Sánchez Lozano, Juan Miguel [1]; Garcia Cascales, M. Socorro [2]; Lamata, M. Teresa [3]; Roca Gonzalez, Jose Luis [1]; Conesa Pastor, Julian [4]

[1] Centro Universitario de la Defensa. Academia General del Aire. Universidad Politécnica de Cartagena, [2] Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos. Universidad Politécnica de Cartagena, [3] Departamento de C

The initial step that any promoter of solar photovoltaic systems must face consists of choosing a suitable location for the installation. To do this, it will be necessary to discard those areas (restrictions) where as a result of the current legislative framework it is not possible to implement this type of technologies. However, when choosing the best site among the suitable locations, an exhaustive analysis of the current state of the territory should be carried out, since each one of the criteria that influence the decision (area, slope, distance to grids, solar radiation, etc.) should be taken into account. Therefore, it will be necessary to solve a multicriteria decision problem consisting in evaluating a large number of alternatives according to a set of criteria. In order to solve this problem, in this paper the combination of a spatial visualization tool such as Geographic Information Systems (GIS), with the decision methodology ELECTRE-TRI is proposed. In this way, it would be possible to classify the optimal locations through predefined categories. The territory chosen to carry out this study will be the northwest of the Region of Murcia.

Keywords: *Geographic Information Systems (GIS); ELECTRE-TRI; photovoltaic solar systems; restrictions; criteria; categories*

SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTOS ÓPTIMOS DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN EL NOROESTE DE LA REGIÓN DE MURCIA MEDIANTE SIG Y ELECTRE-TRI

La etapa inicial que debe afrontar cualquier promotor de sistemas solares fotovoltaicos diseñados para verter la energía generada a la red, consistirá en elegir un adecuado emplazamiento. Para ello, será necesario descartar inicialmente aquellas zonas (restricciones) en las que como consecuencia del correspondiente marco legislativo en vigor no sea posible implantar este tipo de tecnologías. Sin embargo, a la hora de seleccionar cual es el mejor emplazamiento entre todos aquellos disponibles, habrá que efectuar un profundo análisis del estado actual del territorio ya que, se deberán tener en cuenta todos aquellos criterios que influirán en la decisión (área, pendiente del terreno, distancia a redes eléctricas, radiación solar, etc.). Por tanto será preciso resolver un problema decisión multicriterio compuesto por un número elevado de alternativas a evaluar en función de una serie definida de criterios. Para resolver este problema, en este artículo se propone combinar una herramienta de representación y análisis espacial tipo SIG (Sistemas de Información Geográfica), con la metodología de decisión ampliamente conocida en la actualidad ELECTRE-TRI, de esta manera se pretende clasificar los emplazamientos óptimos por categorías. La zona de estudio escogida para abordar este análisis será el Noroeste de la Región de Murcia.

Palabras clave: *Sistemas de Información Geográfica; ELECTRE-TRI; sistemas solares fotovoltaicos; restricciones; criterios; categorías*

Correspondencia: Juan Miguel Sánchez Lozano juanmi.sanchez@cud.upct.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado por la DGICYT mediante el proyecto TIN2014-55024-P

1. Introducción

A finales del siglo XIX comenzó a sospecharse que se habían producido cambios naturales en las condiciones climáticas del planeta Tierra y se identificó por primera vez el efecto invernadero (Arrhenius, S., 1896). La comunidad científica alertó a la población sobre la amenaza que planteaba dicho descubrimiento y los efectos que podía provocar en el clima. La recogida de datos medioambientales efectuada a mediados del siglo XX permitió demostrar que las concentraciones de dióxido de carbono (principal causante del aumento del efecto invernadero) en la atmósfera estaban creciendo con mucha rapidez.

En 1990, a través del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático, creado mediante el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial, se demostró la veracidad del calentamiento atmosférico y al mismo tiempo se solicitó a la comunidad internacional la adopción de medidas con el objetivo de mitigarlo (Working Group I/II/III, 1990). Como medida de respuesta, la Organización de Naciones Unidas marcó como objetivo principal en 1992 lograr la estabilidad de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impidiera interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Sin embargo no fue hasta el año 1997 cuando en la cumbre de Kioto (United Nations, 1997), se indicó la limitación de emisiones netas de efecto invernadero para los principales países desarrollados y con economías en transición.

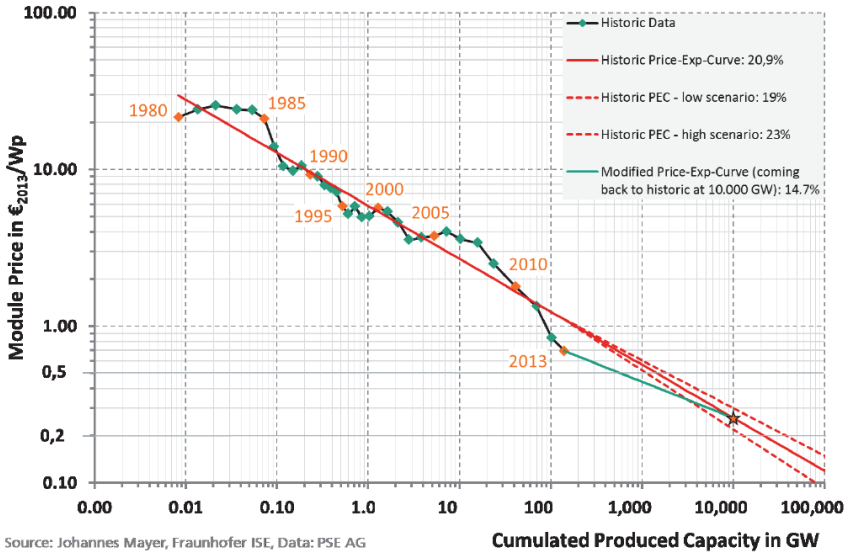
A nivel europeo también se reconoció a través del Libro Verde (European Commission, 1996) y el Libro Blanco (European Commission, 1997) la necesidad de realizar una gestión eficaz de todos los recursos disponibles mediante una combinación de combustibles equilibrada, en la que cada una de las fuentes de energía desempeñase su papel con el objetivo de apoyar un crecimiento económico sostenible. Hoy en día, a pesar de la crisis financiera y económica que está afectando a un elevado número de estados miembros, aún se mantiene en vigor esta apuesta reflejada en la Directiva 2009/28/CE (European Parliament, 2009) en la que se establecen como objetivos obligatorios nacionales, alcanzar una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía y, una cuota del 10 % de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de combustibles para el transporte en la Comunidad Europea para el año 2020.

Motivada por satisfacer los requerimientos de la Unión Europea, España, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), elaboró dos Planes de Acción Nacional de Energías Renovables que abarcaban los periodos 2005-2010 (IDAE, 2005) y 2011-2020 (IDAE, 2010). Sin embargo, en la primavera de 2012, el gobierno español suspendió cualquier incentivo económico para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (España. Real Decreto Ley 1/2012). No obstante, a pesar del freno que causó este nuevo marco legislativo desfavorable, las instalaciones de energías renovables como la energía solar fotovoltaica han alcanzado su madurez tecnológica por lo que, las economías de escala y su continuo desarrollo han permitido disminuir sus costes de producción (Fig. 1) y fomentar su implantación. Además, gracias a poseer una curva de aprendizaje estable, en zonas donde existe una alta radiación solar, los rendimientos que alcanzan este tipo de instalaciones son muy elevados (Urbina, 2014).

Gracias a poseer uno de los más altos niveles de radiación solar de España, la Región de Murcia situada en el sureste español (Gómez-López, García-Cascales, & Ruiz-Delgado, 2010) se ha convertido en una de las zonas con mayor atractivo para implantar sistemas solares fotovoltaicos. En dicha región habría que distinguir dos zonas claramente diferenciadas, por un lado la zona costera la cual posee un elevado desarrollo urbanístico estrechamente ligado al turismo asociado con la cercanía de la costa. Y por otro la zona del

interior (noroeste) donde, a pesar de que el nivel de ocupación urbanística es mucho menor, existen grandes extensiones montañosas con pendientes escarpadas que dificultan no sólo el desarrollo de la agricultura, sino también la implantación de cualquier infraestructura. Por tales motivos, es de notable interés llevar a cabo labores de búsqueda y evaluación de emplazamientos óptimos en el Noroeste de la Región de Murcia para albergar sistemas solares fotovoltaicos.

Figura 1: Precio del módulo fotovoltaico (€/Wp) en función de la Capacidad Producida Acumulada (GW) (UNEF & Salas, 2014)



Es obvio que herramientas tales como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permiten facilitar la tarea de selección de emplazamientos (Janke, 2010), identificando las zonas aptas en las que es posible implantar este tipo de instalaciones. No obstante su principal habilidad es la facilidad para combinarlos con herramientas de decisión multicriterio con el objetivo de resolver problemas complejos de decisión. Se han utilizado Métodos de Decisión Multicriterio tales como el método TOPSIS (Hwang & Yoon,1981) para evaluar emplazamientos óptimos de energía solar fotovoltaica en la comarca del Campo de Cartagena (Sánchez-Lozano et al, 2013), el Proceso Analítico Jerárquico o método AHP (Saaty, 1980) para evaluar emplazamientos de sistemas solares en Turquía (Uyan, 2013) o el método ELECTRE-TRI (Roy & Bouyssou, 1991; Yu, 1992a/b) para seleccionar los mejores emplazamientos de parques eólicos en la costa de la Región de Murcia (Sánchez-Lozano, García-Cascales & Lamata, 2014).

En este artículo se tomará como punto de partida la base de datos obtenida en el estudio realizado por (Sánchez-Lozano et al, 2014), en el que se utilizó un software SIG para buscar las localizaciones viables para implantar sistemas solares fotovoltaicos en el Noroeste de la Región de Murcia (Fig. 2) y de esta manera, obtener una matriz de decisión constituida por 17.740 alternativas (parcelas catastrales) que debían ser evaluadas en función de 9 criterios (Fig. 3). En dicho análisis se realizó un proceso de selección de alternativas mediante un Orden Lexicográfico aplicando una sucesión de filtrados a través del SIG. En este caso, se pretende aplicar uno de los principales métodos de decisión multicriterio de la familia de métodos ELECTRE (concretamente la versión TRI) para evaluar y clasificar las potenciales alternativas (parcelas) por categorías y de esta forma, conocer cuáles son las mejores localizaciones del noroeste de la Región de Murcia para implantar esta tecnología renovable.

Figura 2: Localizaciones viables (color amarillo) para implantar sistemas solares fotovoltaicos en el Noroeste de la Región de Murcia

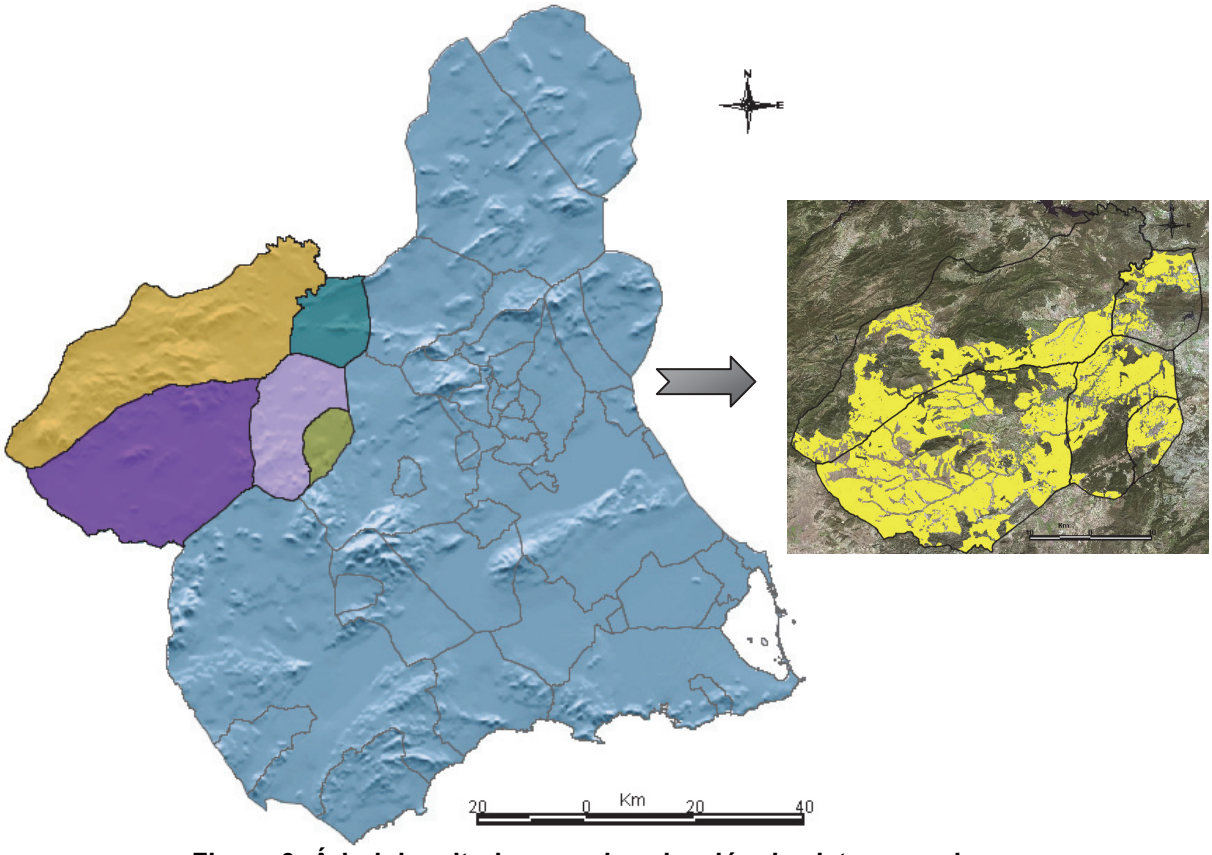


Figura 3: Árbol de criterios para la selección de sistemas solares

2. El método ELECTRE-TRI

La metodología ELECTRE ha sido ampliamente utilizada por investigadores y profesionales alcanzando especial relevancia. Está basada en el concepto de superación, que indica el grado de dominación de una alternativa sobre otra. Desde su aparición, el desarrollo de esta metodología ha provocado la creación de diversas versiones ELECTRE I (Roy, B., 1968), ELECTRE II (Roy & Bertier, 1971, 1973), ELECTRE III (Roy, B., 1978), ELECTRE IV (Roy & Hugonnard, 1982 a y b), ELECTRE IS (Roy & Skalka, 1985), ELECTRE TRI (Roy & Bouyssou, 1991) (Yu, 1992 a y b), resultando esta última la más utilizada en la actualidad.

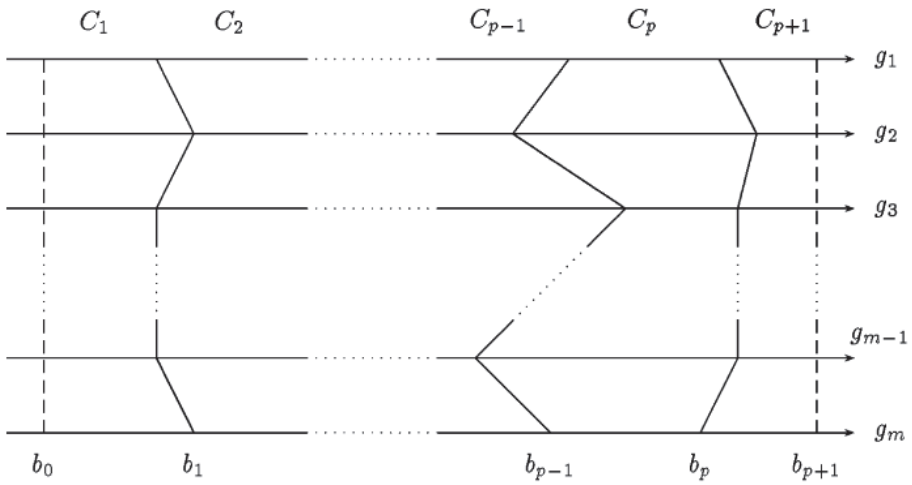
2.1. Principio y desarrollo del método

ELECTRE-TRI (Roy & Bouyssou, 1991; Yu, 1992 a/b), es un método que asigna categorías previamente definidas a un grupo de alternativas. La asignación de una alternativa *a* en una categoría u otra se obtiene a través de comparar dicha alternativa con los límites de las categorías predefinidas.

De forma abreviada se podría indicar que el método ELECTRE.TRI asigna las alternativas objeto de análisis a las distintas categorías siguiendo dos procedimientos consecutivos: 1) la construcción de una relación de superación o sobreclasificación *S* (comúnmente denominada relación "outranking") que permite establecer una comparación entre las alternativas y los límites que definen las categorías; y 2) la explotación (mediante procedimientos de asignación) de la relación *S* con el fin de asignar cada alternativa a una categoría específica.

Sea *F* la serie de criterios $g_1, g_2, \ldots g_m$ *(F=1, 2,…, m)* y *B* la serie de límites de los perfiles que definen *p+1* categorías *(B={1, 2,…, p}).* siendo b_h el límite superior de la categoría C_h y el límite inferior de la categoría C_{h+1}, con *h=1, 2,…, p*. Resulta posible representar los límites de las distintas categorías (Fig. 4) donde los límites b_0 y b_{p+1} corresponden a las alternativas anti-ideal e ideal respectivamente.

Figura 4: Definición de las categorías mediante límites de perfiles



ELECTRE-TRI construye una relación de superación *S* es decir, valida o invalida la afirmación aSb_h (y b_hSa) cuyo significado es "*la alternativa a es al menos tan buena como* b_h*"*

2.1.1. Definición de acciones de referencia

Existen diversas formas de definir las acciones de referencia en función de la problemática a resolver es decir, del planteamiento del problema de decisión y, llevar a cabo la asignación de alternativas a categorías predefinidas se corresponde precisamente con el fundamento de la metodología ELECTRE-TRI. Para ello, se definen las acciones de referencia como los límites de las distintas categorías que permiten clasificar las acciones potenciales (las alternativas a evaluar en cualquier problema de decisión).

Los umbrales que determinan la importancia de cada criterio se definen a través de pseudo-criterios (Roy & Vincke, 1984). Los umbrales de preferencia $p_j(b_h)$ e indiferencia $q_j(b_h)$ constituyen la información preferencial entre criterios de forma que $q_j(b_h)$ representa la mayor diferencia $g_j(a)-g_j(b_h)$ que mantiene la indiferencia entre *a* y b_h para el criterio g_j y, $p_j(b_h)$ representa la menor diferencia $g_j(a)-g_j(b_h)$ compatible con una preferencia de *a* en función del criterio g_j. Siendo para ambos umbrales $g_j(a)$ el valor del criterio *j* para la alternativa *a* y $g_j(b_h)$ el valor de dicho criterio en el límite superior de la categoría C_h.

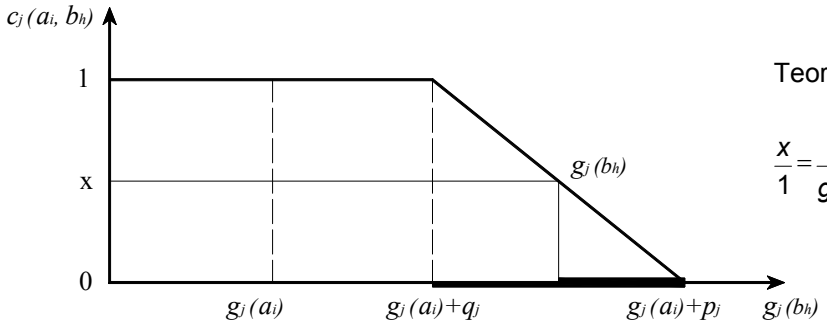
El resto de parámetros a definir para aplicar el método corresponden a los pesos de los criterios es decir, los coeficientes de importancia de cada criterio $(k_1, k_2, \ldots k_m)$ y, los umbrales de veto $v_j(b_h)$ los cuales representan la menor diferencia $g_j(b_h)-g_j(a)$ incompatible con la afirmación aSb_h. Una vez definidos la totalidad de parámetros se está en disposición de aplicar el método ELECTRE TRI.

2.1.2. Índices de concordancia

2.1.2.1. Índices de concordancia por criterio

Representa un indicador que muestra como la alternativa o acción a_i es al menos tan buena como b_h, para el criterio c_j. (Fig. 5).

Figura 5: Construcción de un índice de concordancia (Maystre, Pictec, & Simos, 1994)



El índice de concordancia para un criterio dado $c_j(a_i,b_h)$, está definido de la siguiente forma:

$c_j(a_i,b_h) = 0 \Leftrightarrow p_j < g_j(b_h)-g_j(a_i)$ *(según el Teorema de Tales* $p_j = g_j(b_h)-g_j(a_i)$*)*

$0 < c_j(a_i,b_h) < 1 \Leftrightarrow\ q_j < g_j(b_h)-g_j(a_i) \le p_j \Rightarrow\ c_j(a_i,b_h) = \dfrac{g_j(a_i)+p_j-g_j(b_h)}{p_j-q_j}$ (1)

$c_j(a_i,b_h) = 1 \Leftrightarrow\ g_j(b_h)-g_j(a_i) \le q_j$ (*según el Teorema de Tales* $g_j(b_h)-g_j(a_i) = q_j$)

2.1.2.2. Índice de concordancia global

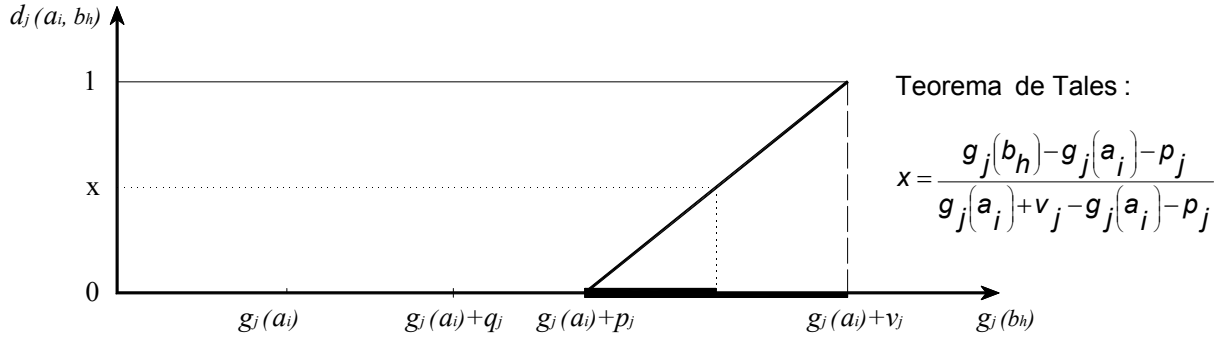
Es un indicador que expresa hasta qué punto las evaluaciones de *a* y b_h en todos los criterios concuerdan con la afirmación de que "*a* es al menos tan buena como b_h" (o b_h es al menos tan bueno como *a*). Se calcula a partir de los índices de concordancia para cada uno de los criterios, en el caso de analizar en qué medida todos los criterios concuerdan con la afirmación "*a* supera b_h" , el índice de concordancia global estaría definido por la expresión siguiente

$$C(a_i,b_h) = \frac{\sum_{j\in F} k_j \cdot c_j(a_i \cdot b_h)}{\sum_{j\in F} k_j} \quad (2)$$

2.1.3. Índices de discordancia por criterio

Es un indicador que expresa en qué medida el criterio g_j se opone a la afirmación de que "*a* es al menos tan buena como b_h" (i.e, *a* supera a b_h) o a la inversa. Un criterio es discordante con la afirmación de "*a* supera a b_h" cuando para dicho criterio la alternativa b_h es preferida a la alternativa *a* es decir, cuando $c_j(b_h,a)=1$ y $c_j(a,b_h)=0$. En el caso de que la preferencia sea creciente, el criterio g_j se opone cuando la diferencia $g_j(b_h)-g_j(a)$ excede el umbral de veto v_j. (Fig. 6).

Figura 6: Construcción de un índice de discordancia (Maystre, Pictec, & Simos, 1994)



Los índices de discordancia se obtienen a partir de las siguientes expresiones:

$d_j(a_i,b_h) = 0 \Leftrightarrow\ g_j(a_i) > g_j(b_h) - p_j$

$0 < d_j(a_i,b_h) < 1 \Leftrightarrow g_j(b_h) - v_j < g_j(a_i) \le g_j(b_h) - p_j \Rightarrow d_j(a_i,b_h) = \dfrac{g_j(b_h)-g_j(a_i)-p_j}{v_j-p_j}$ (3)

$d_j(a_i,b_h) = 1 \Leftrightarrow\ g_j(b_h) - v_j(b_h) \ge g_j(a_i)$

2.1.4. Grado de credibilidad

Es un indicador que considera de forma conjunta los índices de concordancia globales $C(a_i,b_h)$ y los índices de discordancia $d_j(a_i,b_h)$ por lo que expresa en qué grado "*a* supera a b_h" y "b_h supera a *a*". Por tanto, los índices de credibilidad $\sigma_s(a_i,b_h)$ y $\sigma_s(b_h,a_i)$ proporcionan dos relaciones de superación evaluadas entre la acción *a* y la acción de referencia b_h. El grado de credibilidad se calcula mediante la siguiente expresión:

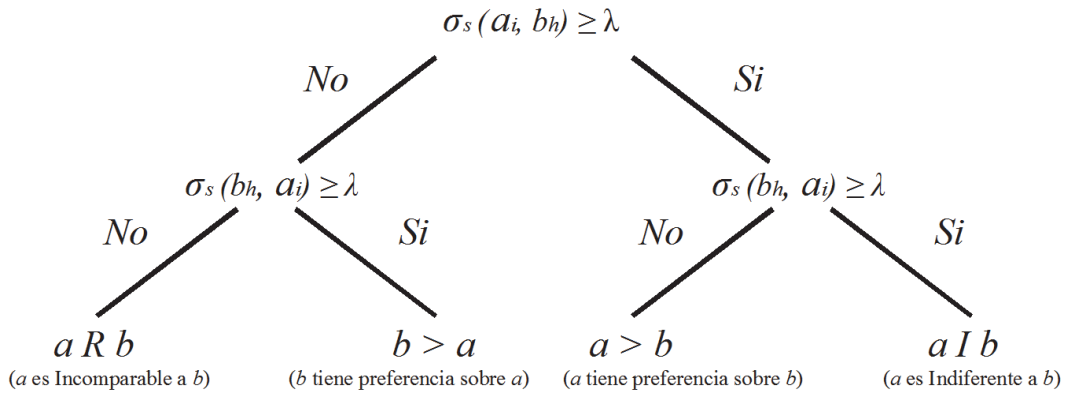
$$\sigma_s(a_i,b_h) = C(a_i,b_h)\cdot \prod_{j\in \overline{F}} \frac{1-d_j(a_i,b_h)}{1-C(a_i,b_h)} \qquad (4)$$

$$\text{donde } \overline{F} = \left\{ j \in F / d_j(a_i,b_h) > C(a_i,b_h) \right\}$$

2.1.5. Relación de superación o sobreclasificación

La relación de superación (Fig. 7) entre una acción potencial *a* y una acción de referencia b_h se establece a partir de los grados de credibilidad y de un umbral de corte constante λ que corresponde con el menor valor del grado de credibilidad a partir del cual la afirmación "*a* supera a b_h" es válida, es decir, se corrobora tal afirmación (aSb_h) cuando $\sigma_s(a_i,b_h) \geq \lambda$.

Figura 7: Relación de sobreclasificación (relación "outranking")



2.1.6. Procedimientos de asignación

Una vez que una alternativa a_i ha sido comparada con las acciones o perfiles de referencia b_h, en ELECTRE TRI existen dos procedimientos para asignar una alternativa a_i a una de las categorías previamente definidas:

a) Procedimiento pesimista (o conjuntivo): Consiste en comparar la alternativa a_i sucesivamente con los diferentes perfiles o acciones de referencia $b_{i/(i=p,p-1,\ldots,0)}$, comenzando por los perfiles más altos hasta encontrar el perfil b_h para el cual aSb_h y una vez encontrado se asigna la alternativa a_i a la categoría C_{h+1}.

b) Procedimiento optimista (o disyuntivo): Consiste en comparar la alternativa a_i sucesivamente con los diferentes perfiles o acciones de referencia $b_{i/(i=0,\ 1,\ 2,\ldots,p)}$, comenzando por los perfiles más bajos hasta encontrar el perfil b_h para el cual b_hSa y una vez encontrado se asigna la alternativa a_i a la categoría C_h.

3. Caso de estudio: Selección de emplazamientos óptimos de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Noroeste de la Región de Murcia

Para aplicar la metodología ELECTRE-TRI, se recurrirá a la base de datos generada en (Sánchez-Lozano et al, 2014). En dicho estudio se creó una matriz de decisión compuesta por 17.740 alternativas (las parcelas catastrales objeto de análisis) y los 9 criterios, descritos en la fig 3, que habrá que tener en cuenta a la hora de efectuar la evaluación.

3.1. Introducción de parámetros

La base de datos creada con el SIG permite obtener los valores numéricos de todos los criterios para cada una de las alternativas. Estos valores serán utilizados para aplicar la metodología ELECTRE-TRI y clasificar por categorías las potenciales localizaciones. Para ello, se recurrirá a un grupo de expertos en energía solar fotovoltaica que indicarán, no sólo el número de categorías en las que se deberían clasificar las alternativas en función de los 9 criterios, sino que además establecerán los límites de dichas categorías para cada uno de los criterios y los parámetros de ELECTRE-TRI (umbrales de preferencia, indiferencia y veto). Según dichos expertos, resulta posible clasificar las alternativas en cuatro categorías (Categoría 1, Categoría 2, Categoría 3, Categoría 4) en función a la aptitud o capacidad para albergar un sistema solar (mala, buena, muy buena y excelente capacidad respectivamente) y, establecer el resto de parámetros necesarios para aplicar la metodología descrita (tabla 1). Los coeficientes de importancia o pesos de los criterios se han obtenido de forma similar al proceso realizado en (Sánchez-Lozano, García-Cascales & Lamata, 2013) y, se aplicará la metodología descrita utilizando el procedimiento de asignación optimista y, un valor de corte muy próximo a la unidad (λ=0.90) con el objetivo de ser restrictivos en la asignación de categorías.

Tabla 1: Límites de categorías y parámetros de ELECTRE-TRI

	g_1 (%)	g_2 (m2)	g_3 (Clases)	g_4 (m)	g_5 (m)	g_6 (m)	g_7 (m)	g_8 (KJ/m²·día)	g_9 (ºC)
b_1	-30	1500	5	-10000	-10000	100	-15000	1200	12
b_2	-20	3500	8	-5000	-3000	500	-10000	1700	15
b_3	-10	10000	10	-100	-100	1000	-7500	2000	17
K_j	0.063	0.132	0.056	0.054	0.150	0.190	0.173	0.124	0.058
$q_j(b)$	5	3	4	100	100	100	150	0	16.5
$p_j(b)$	15	1000	7	200	300	300	3000	1500	17
$v_j(b)$	40	25000	9	650	500	800	10000	2050	17.5

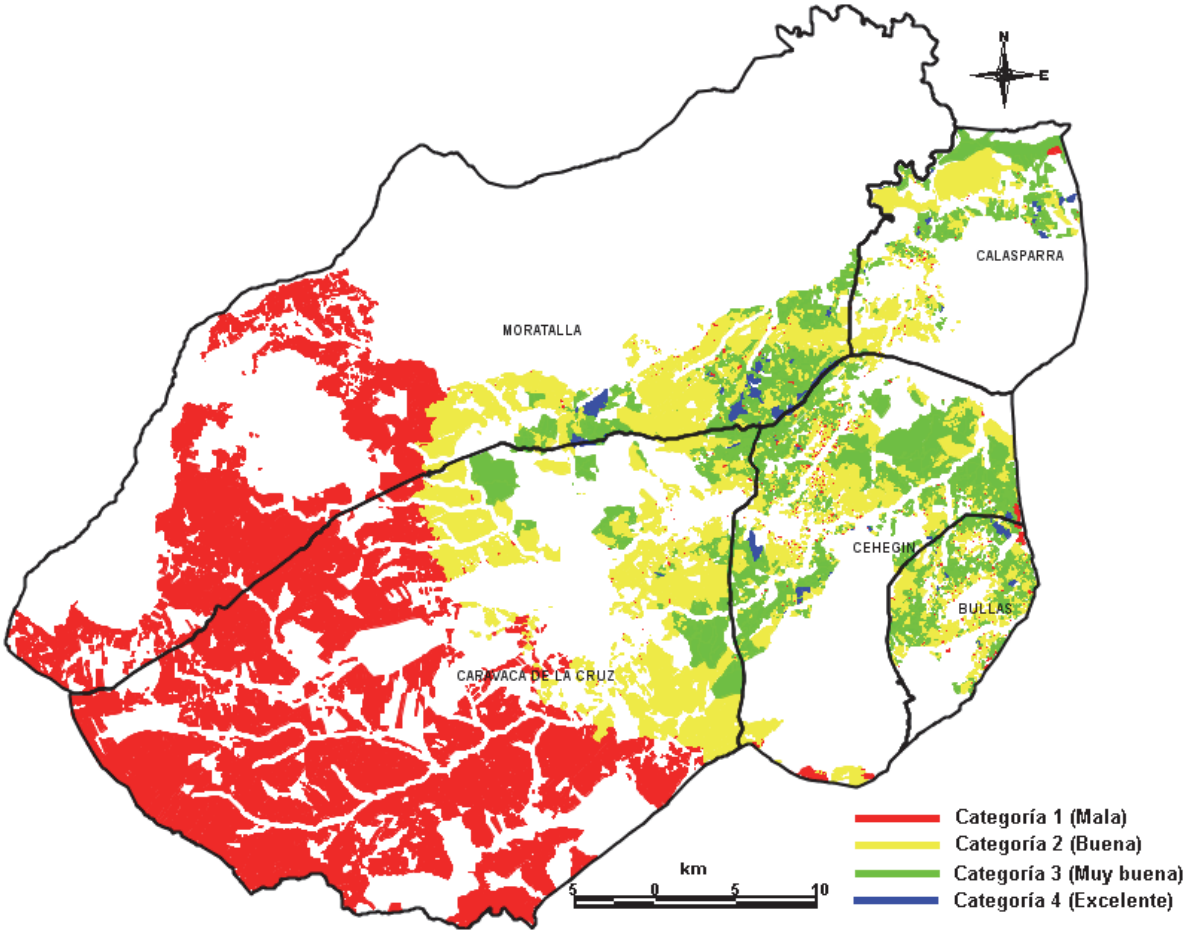
3.2. Aplicación de la metodología ELECTRE-TRI

A partir de la matriz de decisión proporcionada por el SIG y con los parámetros definidos en la tabla 1, resulta posible realizar cada una de las etapas de la metodología ELECTRE-TRI mediante una hoja de cálculo Excel. Los resultados obtenidos proporcionan una clasificación de las potenciales alternativas (parcelas catastrales) por categorías. Vinculando tales resultados en el SIG a través de un código de colores (excelente: azul, muy buena: verde, buena: amarillo y mala: rojo), se obtendrá un mapa (Figura 8) que muestra la capacidad de acogida para albergar instalaciones solares fotovoltaicas en el noroeste de la Región de Murcia. Las zonas en blanco indicadas en dicho mapa están descartadas por no cumplir los requisitos legales para la implantación de las granjas.

En dicho mapa se observa como el municipio de Moratalla es el que posee mayor número de alternativas situadas en la mejor categoría. También es de destacar que aunque el municipio de Caravaca de la Cruz presenta un alto porcentaje de superficie disponible para

implantar este tipo de instalaciones, más de la mitad de dichas localizaciones tienen mala capacidad para acoger sistemas solares fotovoltaicos.

Figura 8: Mapa de capacidad de acogida de sistemas solares fotovoltaicos en el Noroeste de la Región de Murcia

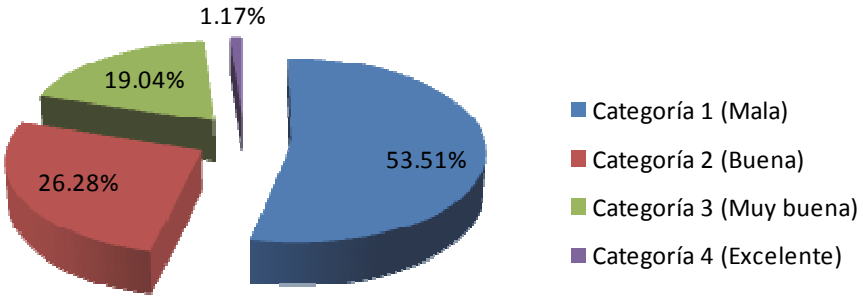


Según las categorías definidas por los expertos y analizando las potenciales alternativas para albergar sistemas solares fotovoltaicos mostradas en la figura anterior se observa que:

- El 1,17 % de la superficie disponible resulta excelente para implantar sistemas solares fotovoltaicos.
- El 19,04 % de la superficie disponible presenta muy buena capacidad de acogida para albergar este tipo de instalaciones.
- El 26,28 % de la superficie disponible presenta buena capacidad de acogida.
- El 53,51 % de la superficie disponible tiene mala capacidad de acogida.

En la figura 9. se muestran, los porcentajes de capacidad de acogida del total de la superficie óptima del noroeste de la Región de Murcia para albergar sistemas solares fotovoltaicos.

Figura 9: Distribución de la capacidad de acogida en la superficie disponible del Noroeste de la Región de Murcia para albergar sistemas solares fotovoltaicos



4. Conclusiones

Tras el estudio realizado se ha comprobado que la combinación SIG con metodologías de decisión multicriterio tales como el método ELECTRE-TRI, permite resolver problemas complejos de localización como el propuesto en el presente artículo. Mientras que el SIG proporciona la base de datos en forma de matriz de decisión de alternativas y criterios, los métodos multicriterio permiten evaluar o clasificar (como en el problema planteado) las potenciales alternativas (localizaciones definidas a través de su referencia catastral).

En el caso particular propuesto se han alcanzado diferentes conclusiones. En relación a los porcentajes de superficie disponible es de destacar que aunque existe un elevado número de potenciales alternativas para implantar sistemas solares fotovoltaicos, más de la mitad de la superficie disponible (concretamente el 53.51 %) está situado en la peor categoría es decir, presenta mala capacidad para albergar este tipo de instalaciones. La justificación a dicho porcentaje se podría encontrar en la gran cantidad de zonas abruptas con pendientes escarpadas que hay en gran parte del territorio objeto de estudio.

Respecto a la metodología aplicada es destacable mencionar que, llevando a cabo la extracción del conocimiento a partir de un grupo de expertos en instalaciones de energías renovables, ha sido posible aplicar una herramienta de decisión cuyo uso está ampliamente extendido en la actualidad con la finalidad de realizar una clasificación por categorías de las alternativas objeto de análisis.

Entre las debilidades que presenta este estudio las cuales podrían englobarse dentro de posibles estudios futuros, cabría mencionar el aplicar otras herramientas de decisión multicriterio tales como el método TOPSIS, PROMETHEE, etc. con la finalidad de llevar a cabo una comparativa de los resultados obtenidos. Además, siempre y cuando se pudiera disponer de la información cartográfica, se podría aumentar la zona de estudio abarcando la totalidad de la Región de Murcia.

Referencias

Arrhenius, S. (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 5 (41), 237-276.

España. Real Decreto-Ley 1/2012, del 27 de enero, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos. *Boletín Oficial del Estado,* 28 de enero de 2012, núm. 24, pp. 8068.

European Commission. (1996). *Energy for the Future: Renewable Sources of Energy - Green Paper for a Community Strategy*, Brussels.

European Commission. (1997). *Energy for the future: renewable sources of energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan*. Brussels.

European Parliament, 2009. Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal of the European Union*. Brussels.

Gómez-López, M.D., García-Cascales, M.S., & Ruiz-Delgado, E. (2010). Situations and problems of renewable energy in the Region of Murcia, Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1253–1262.

Hwang, C.L., & Yoon, K., (1981). *Multiple Attribute Decision Methods and Applications*, Springer, Berlin, Heidelberg ed.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE. (2005). *Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE. (2010). *Plan de Energías Renovables (PANER) 2011 – 2020*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Madrid.

Janke, J.R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35, 2228-2234.

Maystre, L.Y., Pictec, J. & Simos, J., (1994). *Méthodes multicritères ELECTRE. Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnenmentale*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Paris. Ed. Lausanne..

Roy, B., & Bouyssou, D. (1991). *Aide à la decision fondée sur une PAMC de type ELECTRE*. Université Paris-Dauphine. Document du LAMSADE, 69. 118 p.

Roy, B. (1968). Classement et choix en presence de points de vue multiples (la method ELECTRE), *Revue informatique et recherché opérationnelle*, 8, 57-75.

Roy, B. (1978). ELECTRE III: un algorithme de classement fondé sur une représentation floue des préférences en présense de critères multiples, *Cahiers du CERO*, 20 (1), 3-24.

Roy, B., & Bertier, P. (1971). La méthode ELECTRE II: une méthode de classement en présense de critères multiples, *SEMA (Metra International)*, 142. Paris. 25 p.

Roy, B., & Bertier, P. (1973). La méthode ELECTRE II: une application au media-planning. Ross M. (ed.) *Operational Research*. North-Holland Publishing Company. pp. 291-302.

Roy, B., & Bouyssou, D. (1991). *Aide à la decision fondée sur une PAMC de type ELECTRE*. Université Paris-Dauphine. Document du LAMSADE, 69. 118 p.

Roy, B., & Hugonnard, J.C. (1982a). Classement des prolongements de lignes de metro en banlieue parisienn (presentation d'une method multicritère originale), *Cahier du CERO*, 24. 2-3-4. pp. 153-171.

Roy, B., & Hugonnard, J.C. (1982b). Le plan d'extension du metro en banlieue parisienn, un cas type de l'analyse multicritère, *Les Cahiers scientifiques de la revue Trannsports*. 6, pp. 77-108.

Roy, B., & Skalka, J.M. (1985). *ELECTRE IS: aspects méthodologiques et guide d'utilisation*. Université Paris-Dauphine. Paris. Document du LAMSADE, 30. 125 p.

Roy, B., & Vincke, Ph. (1984). Relational systems of preferences with one or more pseudo-criteria: some new concepts and results. *Management Science*, 30, 11, 1323-34.

Saaty, T.L., (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.

Sánchez-Lozano, J.M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P.L., & García-Cascales, M.S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 24, 544–556.

Sánchez-Lozano, J.M., García-Cascales, M.S., & Lamata, M.T. (2013). Chapter 4: Decision criteria for optimal location of solar plants: photovoltaic and thermoelectric. F. Cavallaro (Ed.), *Assessment and Simulation Tools for Sustainable. Energy Systems, Green Energy and Technology*, 129, (pp. 79-91). London, Springer-Verlag.

Sánchez-Lozano, J.M., García-Cascales, M.S., & Lamata, M.T. (2014). Identification and selection of potential sites for onshore wind farms development in Region of Murcia, Spain. *Energy*, 73, 311-324.

Sánchez-Lozano, J.M., García Cascales, M.S., Lamata, M.T., Roca-González, J.L., & Meseguer-Valdenebro, J.L. (2014). Spatial analysis using GIS for obtaining optimal locations for solar farms, case study: the northwest of the Region of Murcia. 18th International Congress on Project Management and Engineering (ISBN: 978-84-617-1275-5).

UNEF & Salas, V. (2014). National Survey Report of PV Power Applications in Spain 2013. Photovoltaic Power Systems Programme. International Energy Agency (IEA). [consultado 05 Abril 2015]. Disponible en: http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93.

United Nations. (1997). Framework convention on climatic change: Report of the conference of the parties on its third session. *Adoption of the Kyoto Protocol*, Kyoto

Urbina, A. (2014). Solar electricity in a changing environment: The case of Spain. *Renewable Energy*, 68, 264-269.

Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11–17.

Working Group I. (1990). Climate Change. *The IPCC Scientific Assessment*. Ed. J.T., Houghton, G.J. Jenkins & J.J. Ephraums, Cambridge University Press, Cambridge.

Working Group II. (1990). Climate Change. *The IPCC Impacts Assessment*, Ed. W.J. McG. Tegart, G.W. Sheldon and D.C. Griffiths, Australian Government Publishing Service, Camberra.

Working Group III. (1990). Climate Change. *The IPCC Response Strategies*. World Meteorological Organization/United Nations Environment Program. Island Press.

Yu, W., (1992a). Aide multicritère à la decision dans le cadre de la problémathique du tri concepts, méthodes et applications, These de doctorat, UER Sciences de l'organisation, Université Paris-Dauphine. 201 p.

Yu, W., (1992b). ELECTRE TRI. *Aspects méthodologiques et manuel d'utilisation*. Université Paris-Dauphine. Document du LAMSADE, 74. 80 p.

05-038

STUDY OF INITIAL ELECTRIFICATION IN THE LAND OF VALENCIA

Armero Martínez, Antonio; Sánchez Romero, Miguel Ángel; Capuz Rizo, Salvador
Universitat Politècnica de València

There is a renewed focus on the industrialization of Valencian Community. In this context it is of particular relevance the birth and first steps of the electric sector. The region's own economic circumstances and the Spain situation in the late nineteenth century, the introduction of technological developments related to the electricity and its industry, the particular land orography, the nature of the first generation facilities and the type of the early customers are identified and described in this article as the key factors that make up the process. Finally the concentration process of the generation and distribution companies is reported, concluding with the identification of an implementation model that was repeated throughout the region.

Keywords: *Electrification; electric power; industrial history; electric developments*

ESTUDIO DE LA ELECTRIFICACIÓN INICIAL DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

Existe un renovado interés sobre la industrialización sobre la Comunidad Valenciana. En este contexto, es de especial relevancia el nacimiento y la implantación del sector eléctrico. Las circunstancias económicas propias de la región en la España de finales del siglo XIX, la introducción de las novedades tecnológicas relacionadas con el sector eléctrico, la especial orografía del terreno, la naturaleza de las primeras instalaciones de generación y la tipología de los primeros clientes se identifican y se describen en este artículo como los factores clave que configuraron el proceso. Finalmente se relata el proceso de concentración de las empresas generadoras y distribuidoras, para concluir con la identificación de un modelo de implantación que se repitió por todo el territorio.

Palabras clave: *Electrificación; energía eléctrica; historia industrial; evolución eléctrica*

Correspondencia: Salvador Capuz Rizo scapuz@dpi.upv.es

1. Objetivos e introducción.

En los últimos años, ha repuntado el interés por la industrialización de territorios como el valenciano. El amplio debate sobre la naturaleza de su industrialización sigue requiriendo de estudios sectoriales. Y dentro de esos estudios sectoriales y microestudios, parece muy adecuado dirigir la atención a los procesos de electrificación.

Este trabajo pretende analizar cómo se empezó a utilizar la electricidad en Comunidad Valenciana a finales del siglo XIX y cuáles fueron las claves de su paulatina implantación como fuente de energía sustitutiva del gas o petróleo en el alumbrado y cómo desde el alumbrado en el ámbito industrial y comercial se llegó al ámbito doméstico y posteriormente se extendió su uso a la tracción reemplazando a los tradicionales motores de vapor o los más modernos de gas.

El proceso fue largo y complejo porque los avances en alumbrado no fueron inmediatos y tampoco lo fue el desarrollo de la tecnología eléctrica. El uso del gas y los intereses existentes sobre este mercado dificultaron o frenaron el avance de esta fuente de energía cuyo principal inconveniente siempre ha sido la dificultad de su almacenamiento. El establecimiento de las primeras redes de distribución también supuso un inconveniente y la legislación se tuvo que adaptar para permitir y regular el trazado de las mismas.

La idea de este artículo es presentar la introducción de la electricidad en la sociedad valenciana de la época y contar cómo se extendió su uso, así como los problemas que surgieron y se debieron resolver. También repasaremos de qué manera llegó esta invención y quién o qué empresa fue la primera en explotarla.

La historia eléctrica valenciana comienza en 1882, al menos en lo que ha quedado registrado, como sistema nuevo de alumbrado o curiosidad. En ese año el alumbrado eléctrico se instala de forma aislada en algunos puntos de la ciudad. No era la primera vez que se veía pero sí la primera en que se usaba con fines comerciales.

2. El contexto económico.

Se sabe que Valencia ha sido y es una región pobre en materias primas, y por ello su capacidad de producción ha estado tradicionalmente orientada a las industrias de transformación. El modelo productivo valenciano de fin de siglo estaba compuesto por industrias cerámicas, papeleras, metalúrgicas, metal-mecánicas, muebles y otras transformaciones de la madera, textiles (como la seda) y agroalimentarias. Fruto de esta segunda revolución industrial y aprovechando la calma política que proporcionó la Restauración, una nueva clase empresarial cuya riqueza ya no provenía de la tierra, se unió a la tradicional aristocracia para conformar una renovada clase alta y acabar en algunos casos, como en el de José Campo y en el de Tomás Trénor, formando parte de ella.

La agricultura valenciana era el otro soporte del modelo económico. Además en torno a la agricultura surgía la industria auxiliar de maquinaria para el trabajo de la tierra. Zonas de cultivo improductivo se convertían gradualmente en regadíos utilizando canales y acequias que con los adelantos de la ingeniería y el transporte a vapor, se fueron construyendo. En la comarca de la Huerta Sur, el crecimiento se impulsó con el nuevo tramo de la Acequia Real y sus ramales, que se prolongaron hasta Albal y Benifayó, y a la Ley de Aguas[1] de 1847 que liberalizó la administración de la misma por el Duque de Híjar. Esto posibilitó la transformación de tierras antes de secano a regadío, principalmente destinadas a arrozales.

[1] La Ley de Aguas se modificaría en 1879, para incluir el procedimiento que regulaba el aprovechamiento de los saltos de agua en cauces públicos.

También las nuevas líneas de ferrocarril dieron un fuerte impuso al comercio agrícola. En esta comarca, el ferrocarril Silla-Cullera fue inaugurado en agosto de 1878.

Las líneas ferroviarias vertebraron el territorio nacional durante la segunda mitad de siglo. El cuarto ferrocarril peninsular se construyó entre el Grao de Valencia y San Felipe de Játiva en 1852, siendo José Campo el principal promotor del trazado y teniendo como primer apeadero la población de Silla. A continuación la línea se prolongaría hasta Almansa. Campo inició después la línea de Valencia a Tarragona, que finalizó en 1868, y seguidamente prosiguió con el montañoso trayecto entre Játiva y Alcoy. Una vez superadas ciertas dificultades económicas, en 1894 la línea se encontraba en servicio hasta Onteniente. Al mismo tiempo que esta última, se construiría de forma independiente y muy rápida el ferrocarril Alcoy-Gandía, que discurría por el abrupto valle del Serpis, necesitando en su construcción hasta siete túneles y doce puentes, siendo la mitad metálicos.

A pesar de la incipiente industrialización valenciana, el peso del PIB en 1900 sobre la economía española era muy escaso (alrededor del 7%) y muy inferior al de Cataluña que era en ese momento la región que más aportaba. Aunque la Comunidad Valenciana no había alcanzado todavía un notorio posicionamiento industrial, sí se estaba produciendo un crecimiento singular soportado por el desarrollo del transporte y del comercio. Gran parte de este impulso tecnológico local surgió de las iniciativas de los comerciantes que se hacían hueco entre la burguesía y la contribución a la divulgación tecnológica que supusieron las exposiciones promovidas por La Económica[2]. En la ciudad, el crecimiento de la actividad industrial estuvo basado en el desarrollo de negocios familiares, consiguiendo algunos de ellos una progresión excepcional. Es el caso de los empresarios Francisco Climent Sebastián que junto a Miguel Alcalá, provenientes ambos de La Primitiva[3], fundaron en 1880 La Maquinista Valenciana, y de los caldereros Miguel Devís Pérez y José Noguera Chuliá fundadores de los talleres Devís y Noguera en 1897.

El despliegue eléctrico en la provincia de Valencia también siguió esa pauta. Las primeras instalaciones en general destinadas a iluminación, se produjeron en establecimientos de carácter privado a partir de dinamos compradas en el mercado exterior o fabricadas en España bajo patente extranjera, y accionadas por máquinas de vapor. Como la electricidad no se puede almacenar, la producción siempre ha estado ligada al consumo. Las fábricas y pequeños establecimientos tenían las dimensiones idóneas para poder controlar dicha relación, pero la generalización en el uso era una empresa mucho más difícil. El inesperado fracaso de la Sociedad Española de Electricidad en 1888 había dejado claro que para poder competir con los sistemas tradicionales de alumbrado iba a ser necesaria una producción a gran escala donde el coste de la energía fuera reducido y se alcanzase la masa crítica necesaria para dotar de estabilidad al sistema. La experiencia catalana sugería que el éxito del negocio eléctrico se centraba en el control del equilibrio formado por la tríada coste, producción y demanda. El salto importante en el factor coste se iba a producir en pocos años con la gran generación hidroeléctrica, una vez resuelto el problema que significaba su transporte. Las pérdidas que acarreaba hacerlo hasta el momento eran demasiado grandes. Por ello, las primeras centrales eléctricas o fábricas de electricidad se localizaban junto a los centros de consumo. Hay que considerar que el desarrollo del transporte eléctrico se produjo a principios del siglo XX como respuesta a una necesidad apremiante, una vez se completaron los primeros centros de producción hidroeléctrica habitualmente lejanos de los centros de consumo. Para solucionar el problema del transporte fue necesaria la invención en 1884 y subsiguiente evolución tecnológica del transformador, de manera que se pudiera elevar la tensión de la corriente a un alto voltaje para poderla conducir a otro lugar alejado

[2] Sociedad Económica de Amigos del País de Valencia
[3] Taller dedicado a la fabricación de material para ferrocarriles y tranvías

sin sufrir elevadas pérdidas energéticas en el camino y tampoco en el proceso de transformación.

A pesar de las dificultades iniciales el camino eléctrico se iba recorriendo, trazado por los avances en maquinaria y utillaje que se producían en Europa y en los Estados Unidos. En 1901 se contabilizaron en España 858 fábricas de electricidad (Uriarte, 1949) sin precisar su origen térmico o hidráulico. Inicialmente y hasta 1910 la energía de origen térmico superaba a la de origen hidráulico. Las primeras fábricas funcionaban valiéndose de un motor de vapor y generando, mediante dimamos, corriente continua de bajo voltaje que se distribuía en redes de corto alcance ya que, como hemos indicado, el problema del transporte se resolvió posteriormente. Excepcionalmente algunas instalaciones se hicieron en corriente alterna, como la de alumbrado público para la ciudad de Gerona en 1885. Aunque pronto se iluminaron las calles, fábricas y talleres con lámparas eléctricas, la aplicación del motor eléctrico a las manufacturas en sustitución del vapor no se generalizó hasta la primera guerra mundial (1914-1918).

El negocio eléctrico era inicialmente complejo ya que integraba en una sola compañía la generación, el transporte y la distribución, áreas de actividad que actualmente están diferenciadas. El alumbrado público significaba en muchos casos una mejora para las concesionarias al integrar la distribución en un solo cliente, lo que simplificaba el sistema de facturación y cobro que en aquellos momentos era rudimentario.

La electricidad generada de forma artificial no era muy conocida en España a mediados del siglo XIX; se consideraba un fenómeno curioso sin apenas uso industrial. La incorporación de la telegrafía a las rudimentarias comunicaciones españolas supuso un gran avance y el primer paso en la aplicación industrial del fenómeno. En 1854, se envió el primer telegrama desde Madrid a Irún. La fuente de energía utilizada eran baterías que generaban impulsos eléctricos que se podían transformar en movimiento mecánico mediante electroimanes. En las tres décadas siguientes los avances en maquinaria y aplicación eléctrica se dieron en países como Estados Unidos y Reino Unido, quedando España postergada por el menor interés y capacidad que nuestro país revelaba frente a los avances tecnológicos y científicos. Las últimas dos décadas del siglo revelaron el ocaso del dominio español a pesar del esfuerzo de comerciantes y empresarios ante una cuestionable política colonial basada en el proteccionismo. Así, el año 1898 España pierde Cuba, Puerto Rico, Filipinas, y el resto de posesiones de ultramar, las últimas colonias de su imperio. Finalmente ya con el principio del siglo XX España empezó a levantar cabeza gracias entre otras cosas al crecimiento y empuje de la burguesía y a la estabilidad política.

La industria de la molturación tanto de trigos como de arroces, jugó un importante papel en el arranque eléctrico. En la región valenciana había en 1909 más de 530 fábricas de harina que utilizaban el “sistema austro-húngaro” u otro semejante, unas 30 punteras con turbinas de vapor o electricidad y multitud de molinos movidos por agua o caballería de menores dimensiones (Martínez-Gallego, 1995).

La ampliación de la acequia Real del Júcar, promovida por el duque de Híjar a principios del siglo XIX, dio lugar al crecimiento del cultivo arrocero en el campo valenciano y a la construcción de numerosos molinos que utilizaban los pequeños saltos de agua de las acequias para obtener la energía necesaria para su funcionamiento. Casi un siglo después diferentes molinos que flanqueaban la cuenca de esta acequia se reconvirtieron en fábricas de electricidad.

3. Primeras instalaciones.

La primera instalación eléctrica conocida de la ciudad de Valencia se ejecutó por la empresa pionera con sede en Barcelona Sociedad Española de Electricidad en noviembre del año 1882 en la tienda familiar de tejidos del Sr. Conejos, situada en la céntrica calle San Vicente y que constaba de dos lámparas Gramme de arco voltaico alimentadas por una máquina de vapor locomóvil de 12 CV de fuerza. También se condujo el alumbrado eléctrico a los talleres de fundición El Vulcano y a los locales de la Sociedad Valenciana de Agricultura.

Este hito estaba más motivado hacia la atracción de clientes por la novedad de la luz eléctrica, que a las ventajas que el sistema pudiera suponer. A través de esta sociedad, el 7 de enero del año siguiente se iluminaron la plaza de la Constitución, actualmente plaza de la Virgen, y la calle del Sequial de Sueca con lámparas de arco, instalándose, además las primeras siete lámparas de incandescencia con filamentos de aluminio.

El cambio de política de la Sociedad Española de Electricidad promoviendo su ramificación nacional mediante filiales posibilitó la fundación en 1883 de la primera compañía eléctrica valenciana que se constituyó con el nombre de Sociedad Valenciana de Electricidad. En ésta participaban el comerciante, empresario y pionero eléctrico Francisco Dalmau Faura, junto con la gasista Eugenio Lebón y Cía.

Las ferias y exposiciones supusieron un claro punto de apoyo en la modernización de España y particularmente en la implantación de la tecnología eléctrica. Aunque la iluminación eléctrica ya había estado presente en la Exposición de Motores de 1880 de forma testimonial, la Exposición Regional de Agricultura, Industria y Artes de 1883 consiguió sorprender a la sociedad valenciana con una instalación mixta en la que alimentó parte del alumbrado exterior (de forma compartida con el gas) y varias instalaciones fabriles mediante dinamos movidas por vapor. La exposición cumplía así su función paradigmática de exhibición de los avances tecnológicos.

La Sociedad Valenciana de Electricidad instaló en el pabellón de La Primitiva Valenciana de la Exposición Regional de 1883 seis dinamos eléctricas del sistema Gramme, movidas por una máquina de vapor, para abastecer al alumbrado del certamen. Cuatro dinamos alimentaban veinte lámparas de arco voltaico Gramme Nysten (seis en el pabellón derecha, ocho en el pabellón izquierda, tres en Bellas Artes, tres en la arboleda de la entrada). La quinta dinamo proveía de energía a cinco lámparas idénticas que daban servicio al Ayuntamiento y otras instalaciones particulares, y la sexta cebaba dos lámparas para La Primitiva Valenciana y tres sobrantes que se exhibían a sí mismas.

En otras ciudades españolas también se abría paso poco a poco el alumbrado eléctrico. En 1882, en la ciudad de San Sebastián, en el interior de la Fábrica Municipal de Gas, se instaló un sistema gasomotor alemán de la marca Otto Fabrik Deutz conectado a una dinamo. Tal maquinaria permitía generar electricidad a partir del gas que se obtenía para dar servicio al alumbrado público de la época. Este primer circuito estaba formado por 100 lámparas eléctricas de arco voltaico de corriente continua, de 12 amperios de intensidad, repartidas por las principales calles de la ciudad. El citado grupo electrógeno tenía una potencia de 16 HP, disponiendo de dos gasomotores de un cilindro que trabajan en paralelo, unidos mediante un eje con un volante de inercia de unos tres metros de diámetro, que a su vez hace de correa de transmisión hacia los generadores de electricidad.

En 1886 se instaló en Valencia la primera línea alumbrado público permanente con la implantación de los primeros báculos. Pero la mayor parte del servicio todavía era proporcionado por los gasistas (Campo y Lebón). La transición se fue produciendo de manera gradual (Riera, 1988). En 1888, el propio José Campo construyó su propia fábrica de electricidad en el mismo patio de su nueva fábrica de Gas del Llano del Remedio, junto a lo que hoy se llama “La Glorieta”.

La Sociedad Valenciana de Electricidad4, al igual que su matriz, no pudo superar las dificultades iniciales y como la primera, se arriesgó en un mercado todavía inmaduro.

Las primeras concesiones sobre espacios públicos para el tendido de líneas eléctricas en la provincia de Valencia datan de finales del siglo XIX y principios del XX

El alumbrado era el primer uso eléctrico. Se partía de una dinamo accionada por una máquina de vapor o por un salto hidráulico que alimentaba una serie de lámparas en un circuito inicialmente de corriente continua. La energía proveniente de un salto hidráulico era mucho más barata, por lo que se extendió la reconversión de molinos harineros y arroceros en fábricas de electricidad. Sólo en Valencia capital y alrededores existían siete importantes acequias de riego que, tomando el agua del Turia, la distribuían a las zonas de huerta que circundaban la ciudad. En su camino se aprovechaba la fuerza del agua para la tradicional industria de la molturación, que a mediados de siglo se había convertido en un próspero negocio. Este patrón inicial es común en toda España (Bartolomé, 2007) y particularmente se da en la provincia de Valencia, atravesada por los ríos principales Júcar y Turia, cuyas aguas alimentaban numerosos molinos dispersos en extensión y próximos a núcleos de población. Así, el crecimiento de la industria de la molturación y las nuevas necesidades de energía, empujaron a los molinos a instalar las primeras máquinas de vapor. Muchos de los antiguos molinos todavía conservan las chimeneas de ladrillo adosadas a las construcciones.

4. Tipología de las primeras instalaciones: molinos.

El primer ejemplo de producción y explotación de energía eléctrica a partir de un molino arrocero se produce en Silla, próspera población arrocera, a finales del siglo XIX. Junto a la Acequia Real existía un molino harinero de cuatro muelas, construido en 1790 por el Duque de Híjar y conocido como Molino Grande. La historia se remonta a cuando Manuel Forés Bassart compró el Molino Grande al Duque de Híjar en 1856. Hasta el molino llegaría Francisco Pons quien contrajo matrimonio con la hija de éste, Joaquina Forés Roget. En octubre de 1894 sus propietarios, la familia Pons Forés, encabezada por Francisco Pons, fundan la fábrica de electricidad Pons y Forés. que pide la primera licencia a la Diputación para instalar unos postes para una línea de alumbrado eléctrico en la senda que va desde Silla hasta el molino, con el objetivo de proveer de alumbrado a parte de la población. Queda visible todavía algún poste del trazado en sus ruinas y una chimenea, lo que indica que la fuerza del agua no era suficiente y se complementaba con una máquina de vapor, presumiblemente alimentada con la paja del arroz. La máquina de vapor y un alternador de 42kW se instalaron ese mismo año aunque es muy posible que el alternador ya existiera previamente movido por la fuerza del agua para la iluminación interna del molino. Los señores Francisco Pons y sus hijos fueron pioneros en Valencia en acoplar un generador a la maquinaria del molino para producir electricidad. Este hecho supuso el comienzo de una de las primeras empresas eléctricas en la provincia de Valencia. No obstante, la idea no era demasiado original. Esto mismo ya se había hecho en Gerona en el año 1883, Cataluña lideraba entonces el avance eléctrico español. No fue el único caso aunque sí el primero en la Comunidad. Muchos otros molinos como el de Daroqui en Manises o el de Nou Moles en Valencia siguieron los pasos del de Silla.

La experiencia acumulada con la instalación del alumbrado en la población de Silla a través de la energía generada en el Molino Grande permitió al molinero Francisco Pons dejar un legado industrial que se prolongaría hasta mediados del siglo XX. El Molino Grande siguió suministrando electricidad para alumbrado a la población de Silla. Cuando la fuerza del agua

[4] Posteriormente, al comienzo de siglo, otros empresarios utilizaron este mismo nombre para crear, esta vez sí, una empresa eléctrica de relevancia.

era escasa contaba con el apoyo de una máquina de vapor. La edificación todavía conserva en la actualidad la chimenea de la referida instalación.

Los tres hijos varones del matrimonio Pons-Forés enfocaron su profesión hacia la actividad eléctrica y fundaron la "Sociedad en Comandita Pons y Forés", sociedad que al poco tiempo sería el germen de una empresa de mayor envergadura. En su perspectiva de negocio figuraba progresar desde molino al embalse y para ello habían obtenido la concesión de un salto en el río Serpis La nueva empresa se denominó "Hidroeléctrica de Valencia" y se constituyó como Sociedad Anónima en Valencia el 30 de julio de 1894. El objeto social era la producción, explotación y distribución de energía eléctrica para alumbrado y fuerza motriz en los términos municipales de Gandía y Alcoy (Valencia), pudiéndose dedicar a otros negocios relacionados con la electricidad. Al igual que había pasado con la fallida Sociedad Valenciana de Electricidad, la Hidroeléctrica contaba con importantes miembros de la burguesía valenciana de la época entres sus 25 accionistas iniciales. El crecimiento inicial fue rápido. En 1896 la Sociedad Hidroeléctrica de Valencia ya contaba con dos líneas de media tensión, la primera a Gandía y la segunda a Alcoy.

Otros muchas pequeñas compañías se fueron creando en paralelo, cada una para abasteces una pequeña área geográfica. Por ejemplo, en Alcira se fundó la sociedad "La Pajarita" que posteriormente sería la empresa eléctrica de Juan Vicente Pardo y a la muerte de éste Herencias Pardo, y que suministraba fluido eléctrico en la comarca incluyendo poblaciones como Carcagente, Sueca y Corbera.

El principal problema que tenían las empresas pioneras eran los grandes desembolsos que suponían las obras hidráulicas, empezando por las concesiones y siguiendo con la construcción de embalses, edificios anexos y la maquinaria eléctrica e instalaciones. Todo ello era necesario para posicionarse en el mercado pues la generación térmica a gran escala, mecánicamente más sencilla, resultaba cara por el coste y la logística del combustible y no permitía competir en precio con la hidráulica, quedando relegada a suministros de apoyo para momentos de estiaje. Solamente aquellas empresas que ya producían gas como las de Campo y Lebón y que además estaban ubicadas en la ciudad, podían permitirse producir electricidad de origen térmico a precios competitivos.

Así pues, las pequeñas sociedades creadas antes de fin de siglo pronto advirtieron que su actividad de negocio debía centrarse en la distribución y venta de energía y empezaron a considerar inaccesible el mercado de la generación a gran escala. Este hecho tampoco pasó desapercibido para el visionario empresario vasco Juan Urrutia, quien se dio cuenta que la gran generación hidráulica tenía la llave de la popularización de esta forma de energía y que las economías de escala que se podían generar permitirían superar las dificultades de las costosas infraestructuras. Juan Urrutia puso sus ojos en el río Júcar y con las concesiones adquiridas y la suficiente financiación que también supo obtener, culminó su idea de suministrar electricidad a Madrid y Valencia fundando la compañía Hidroeléctrica Española, hoy Iberdrola.

En la segunda década del siglo XX, las pequeñas compañías valencianas vieron que les resultaba más económico comprar el fluido eléctrico a una gran generadora como Hidroeléctrica Española que generarlo por sí mismas por lo que de forma gradual fueron poniendo en manos ajenas la parte crítica de su negocio, hasta llegar progresivamente a depender de Hidroeléctrica Española para la mayor parte de la generación. Esta situación las ponía en grave riesgo de supervivencia, ya que Hidroeléctrica competía con ellas en el mercado de la distribución.

Así, hasta los años cuarenta, muchas de ellas consiguieron mantenerse gracias a su red de distribución pero sin posibilidades reales de crecimiento puesto que las ganancias cada vez menores no eran suficientes para acometer expansión alguna, por lo que estas sociedades se mantuvieron dentro del umbral de la comodidad que le brindaba su pequeña red de

distribución, sus limitados centros de producción y la compra a Hidroeléctrica Española del fluido que superaba su capacidad.

Antes de la guerra civil ya se había iniciado el proceso de concentración de las empresas del sector que acabó con la independencia de Hidroeléctrica de Valencia, de Herencias Pardo y otras pequeñas.

El proceso de concentración no había terminado. A partir de mitad de siglo otras empresas más grandes como la Compañía de Luz y Fuerza de Levante pasaron a integrarse en Hidroeléctrica Española, bien por adquisición directa o por el canje de acciones entre ambas sociedades.

5. Notas de evolución tecnológica.

La introducción de la electricidad en todos los países llegó a través del alumbrado. El alumbrado eléctrico era más brillante y seguro que el existente mediante gas. Tanto la lámpara de arco como la bombilla de incandescencia fueron las invenciones clave que propiciaron la implantación de numerosas y pequeñas instalaciones eléctricas a finales del siglo XIX y el conocimiento comercial de esta nueva tecnología.

La luz generada por un arco eléctrico provocado fue primeramente observada en 1801 por el británico y mentor de Faraday, Sir Humphry Davy aunque no supo darle aplicación.

Las lámparas de arco voltaico funcionaban con electrodos de carbón y para su correcto funcionamiento la distancia entre los dos electrodos debía ser constante. Sin embargo el carbón se iba consumiendo conforme se utilizaba la lámpara y por tanto la distancia entre electrodos aumentaba progresivamente por lo que se necesitaba un sistema que mantuviera constante la separación entre ambos de forma que el circuito eléctrico se pudiera cerrar y produjese la misma intensidad de luz.

En 1876 el ingeniero ruso Pavel Nikolayevich Yablochkov inventó una lámpara de arco voltaico que eliminaba la necesidad de utilizar un regulador mecánico para mantener los electrodos a distancia constante (patente francesa № 112024, 1876). El invento utilizaba corriente alterna.

La bombilla de incandescencia fue inventada en 1878 por el británico Joseph Wilson Swan. Sin embargo la creencia popular atribuye erróneamente dicha invención al americano Thomas Alva Edison quien únicamente investigó con diferentes tipos de filamento buscando una luz brillante y duradera. Por tanto su aportación fue más bien la de perfeccionar una invención que ya se conocía.

Estas primeras lámparas permitieron crear la necesidad de un suministro eléctrico constante que hasta entonces no existía. El telégrafo, otro artilugio eléctrico que entonces ya estaba muy extendido funcionaba con baterías y sólo requería de pequeños impulsos eléctricos. Las lámparas necesitaban un generador, en definitiva, un suministro más potente que el acumulador no podía ofrecer. Ese suministro continuo sólo lo podía proporcionar una turbina de un salto de agua o una máquina de vapor. En ambos casos se requiere una dinamo para la corriente continua o un alternador para la alterna.

Por ello, para hacer funcionar estas lámparas previamente se tuvo que perfeccionar la conversión de la energía mecánica de la rotación en energía eléctrica. Este importante paso inventivo lo dio el ingeniero belga Zénobe Théophile Gramme quien en 1870 desarrolló una dinamo perfeccionada que permitía la generación eléctrica de carácter continuo y por tanto, no pulsada. Gramme difundió con éxito su invención en la exposición industrial de Viena en 1873. La dinamo tiene la particularidad de que puede funcionar como un motor cuando es alimentada por una corriente eléctrica, detalle que también Gramme conocía. La de Gramme no fue la primera dinamo, pero sí fue la primera que tuvo aplicación industrial y fue la

invención que llegó a España de la mano de Ramón de Manjarres, director de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona y con la mediación de Dalmau.

En España, la ausencia de fuentes de energía fósiles como el carbón y su privilegiada orografía permitían una diferenciación hidráulica (Arroyo, 2012) en la producción eléctrica. Esto condicionó el tipo de oferta eléctrica disponible, y la importancia de la demanda urbana pues la debilidad del sector industrial determinó que, durante años, fuera el alumbrado y el transporte en las ciudades los principales consumidores de electricidad de nuestro país.

Por ello, al principio, antes de la invención del transformador de alterna, la demanda urbana fue la que incitó la producción eléctrica con generadores de vapor situados en los mismos lugares de consumo, ya que las limitaciones de almacenamiento y transporte de la nueva energía impedían cualquier otra forma de producción. Además, ello se ajustaba al modelo clásico de la primera industrialización basado en la sustitución de la energía hidráulica preindustrial por el carbón y la máquina de vapor, con la excepción de algunas minicentrales hidráulicas en antiguos molinos. El transformador de corriente alterna posibilitó el transporte eléctrico a mayor distancia y la creación de grandes compañías hidroeléctricas capaces de generar un volumen energético muy superior al requerido en principio por la hasta entonces modesta demanda urbana.

6. Conclusiones

Las invenciones extranjeras en utillaje eléctrico derivadas de los avances y el conocimiento eléctrico que supuso la telegrafía, condujeron a la invención de la lámpara de arco eléctrico, piedra angular en el desarrollo de la electrificación y particularmente de su introducción en Cataluña y posteriormente en el resto de España, sobre todo en las principales ciudades de nuestra geografía e incluso de las todavía existentes colonias.

La lámpara de arco formaba un tándem perfecto con la dinamo de Gramme. Ambos elementos llegaron a Barcelona importados por el perspicaz empresario Dalmau, quien fundó la Sociedad Española de Electricidad, quizás demasiado prematura para la situación del mercado español lo que precipitó su quiebra a los pocos años de vida, no sin antes haberse extendido con dos filiales a Madrid y Valencia. En Valencia, la filial tuvo como socio al gasista Charles Lebón rival económico del también poderoso gasista Marqués de Campo, pero al igual que la matriz, la sociedad tras haber participado con éxito en la Exposición Regional de 1883, acabó pronto su andadura. Su actividad principal era la instalación de pequeños circuitos eléctricos para alumbrado alimentados por dinamos cuya energía era proporcionada por motores de gas o máquinas de vapor. Sin embargo, las pequeñas instalaciones de generadores para alumbrado en molinos que aprovechaban la energía gratuita de los saltos de agua tuvieron una buena acogida y en algunos casos permitieron la creación de pequeñas compañías eléctricas zonales como la Sociedad Hidroeléctrica de Valencia en el cauce del Serpis hasta Gandía y Oliva, la Pajarita en Alcira y su comarca y Electrohidráulica del Turia en Cuart y Manises.

Todas ellas vaticinaron el triunfo de la generación hidroeléctrica a gran escala frente a la de origen térmico y cumplieron su papel de sustituir el alumbrado de gas y petróleo por alumbrado eléctrico en la mayoría de poblaciones de la Comunidad Valenciana. Todas ellas sucumbieron en el proceso de concentración que se inició en los comienzos de siglo y que serviría entre otras cosas, para unificar la red de distribución.

La implantación de la energía eléctrica a escala industrial en la Comunidad Valenciana en su fase inicial siguió un patrón identificable en seis fases, de acuerdo a las condiciones socioeconómicas imperantes a finales del siglo XIX y principios del XX. Estas fases son:

1. Utilización de la electricidad para alumbrado como novedad tecnológica en ferias y exposiciones, así como elemento publicitario en comercios de Valencia.

2. Aprovechamiento de la energía sobrante de las máquinas de vapor que proporcionaban fuerza motriz a las factorías para generar energía eléctrica para el alumbrado propio, en modo autoconsumo.
3. Producción y distribución a pequeña escala, a partir de pequeños saltos de agua de la tupida red de acequias del campo valenciano y de los molinos de cereal que los aprovechaban, en los que se instalaban generadores de corriente continua. El destino de la energía eléctrica era el alumbrado de la localidad próxima al molino.
4. Salto a la producción y distribución a media escala a partir del invento del transformador y de la introducción consiguiente de la corriente alterna, junto con la explotación de los saltos de agua de los ríos valencianos mediante obras civiles de cierta envergadura.
5. Crecimiento y especialización de la industria eléctrica entre empresas generadoras, intensivas en capital y poseedoras de los grandes saltos de agua, y empresas distribuidoras, incapaces del autoabastecimiento y dependientes de aquellas para obtener la energía comercializada a sus clientes.
6. Consolidación de las empresas del sector hasta desembocar en un régimen monopolístico, liderado por Hidroeléctrica Española

7. Referencias bibliográficas.

Ardit, M. (1992). Burgesia urbana i patrimoni agrari: les propietats rústiques de Salvador Oliag i Canet (1858-1865). *Saitabi: revista de la Facultat de Geografia i Historia*, *N°. 42*, 7-18.

Arroyo, F. (2012). El sistema hidroeléctrico del Júcar y la electrificación madrileña. Globalización financiera, innovación técnica y construcción de redes técnicas urbanas en América y Europa, 1890-1930. Brazilian Traction, Barcelona Traction y otros conglomerados financieros y técnicos*. Simposio internacional Universidad de Barcelona.* Barcelona.

Barciela, L. C., & Carreras, A. (1989). *Estadísticas históricas de España: Siglos XIX-XX. Madrid: Volumen 1*. Fundación BBVA. Bilbao.

Bartolomé I. (2007). La industria eléctrica en España (1890-1936). *Estudios de Historia Económica N.º 50*

Furió, A. & Martínez, L. P. (2006). *El regadío tradicional de la Ribera Alta del Xúquer.* Departamento de Historia Medieval de la Universidad de Valencia. Valencia.

García Adán, J. C. & Diego Martín, Y. (2005). El Archivo Histórico de Iberdrola y la industria eléctrica en España: Fondos para la investigación Histórica. *Ponencia en Congreso de Historia Económica. Santiago de Compostela.*

Hidalgo, A. (2012), Competencia y colusión en el mercado eléctrico valenciano antes de la Guerra Civil. *Revista de Historia Industrial Núm. 48*, 81-117.

Jordá, R. M.. (1986). *La industria en el desarrollo del área metropolitana de Valencia*. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Valencia. Valencia.

Martínez, G. F.-A., Chust, C. M., & Hernández, G. E. (2001). *Valencia, 1900: Movimientos sociales y conflictos políticos durante la guerra de Marruecos, 1906-1914*. Universidad Jaime I. Castellón de la Plana.

Martínez, G. F.-A. (1995). *Desarrollo y crecimiento: La industrialización valenciana, 1834-1914*. Ed. Generalitat Valenciana. Valencia.

Martínez, G. J. (2009). *La producción industrial en el País Valenciano (1861-1920): Tirando del "hilo industrial"*. Fundación Ernest Lluch. Barcelona.

Muñoz, L. C., & Torres, M. (1954). *El monopolio en la industria eléctrica*. Ed. Aguilar. Madrid.

Riera S. (1988) La producció d'electricitat i la fabricació de maquinària. En: *"L'Exposició de 1888 i la Barcelona de fi de segle"*, Ayuntamiento de Barcelona, Barcelona.

Sánchez, I. J. C. (January 01, 1997). Rafael Gasset y la política hidráulica de la Restauración, 1900-1923. *Revista De Historia Económica - 15*, 2, 319-362. Madrid.

Sánchez, M. A. (2009). *La Industria Valenciana en torno a la Exposición Regional de 1909*. Tesis doctoral no publicada. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Serna, A. J., & Pons, A. (2011). L*os triunfos del burgués: Estampas valencianas del Ochocientos*. Tirant Humanidades. Valencia.

Sintes, O. F., Vidal, B. F., & Viñas, A. (1933). *La industria eléctrica en España: Estudio económico-legal de la producción y consumo de electricidad y de material eléctrico*. Ed. Montaner y Simón. Barcelona.

Sirera, M. C. (2008). *Cuando el fútbol no era el rey: Los deportes en el espacio público de la ciudad de Valencia (1875-1909)*. Universitat de València. Valencia.

Trénor L. (1900). Central de Lorcha. *Revista La Pequeña Industria - Revista popular de electricidad*. *Nº 1*. (Hemeroteca municipal de Valencia)

Uriarte E. (1949). La energía eléctrica en España. *Agenda Financiera del Banco de Bilbao Año 1949. Bilbao.*

05-041

APPLICATION OF ISO 50001 ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS IN THE UNIVERSITY OF GUADALAJARA

Martínez González, Daniel; Quintero Hernández, Luis Héctor; Ruelas Lepe, Rubén Universidad de Guadalajara

The steady increase in the price of conventional energy such as electricity and fuel, and insufficient energy management, increase energy costs in companies. In June 2011 the international standard ISO 50001 was published, whose purpose is to facilitate systems and processes to improve energy performance and reduce emissions of greenhouse gases and other environmental impacts. However it already has over 3 years of publication, the Standard has had limited use in Mexico, having very few certified companies; before this, and given the opportunity that the Standard provides, at the University of Guadalajara are taking action in three areas: 1) applied it as a tool to reduce their own energy costs, 2) training specialists and 3) integrate it as part of the program in Master in Technology Projects (based in engineering projects) to train students in the Standard. In this paper, we present results of the first phase of the implementation of the Standard at the University of Guadalajara and results of students of the Master in Technology Projects in their own companies.

Keywords: *Energy management; engineering projects; sustainable development*

LA APLICACIÓN DE LA NORMA ISO 50001 SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA, EN LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

El constante incremento en los precios de los energéticos convencionales como la electricidad y los combustibles y la insuficiente gestión energética, aumentan los costos energéticos en las empresas. En junio de 2011 se publicó la norma internacional ISO 50001, sobre sistemas de gestión de energía, cuyo propósito es facilitar a las organizaciones sistemas y procesos para mejorar su desempeño energético, así como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales. No obstante que ya tiene más de 3 años de publicada, la Norma ha tenido escasa utilización en México, habiendo muy pocas empresas certificadas; ante ello, y dada la oportunidad que la norma ofrece, en la Universidad de Guadalajara se están tomando acciones en tres vertientes: 1) aplicarla como una herramienta de reducción de sus propios costos energéticos, 2) capacitar especialistas y 3) integrarla como parte de la Maestría en Proyectos Tecnológicos (posgrado basado en la ingeniería de proyectos) para formar estudiantes en dicha norma. En este trabajo se presentan resultados de las primeras fases de la aplicación de la Norma en la Universidad y de los estudiantes de la Maestría en sus propias empresas.

Palabras clave: *Gestión energética; ingeniería de proyectos; desarrollo sustentable*

Correspondencia: Quintero, H. L. hectorquintero@yahoo.com

1. Introducción

El consumo de energía es una de las causas de emisión de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global; además, el uso energético tiene un impacto importante en los ámbitos social y económico.

La norma internacional ISO50001, Sistemas de gestión de la energía –Requisitos con orientación para su uso, fue publicada por la Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés) el 11 de junio de 2011 y adoptada en México como la norma equivalente NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011; esta norma orienta a las empresas de todo tipo y tamaño para implantar procedimientos que permitan mejorar su desempeño energético. Esta norma ha generado grandes expectativas en el sector productivo y en otros, porque permite reducir los costos energéticos a partir de un proceso sistemático que da certeza técnica y económica. Ofrece también beneficios adicionales como la consecuente reducción de contaminantes y la mejora de la imagen de la organización; incluso el que empresas ya certificadas exijan a sus proveedores su propia certificación.

No obstante las ventajas de la ISO50001, en México son escasas las empresas certificadas; en este contexto la Universidad de Guadalajara (UdeG) está tomando acciones para aprovechar y fomentar su aplicación en tres aspectos: la reducción de sus propios consumos y costos energéticos, formar especialistas en gestión energética a través de esquemas de educación continua y abierta, e integrarla en la Maestría en Proyectos Tecnológicos como una asignatura en la oferta educativa escolarizada.

Como organización pública, la UdeG atiende actualmente a casi 260.000 alumnos constituyéndose en la segunda universidad más grande de México. Es además sobresaliente por la cobertura geográfica en el Estado de Jalisco (la cuarta entidad federativa con mayor población del país), al abarcar 109 municipios que contienen el 98.7% de la población de dicho Estado (Bravo, 2015). La Universidad está constituida por 8 Centros Universitarios en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), 8 Centros Regionales en el resto del Estado, 60 escuelas de bachillerato en el sistema de educación media superior, además de otros espacios como la biblioteca más grande de México. Una infraestructura tal implica un consecuente consumo de energía para su operación, que en 2014 fue de casi 44GWh en electricidad.

Por su parte, Jalisco es la cuarta entidad federativa que más contribuye al producto interno bruto (PIB) nacional dado su desempeño económico en los sectores Primario donde fue el de mayor PIB aportado, Secundario como el sexto y Terciario siendo el cuarto de mayor contribución. A diferencia de las tres primeras entidades federativas de acuerdo al PIB, Jalisco se distingue por empresas pequeñas y medianas que disemina el consumo de energía, lo que exige ofrecer servicios para la implantación de la ISO50001 con un enfoque más particular. Lo anterior brinda a la UdeG la oportunidad de impartir cursos especializados para abordar las diferentes fases que implica la norma, en un mercado que se espera cada vez más demandante.

Dada la importancia que tienen los aspectos ambientales relacionados con el uso de la energía, diversas instituciones educativas mexicanas ofrecen programas en los niveles de pregrado y posgrado; el Centro Universitario de Tonalá de la UdeG tiene en su oferta las carreras de Ingeniero en Energía, Master y Doctor en Agua y Energía, pero sin integrar lo referente a la ISO50001. Tomando en cuenta la estructura de la norma y su compatibilidad con otras normas ISO, se hacen evidente un acercamiento multidisciplinario para implantarla; la Maestría en Proyectos Tecnológicos, basada en la disciplina de la ingeniería de proyectos, comenzó a ofrecer una asignatura para la formación de auditores internos en

ISO50001 a partir de 2015, en que los alumnos además de cubrir sus créditos podrán obtener su certificación.

En este trabajo se describe el estado general del consumo de electricidad en la UdeG, haciendo un análisis del que se desprenden algunos indicadores para evaluar el desempeño energético a partir de un Sistema de Gestión de Energía (SGEn) basado en la ISO50001, con el complemento de una caso de estudio para mostrar la metodología seguida. Asimismo, se presenta la primera oferta para la formación de auditores internos en ISO50001 abierta al empresas de la región occidente del país y que tomarán también alumnos de la Maestría en Proyectos Tecnológicos.

2. Objetivos

La UdeG ha estado llevando a cabo un programa de sustentabilidad de índole ambiental y calidad de vida para la comunidad universitaria, de donde surge la necesidad de un sistema de gestión energética. El trabajo que aquí se presenta tiene los siguientes objetivos:

- Mostrar el proceso de diseño de un sistema de gestión energética basado en la norma ISO50001, a partir de una primera etapa consistente en la revisión del consumo general de electricidad en la Universidad y de un caso de estudio en el Departamento de Ingeniería de Proyectos en que se pretende obtener la certificación.
- Presentar el primer curso especializado para formar auditores internos en ISO50001, que la Universidad ofrece tanto a estudiantes de la Maestría en Proyectos Tecnológicos, como a personal de empresas de la región.

3. Metodología

La ISO50001 se basa en el ciclo de mejora continua Planificar-Hacer-Verificar-Actuar; la UdeG se encuentra apenas en la etapa de planificación que consiste en lograr el compromiso de la alta dirección con el SGEn, la evaluación del desempeño energético, el establecer objetivos y metas, y crear planes de acción (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [CONUEE], 2014). Este trabajo describe los avances respecto al compromiso con el SGEn y la evaluación del desempeño energético.

3.1 Compromiso con el SGEn

Es fundamental el interés y la participación de la Alta Dirección para el éxito del SGEn, lo que debe sustentarse en 4 pasos (CONUEE, 2014):

1. Designar un representante de la dirección.
2. Establecer un equipo de gestión de la energía.
3. Definir y escribir una política energética.
4. Definir el alcance y límites del SGEn.

3.2 Evaluación del desempeño energético

En esta etapa se debe definir el uso que se da a la energía, la cantidad que se consume según el tipo de energético, la intensidad energética y las acciones para mejorar la situación. Evaluar el desempeño energético implica que la organización analice sus consumos energéticos e identificar variables significativas que influyan en el uso y consumo; de este modo se podrán establecer Líneas de Base para posteriormente evaluar las acciones tomadas.

Por el tamaño de la organización, la cobertura por niveles educativos (bachillerato, pregrado y posgrado) y su distribución geográfica que se compone de hasta 263 dependencias universitarias consumidoras de energía dispersas en Jalisco, se está siguiendo un proceso muy particular consistente en hacer una evaluación a nivel general y realizar un proyecto piloto (caso de estudio) para usar y probar métodos que puedan luego aplicarse al resto de la Red Universitaria.

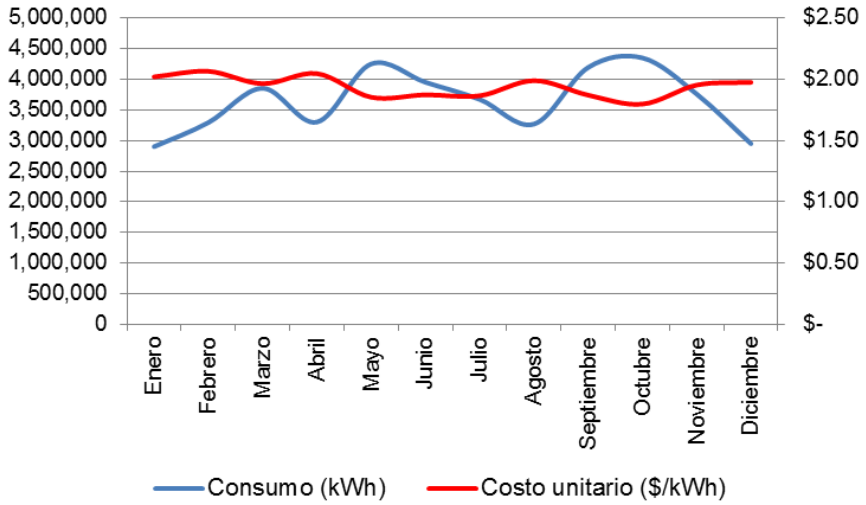
La matriz energética de la UdeG se compone de electricidad, gasolina para sus vehículos y combustibles para laboratorios, cocinas, etc. La disponibilidad actual de información permite de momento hacer la revisión sólo del consumo de electricidad; en efecto, al ser la Comisión Federal de Electricidad el único suministrador y que el pago total se hace desde la Dirección de Finanzas central, se dispone de la información de cada dependencia. No es el caso de los otros energéticos, cuyo pago se hace de manera individual y todavía no se han recabado los datos por la dispersión de la red universitaria.

La revisión del consumo de electricidad implica conocer:

- La tarifa eléctrica.
- El consumo de electricidad total y, en su caso, en los diferentes periodos en tarifa horaria.
- Costo de la electricidad.

Durante el 2014, la UdeG consumió un total de 43,8GWh con un promedio mensual de 3,6GWh, y un costo total de casi 85 millones de pesos mexicanos (unos 5,7 millones de dólares). La figura 1 muestra dicho comportamiento, incluyendo el costo unitario de la electricidad que se ubicó alrededor de $2/kWh (0,13 dólares/kWh).

Figura 1: Consumo y costo de la electricidad en la Universidad de Guadalajara (2014)



Nota: el costo se expresa en pesos mexicanos.

La UdeG recibe electricidad en 4 tarifas con hasta 263 usuarios; la Tabla 1 muestra la clasificación tarifaria de los usuarios universitarios, además de su representatividad en el consumo y costo totales; las tarifas 02 y 03 se suministran en baja tensión y son para uso comercial, mientras las OM y HM son comerciales pero en media tensión para servicios ordinario y horario respectivamente.

Dado el gran número de usuarios se ha considerado hacer un análisis de Pareto para identificar las dependencias universitarias que más energía consumen, lo que se ilustra en la Figura 2. Los acrónimos aquí usados quieren decir Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI), Centro Universitario de Ciencias Económico y Administrativas (CUCEA), Centro Universitario de la Costa (CUCOSTA), Centro Universitario del Sur (CUSUR) y Centro Universitario de Ciencias de la Salud (CUCS); el Edificio Administrativo es la sede de la Rectoría y Administración general.

Por su parte, la Figura 3 ilustra el comportamiento anual de las 7 dependencias mencionadas, observándose el perfil de consumo aunque con valles y picos más marcados en algunos casos; el CUCOSTA (con sede en Puerto Vallarta, México) por ejemplo, tiene un consumo similar a CUSUR y CUCS en meses de invierno (enero y diciembre), pero el resto de año presenta un incremento importante ocupando en octubre el segundo lugar en consumo; lo anterior puede estar asociado al uso de equipos de aire acondicionado dada su ubicación geográfica pero requiere un diagnóstico energético para determinar las causas.

Con la información disponible y procesada hasta el momento, es posible comenzar a elaborar indicadores adicionales de desempeño energético (además del costo unitario mostrado en la Figura 1 y en la Tabla 1), siendo éstos el índice de consumo eléctrico por alumno (kWh/alumno) y el índice de costo de electricidad por alumno ($/alumno). La Figura 4 contiene tales indicadores elaborada sólo con las dependencias que atienden directamente estudiantes, así como la propia Universidad para establecer una referencia comparativa.

Un análisis de Pareto permite priorizar acciones encaminadas a mejorar la situación energética de la organización, al distinguirse dónde se consume más energía.

La evaluación del desempeño energético requiere un diagnóstico energético en las dependencias universitarias, para conocer la situación energética de los diferentes equipos y sistemas, averiguar cómo se compra y utiliza la energía, dónde se usa y con qué rendimiento; además, el diagnóstico permite establecer el costo de las diferentes formas de energía empleadas y los puntos donde se utiliza de forma deficiente. La información que proporciona el diagnóstico es esencial para establecer proyectos sobre conservación de energía; la manera en que dicha información se recopila depende del tamaño de la instalación y de la complejidad de las operaciones y procesos que en ella se realizan.

El caso de estudio que se presenta enseguida se basa en un diagnóstico energético en el Departamento de Ingeniería de Proyectos entendiendo que si bien el diagnóstico es una herramienta necesaria, no aseguran el éxito por no tenerse todavía en la organización una estructura administrativa que consolide las medidas de ahorro aplicadas.

Tabla 1: Consumo y costo eléctrico según las tarifas en la Universidad de Guadalajara (2014)

Tarifa	Usuarios	Consumo		Costo		Indicador
		kWh	%	$ (mex)	%	$/kWh
02	63-110	2 672.964	6,1	8 099.714	9,6	3,03
03	9	314.076	0,7	1 044.145	1,2	3,32
OM	90-95	7 988.334	18,2	17 138.337	20,3	2,15
HM	46-49	32 796.127	74,9	58 290.814	68.9	1,78
Total	208-263	43 771.501	100,00	84 573.009	100,00	1,93

Figura 2: Diagrama de Pareto parcial con las dependencias de mayor consumo de electricidad en la Universidad de Guadalajara (2014)

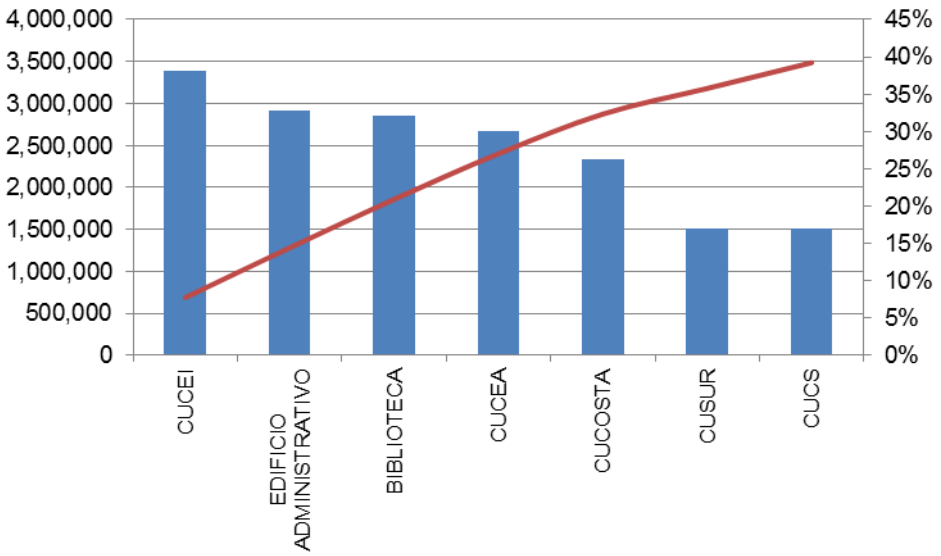


Figura 3: Consumo de electricidad de la 7 dependencias universitarias con mayor consumo en la Universidad de Guadalajara (2014)

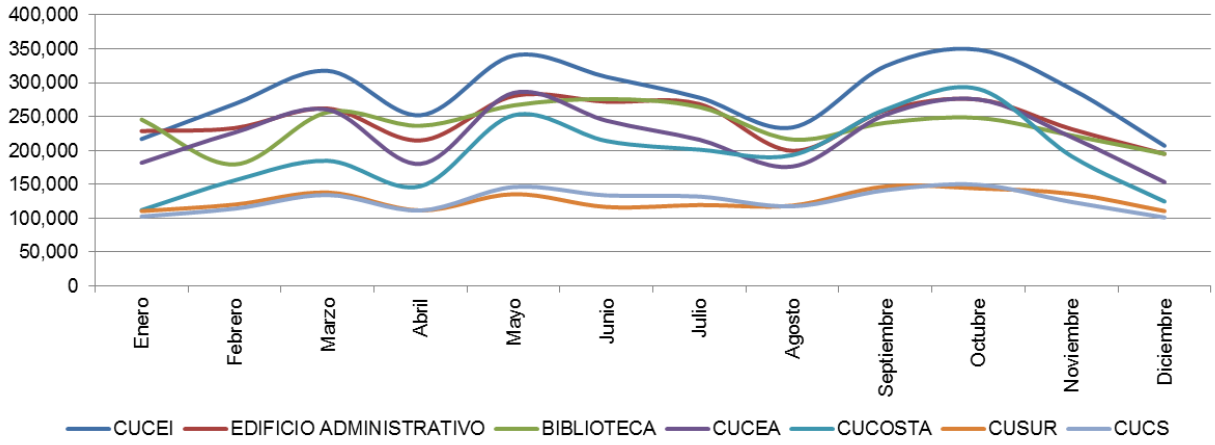
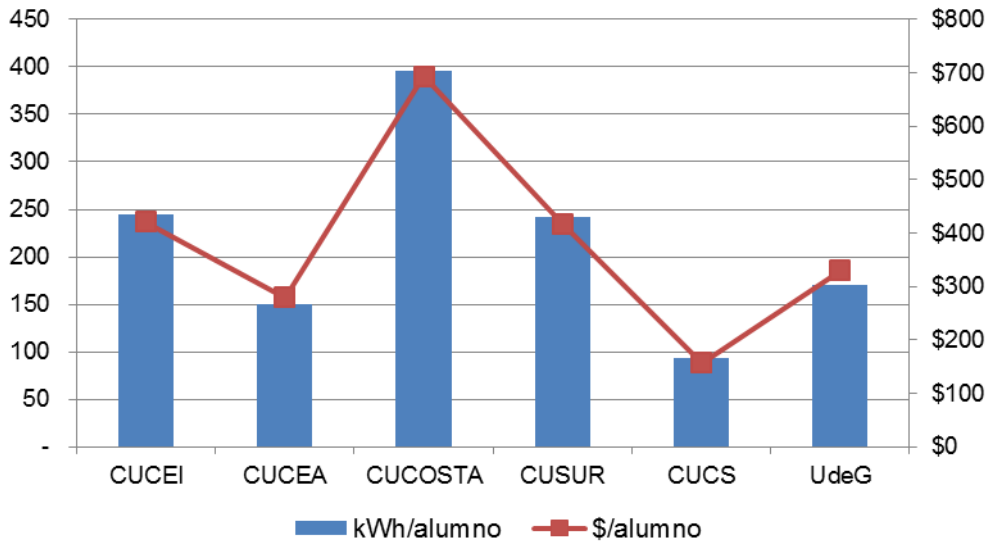


Figura 4: Indicadores de consumo y costo de electricidad por alumno en los centros universitarios con mayor consumo en la Universidad de Guadalajara (2014)



4. Caso de estudio

El proyecto piloto se desarrolla en el Departamento de Ingeniería de Proyectos (DIP), que alberga además al personal académico a cargo del SGEn de la Universidad.

El DIP desarrolla actividades de investigación y docencia, ofreciendo también servicios al sector productivo. Se basa en tres líneas de generación y aplicación del conocimiento que son Ingeniería Ambiental, Ingeniería de Manufactura y Ciencia de Materiales; ofrece los posgrados en Ciencia de Materiales (maestría y doctorado) y Proyectos Tecnológicos (maestría), y alberga la Incubadora de Empresas de Base Tecnológica de la UdeG.

Además, la Maestría en Proyectos Tecnológicos con sede en el DIP, es el único posgrado de la UdeG (y quizá en México) que ofrecerá a sus alumnos la opción de certificarse en ISO50001. También, en los servicios de educación continua y abierta, el DIP estará ofreciendo un programa de formación de auditores internos en ISO50001.

LO que se presenta en este caso de estudio es el avance en el establecimiento de un SGEn conforme ISO50001, pero en las primeras etapas que son el compromiso de la dirección y la evaluación del desempeño energético, pero este último con un diagnóstico realizado.

4.1 Compromiso de la Dirección

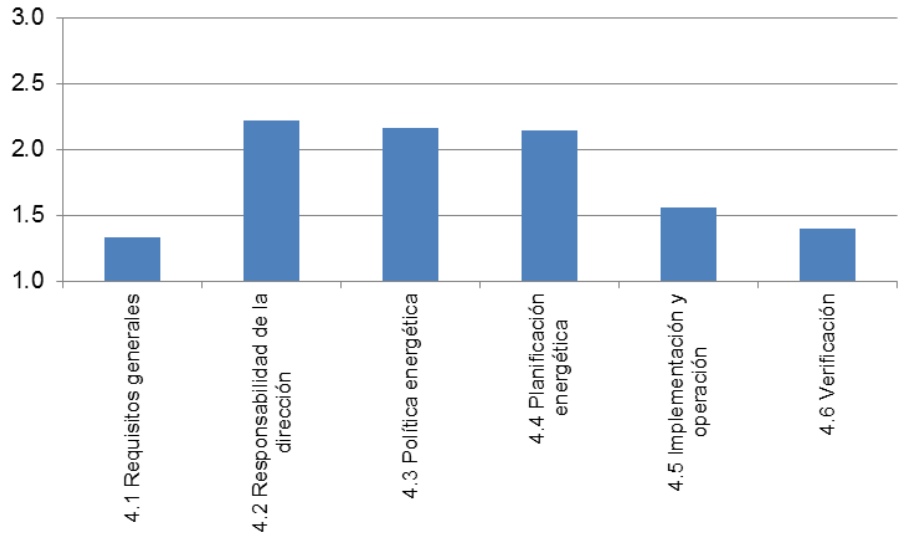
En el DIP ya se ha formalizado la designación de un responsable y su equipo de gestión energética conformado por personal interno y externo, incluso estableció una política energética que está llevándose a cabo; además se cuenta con instrumentación e infraestructura suficiente para atender los requisitos de la ISO50001. El alcance del SGEn abarca el consumo de electricidad y, en este caso, gasolina que conforman prácticamente la totalidad de su matriz energética.

4.2 Evaluación energética

Se realizó un análisis de brecha para evaluar el estado actual de organización respecto al cumplimento de los requisitos de la ISO50001, cuyo proceso consistió en una serie de

cuestionamientos hacia los responsables e involucrados en el SGEn (Campos, 2013). La Figura 5 muestra el resultado de dicho análisis.

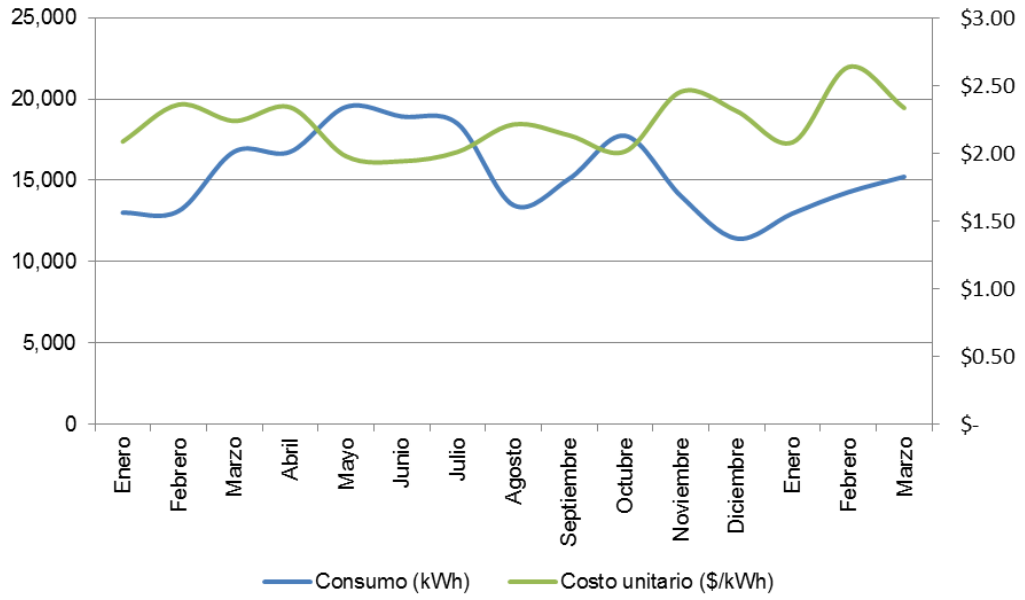
Figura 5: Brecha para el cumplimiento de los requisitos de la ISO50001 en el Departamento de Ingeniería de Proyectos



Nota: la escala numérica se asigna como 1 (no cumple), 2 (en proceso) y 3 (cumple).

Respecto al consumo histórico de electricidad, en este caso se ha podido recabar y procesar información de 2014 y hasta marzo de 2015; con ello se elaboró la Figura 6 que ilustra el consumo y costo de la energía.

Figura 6: Consumo y costo de la electricidad en el Departamento de Ingeniería de Proyectos



Nota: el costo se expresa en pesos mexicanos.

Es interesante observar que el costo unitario tiene una tendencia a incrementarse desde finales de 2014 y los primeros meses de 2015, lo que se ha asociado a la puesta en marcha de una planta recicladora de plásticos en la Incubadora de Empresas, pero que además ha tenido operación en periodo punta (el DIP se encuentra en tarifa HM).

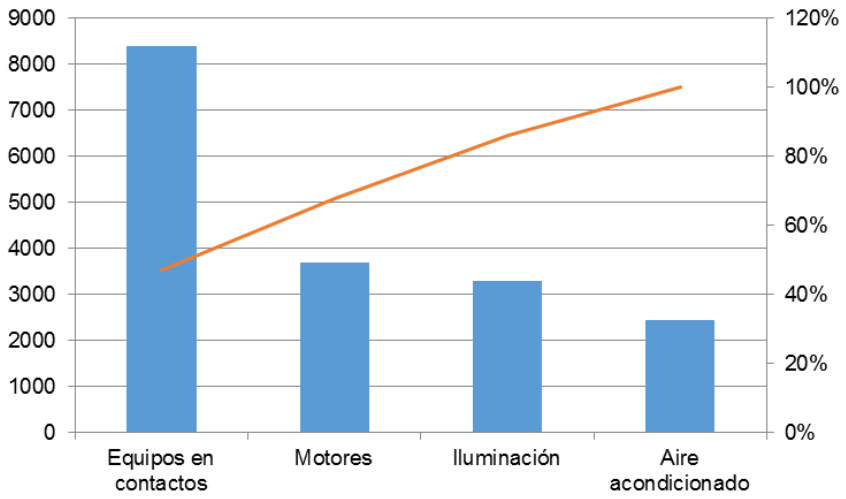
El DIP no es un edificio muy grande, con menos de 6000m^2 de superficie construía; no obstante se procuró una zonificación congruente con las principales áreas, como son la administrativa, aulas, cubículos de investigadores, laboratorios, empresas incubadas, comunes, etc.

Posteriormente se hizo un censo de cargas distinguiendo las siguientes:

- Iluminación.
- Equipos conectados a contactos.
- Equipos de aire acondicionado.
- Equipos de fuerza motriz.

La Figura 7 presenta el diagrama de Pareto de los sistemas consumidores de electricidad.

Figura 7: Diagrama de Pareto del consumo de electricidad en el Departamento de Ingeniería de Proyectos de la Universidad de Guadalajara



El hecho de que en un edificio universitario, la iluminación no sea tan significativa puede obedecer, por un lado, a que se han tomado acciones para remplazar los sistemas obsoletos incorporando equipos más eficientes pero, por otro, a los niveles de iluminación; en efecto, se ha detectado que sólo dos aulas y la biblioteca tienen niveles adecuados de iluminación, por lo que en el proceso de ajuste se incrementará el consumo de electricidad.

La importancia que tienen los equipos conectados a contactos eléctricos, se explica en que existen muchas computadoras, refrigeradores, equipos en laboratorios, etc.

5. Resultados

De acuerdo a la metodología descrita con anterioridad, los resultados alcanzados hasta el momento se concentran en el compromiso hacia el SGEn y la evaluación del desempeño energético.

La UdeG ha constituido el Programa de Universidad Sustentable, dependiente directo de la Rectoría General y que manifestó su interés en establecer un SGEn, dando certeza y respaldo. Se solicitó un estudio de viabilidad de dicho sistema, aportando recursos económicos y materiales para ello para iniciar en mayo de 2015 diagnósticos energéticos en las dependencias universitarias más representativas.

El Departamento de Ingeniería de Proyectos por su parte ha también dado el apoyo al sistema, con los primeros pasos concretos para la certificación ISO50001. Además se ofrecerá un programa de Formación de Auditores Internos respaldado por la empresa ICONTEC Internacional para certificar a estudiantes de la Maestría en Proyectos Tecnológicos y asistentes de empresas de la región.

El análisis del consumo energético en la UdeG ha permitido conocer la tendencia y los costos energéticos asociados, pudiendo identificar en este primero momento las principales dependencias consumidoras lo que dio ya respaldo para iniciar una evaluación más detallada mediante diagnósticos energéticos.

La metodología utilizada permite también identificar áreas de oportunidad específicas para reducir los costos energéticos y que no se habían observado porque no había ni una persona siquiera que revisara la facturación eléctrica, limitándose sólo a pagar.

5. Conclusiones

Este trabajo permite obtener las siguientes conclusiones:

- La norma internacional ISO50001 se constituye como una herramienta eficaz para mejorar el desempeño energético de cualquier organización; en el caso de la Universidad de Guadalajara que se considera una gran “empresa” por su tamaño, el inicio de un sistema de gestión energética constituye un reto importante dada la cantidad y dispersión de “empresas universitarias” grandes, medianas y pequeñas.
- Lograr el compromiso de las autoridades universitarias, tanto a nivel general como en el caso de estudio, fortalece el proceso para implantar un SGEn en la Universidad de Guadalajara.
- El análisis de brecha respecto a la ISO50001 es también una manera muy útil para saber qué tan lejos se está del cumplimiento de los requisitos y enfocar mejor los esfuerzos.
- La metodología que se está siguiendo en el Departamento de Ingeniería de Proyectos podrá ajustarse fácilmente para replicarla en la Universidad de Guadalajara.

5. Referencias

Bravo, T. I., (2015). Informe de actividades 2014-2015. *Universidad de Guadalajara*.

Campos, J. C., Prias, O., (2013). *Implementación de un sistema de gestión de la energía*. Colombia: Programa Estratégico Nacional.

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2014). Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía. México, D.F.: Secretaría de Energía.

05-042

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF BIOMASS INTEGRATION INTO INDUSTRIAL PARKS. ENERING LIFE + PROJECT AS A CASE STUDY

García-Cascales, M. Socorro [1]; Molina-Garcia, Ángel [1]; García Sanchez, Tania [2]; Paredes, José Miguel [3]

[1] Universidad Politécnica de Cartagena, [2] Universidad de Castilla la Mancha, [3] Centro tecnológico del medioambiente

Along the last decade, the energy interests of most industrialized countries have focused mainly on a reduction of emissions of greenhouse gases, along with a series of policies focused on the promotion of renewable sources decreasing the energy dependence with third countries. Within these uses of natural resources, this paper aims to analyze from an environmental and economic impact that involves the integration of biomass into industrial parks to provide cold/heat for industrial processes. Specifically, we have developed a study from the point of view of economic and environmental advantages would the use of indigenous biomass to reduce electricity demand in the industrial sector, especially in those procedures that have remarkable needs for cold/heat. This analysis includes the case study developed under the European project Enering Life +, real example of integration of this resource. Results of socio-economic and environmental impact of this real case and its extrapolation to the industrial sector of the Region of Murcia are also included in this paper.

Keywords: *Industrial parks; Biomass; Economic and enviromental impact*

ANÁLISIS ECONÓMICO Y MEDIOAMBIENTAL DE INTEGRACIÓN DE BIOMASA EN POLÍGONOS INDUSTRIALES. EL PROYECTO ENERING LIFE+ COMO CASO PRÁCTICO

A lo largo de la última década, los intereses energéticos de la mayoría de países industrializados se han centrado principalmente en una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, junto con una serie de políticas centradas en la promoción de fuentes renovables con las que atenuar la dependencia energética con terceros países. Dentro de estas medidas de aprovechamiento de fuentes naturales, este artículo tiene por objetivo analizar desde el punto de vista medioambiental y económico el impacto que supone la integración de biomasa dentro de polígonos industriales para la obtención de frío/calor industrial. En concreto, se ha desarrollado un estudio desde el punto de vista económico y medioambiental de las ventajas que supondría el aprovechamiento de la biomasa autóctona con el fin de reducir la demanda eléctrica del sector industrial, sobre todo en aquellos procedimientos que poseen necesidades de frío/calor. Este análisis incluye el caso práctico desarrollado al amparo del proyecto europeo Enering Life+, ejemplo real de integración de este recurso para la obtención de frío industrial. Resultados esperados de impacto socio-económico y medioambiental de este caso real, así como su extrapolación al tejido industrial de la Región de Murcia son también incluidos en el presente artículo.

Palabras clave: *Polígonos Industriales; Biomasa; Impacto Socio-Económico y Medioambiental*

Correspondencia: Mª del Socorro García-Cascales socorro.García@upct.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado con fondos europeos del programa LIFE + mediante el proyecto (LIFE-11-ENV-ES-542) y agradecer a todos los socios del proyecto INFO, CETENMA, CTCON, COIIRM, UPCT y así como a la empresa DIEGO Zamora S.A.

1. Introducción

Las soluciones basadas en fuentes de naturaleza renovable suponen en la actualidad un elemento fundamental asociado a tecnologías de baja emisión para el suministro energético mundial; ganando terreno rápidamente y respaldadas por financiaciones públicas que ascienden globalmente a $120 mil millones en 2013. Así, y a tenor de la creciente reducción de costos y del apoyo gubernamental continuado, las energías renovables representarán casi la mitad del aumento en la generación total de electricidad para 2040. La cuota de participación de fuentes renovables en la generación de energía se ve más incrementada en los países de la OCDE, con un 37%, y un crecimiento equivalente a la totalidad del aumento neto en el suministro eléctrico de la OCDE. Este crecimiento de generación de energías renovables es más del doble que el medido en países no pertenecientes a la OCDE, encabezados por China, India, América Latina y África. Así, a nivel mundial, las aportaciones de energía eólica suponen la mayor parte del crecimiento en la generación basada en energías renovables (34%), seguido de la energía hidroeléctrica (30%) y energía solar (18%). Considerando que la cuota eólica y solar fotovoltaica en el mix energético mundial se verá cuadriplicada, su integración, tanto desde una perspectiva técnica y de mercado emerge como un importante reto, con integración de eólica de hasta un 20% de la generación total de electricidad en la Unión Europea y con una participación de la energía solar fotovoltaica del 37% de la demanda máxima en Japón durante los meses estivales (IEA,2014a). Este aumento en la capacidad de generación eléctrica se ha sustentado en una clara apuesta por las inversiones públicas, previendo una inversión en torno al 54% para instalaciones convencionales y el resto de fuentes renovables excluyendo las hidráulicas para el período hasta 2035 (IEA,2014b). Todo ello supondrá una importante disminución de los gases de efecto invernadero a tenor de la implantación de soluciones que eliminan estas aportaciones, tal y como se recoge a nivel mundial en la Figura 1.

En paralelo con el desarrollo tecnológico y las soluciones que puedan adoptarse e integrarse, el comportamiento del sector eléctrico está regulado por un conjunto de políticas y normativas de conexión que inciden sobre todos los agentes del sector: productores, consumidores, inversores y demás partes interesadas. Por este motivo, y con el fin de desarrollar eficazmente tanto normas como requerimientos, los responsables políticos han de poseer información precisa y actualizada sobre los factores que influyen en las inversores relativas a nuevas plantas de generación. De igual manera, un conocimiento económico y de rentabilidad debe ponerse en manos de los clientes privados potenciales, para favorecer la incorporación de fuentes renovables con las que disminuir las necesidades de demanda eléctrica. Sin embargo, existen lagunas en cuanto a datos y a información de carácter económico vinculados a la evolución de las energías renovables, especialmente cuando se comparan con tecnologías no renovables (Mostajo,2013). Más aún, no resulta fácil encontrar respuesta de una manera contrastada de la repercusión económica y el impacto de las renovables a la luz de casos prácticos reales, en muchas ocasiones porque son todavía pocos los ejemplos que sobre ello se tienen, aunque se cuentan con numerosos estudios y escenarios simulados. Dentro de este escenario, el presente artículo describe un caso real de implantación de biomasa como fuente de obtención de frío/calor en procesos industriales, incluyendo un análisis medioambiental y económico del caso de estudio y extrapolando los resultados a polígonos industriales donde las necesidades de frío/calor asociados a procesos suponen un alto porcentaje de la demanda eléctrica global.

Figura 1: Demanda energética mundial y perspectivas futuras

	1990	2000	2012*	2020	2025	2030	2035	2012-2035**
Oil	3 231	3 663	4 158	4 469	4 545	4 600	4 666	0.5%
Gas	1 668	2 072	2 869	3 234	3 537	3 824	4 127	1.6%
Coal	2 230	2 357	3 796	4 137	4 238	4 309	4 398	0.6%
Nuclear	526	676	642	869	969	1 051	1 118	2.4%
Hydro	184	225	313	391	430	466	501	2.1%
Bioenergy***	893	1 016	1 318	1 488	1 598	1 718	1 848	1.5%
Other renewables	36	60	142	311	432	566	717	7.3%
Total (Mtoe)	**8 769**	**10 070**	**13 240**	**14 899**	**15 749**	**16 534**	**17 376**	**1.2%**
Fossil fuel share	*81%*	*80%*	*82%*	*79%*	*78%*	*77%*	*76%*	*n.a.*
Non-OECD	4 047	4 506	7 606	9 019	9 859	10 623	11 406	1.8%
OECD	4 522	5 292	5 271	5 478	5 461	5 455	5 484	0.2%
CO_2 emissions (Gt)	**20.9**	**23.7**	**31.5**	**34.3**	**35.4**	**36.2**	**37.2**	**0.7%**

* 2012 data are preliminary estimates. ** Compound average annual growth rate. *** Includes traditional and modern biomass uses. Notes: Mtoe = million tonnes of oil equivalent; Gt = gigatonnes; Non-OECD and OECD totals exclude international bunkers.

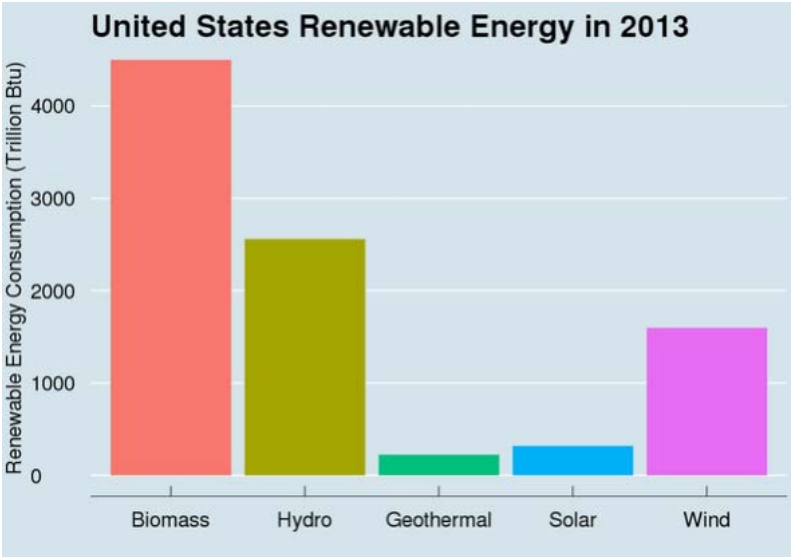
Fuente: International Energy Agency (2014b), World Energy Investment Outlook 2014, https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEIO2014.pdf

2. Biomasa como Solución Renovable

Dentro de las distintas posibilidades existentes en la actualidad de integración de fuentes renovables para disminuir las emisiones y reducir la dependencia energética, el uso de biomasa como combustible sustitutivo de fuentes convencionales ha alcanzado cierta relevancia, ayudado tanto por la diversidad de vegetación y cultivos que pueden utilizarse como por las posibilidades de emplear esta fuente renovable en plantas ya existentes y que en la actualidad son alimentadas mediante carbón (Cuellar, 2009). En cualquier caso, la baja penetración de la biomasa en el mercado eléctrico se debe sobre todo a razones económicas. En general, la biomasa resulta más costosa que el carbón y además presenta rendimientos más bajos que las mismas plantas alimentadas con carbón.

Actualmente, el mercado de la biomasa a nivel global representa en torno al 5% del uso total de la energía en países industrializados, incluyendo los biocarburantes y el uso de pellets (Vakkilainen,2013). En estos países, se utiliza la biomasa para aplicaciones industriales como fuente calorífica, de generación de electricidad y en el transporte por carretera, así como para calefacción en el sector privado. En 2009, alrededor del 13 % del uso de la biomasa tuvo como finalidad la generación de calor y electricidad, mientras que el sector industrial demandó el 15% y el sector de transporte un 4%. La Figura 2 presenta un resumen desglosado y actualizado a 2013 de las fuentes energéticas renovables referidas a Estados Unidos, donde emerge la biomasa como una de las fuentes de mayor aportación en la actualidad.

Figura 2: Desglose de fuentes energéticas renovables

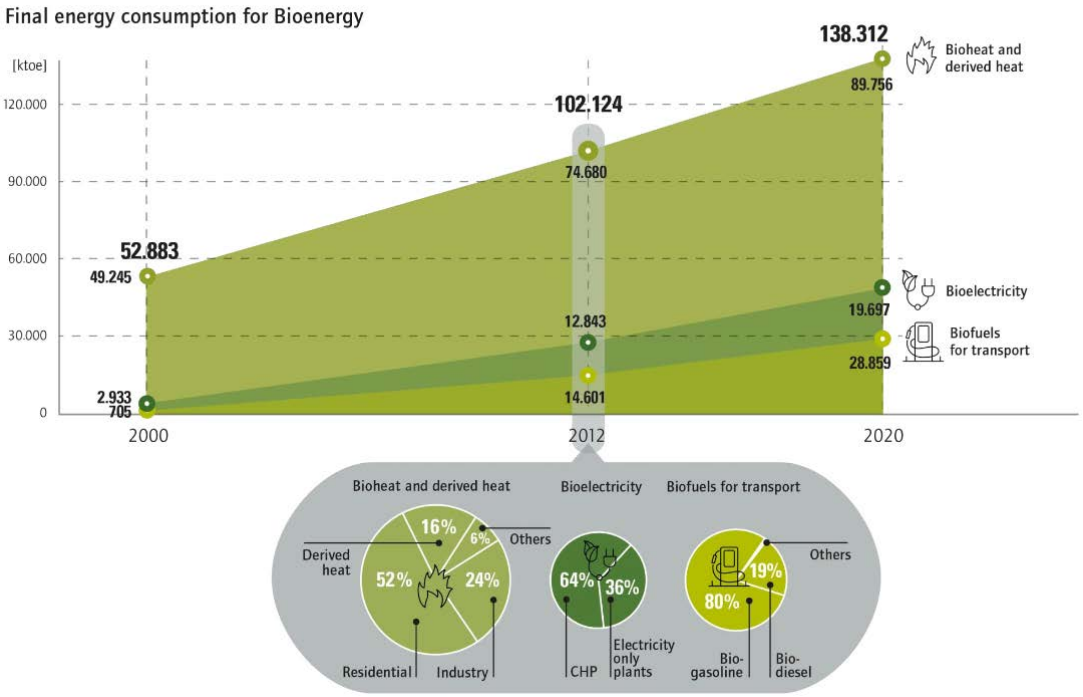


Fuente: The Energy Collective 2014; http://theenergycollective.com/robertwilson190/370286/biomass-worlds-biggest-provider-renewable-rnergy

En cuanto al desglose de biomasa por usos finales de la misma, indicar que en la actualidad la mayor parte de la misma se destina a uso residencial. Su aportación a nivel industrial, bien como fuente generadora de electricidad o bien como fuente de aportación de calor, se encuentra en una proporción mucho menor, aunque se espera que la bioenergía aumente considerablemente su cuota de participación en un futuro a corto plazo, ver Figura 3. En el sector energético industrial, los países de mayor uso de la biomasa son Brasil con un 16% del uso mundial en el sector, Estados Unidos (9%) y Alemania (7%). De hecho, los 15 países de mayor integración de biomasa aglutinan el 65% del uso global. Entre estos países, hay varios en vías de desarrollo, siendo en ellos necesario unas estimaciones externas debido a la falta de estadísticas oficiales internas. Por ejemplo, en el Congo, Nigeria y Tanzania se estima que el uso de biomasa para estar cerca de 90% del consumo total de energía.

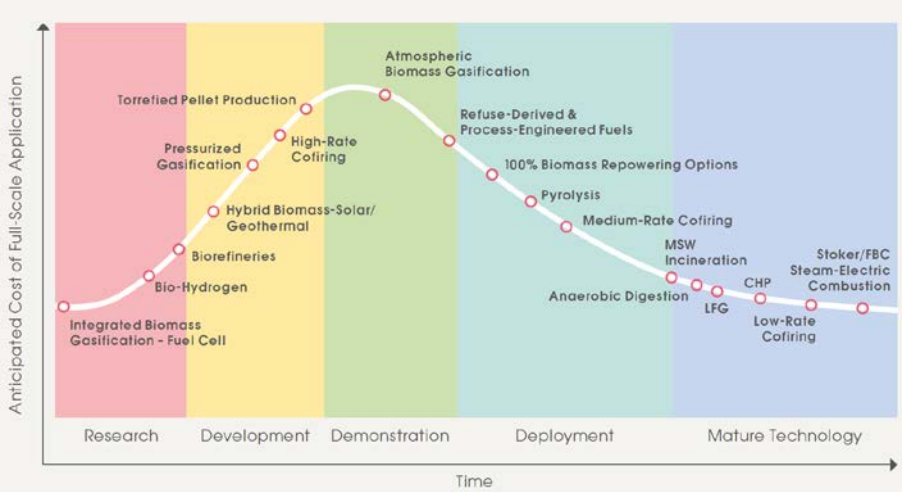
Finalmente, indicar que son varias las tecnologías de aprovechamiento de biomasa como fuente de generación de potencia, tanto eléctrica como calorífica. Muchas de ellas todavía en estudio y que no han sido transferidas a la sociedad como solución comercial accesible. En este sentido, la Figura 4 muestra un esquema representativo del estado de las tecnologías asociadas con la biomasa y las amplias posibilidades que esta fuente proporciona.

Figura 3: Evolución de Bioenergía



Fuente: europeAn bioenergy Outlook 2014; http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/2014/11/Presentation-Statistical-Report-2014.pdf

Figura 4: Madurez de tecnologías de generación de potencia a través de biomasa



Fuente: EPRI (2011)

3. El Proyecto ENERING Life+

El proyecto Enering, financiado por la Unión Europea dentro del Programa Life+ con referencia LIFE-11-ENV-ES-542, supone una propuesta demostrativa y real de integración de fuentes renovables en polígonos industriales. En concreto, se ha realizado una experiencia piloto aprovechando los recursos solar y de biomasa con el fin de disminuir la demanda eléctrica de las instalaciones del Grupo Diego Zamora ubicadas en Cartagena (Murcia). En concreto, se ha implementado una instalación solar fotovoltaica de 100 kWp y un sistema de refrigeración por absorción con el fin de suministrar las altas necesidades de climatización existentes en la planta donde se fabrican y almacenan licores cuyos requisitos de temperatura son críticos (García-Cascales, 2014).

El sistema de absorción permite cubrir las necesidades de refrigeración de los procesos de fermentación y maceración en frío (por debajo de 0ºC), con un total de 352 kW de capacidad de refrigeración y alimentado el sistema a través de la biomasa propia de la zona. En cuanto a las disminuciones de demanda eléctrica, ésta se sitúa en torno al 70%-80% mediante la integración de biomasa como fuente de generación eléctrica y también como apoyo calorífico en parte del proceso industrial.

En cuanto a la reducción de demanda eléctrica y por ende la reducción de emisiones de efecto invernadero, si asumimos una demanda promedio de energía diaria en torno a 1 MWh, esto supondría más de 300 MWh por año. Además, las reducciones de demanda pueden incluso ser más relevantes en las horas pico y los meses estivales, coincidiendo el período donde el sistema es más productivo con las demandas de energía más altas. En términos de ahorro de CO_2, y considerando una producción de CO_2 de 0,523 kg/kWh, se estima que la solución propuesta podría ahorrar en torno a 150 Toneladas de CO_2/año. La Figura 5 muestra las instalaciones sobre las que se ha llevado a cabo la integración de biomasa así como la recepción de la máquina de absorción a su llegada a las instalaciones.

Figura 5: Proyecto Enering Life+, Instalaciones y máquina de absorción Thermax LT10

Fuente: Elaboración propia

4. La Región de Murcia. Caso de Estudio

A partir de los resultados obtenidos en el proyecto anteriormente comentado, se ha realizado un estudio general para la Región de Murcia en su conjunto, extrapolando los datos de disponibilidad de biomasa autóctona y estimando los beneficios medioambientales y económicos que generaría. Así, indicar que la Región de Murcia tiene una extensión aproximada de unos 11.314 km^2 lo que suponen en torno al 2,24% de la superficie total de España. Está ubicada al suroeste de la Península Ibérica, limitando al Norte con Albacete, al Este con Alicante, al Sur con el Mediterráneo, y al Oeste con Almería y Granada. Dentro de la superficie forestal destacan los pastos con arbolado, ya sea denso (52,1%) o ralo (7,6%), que ocupan prácticamente dos tercios de la superficie forestal regional. Resulta ésta una unidad muy heterogénea a la hora de realizar una caracterización adecuada, debido a que se incluyen dentro de este tipo cualquier clase de vegetación sobre la que se superponga un estrato arbóreo, en el caso de la Región de Murcia esta cobertura arbolada es en su gran mayoría de pino carrasco (Pinus haleapensis). (Serrano, 2015)

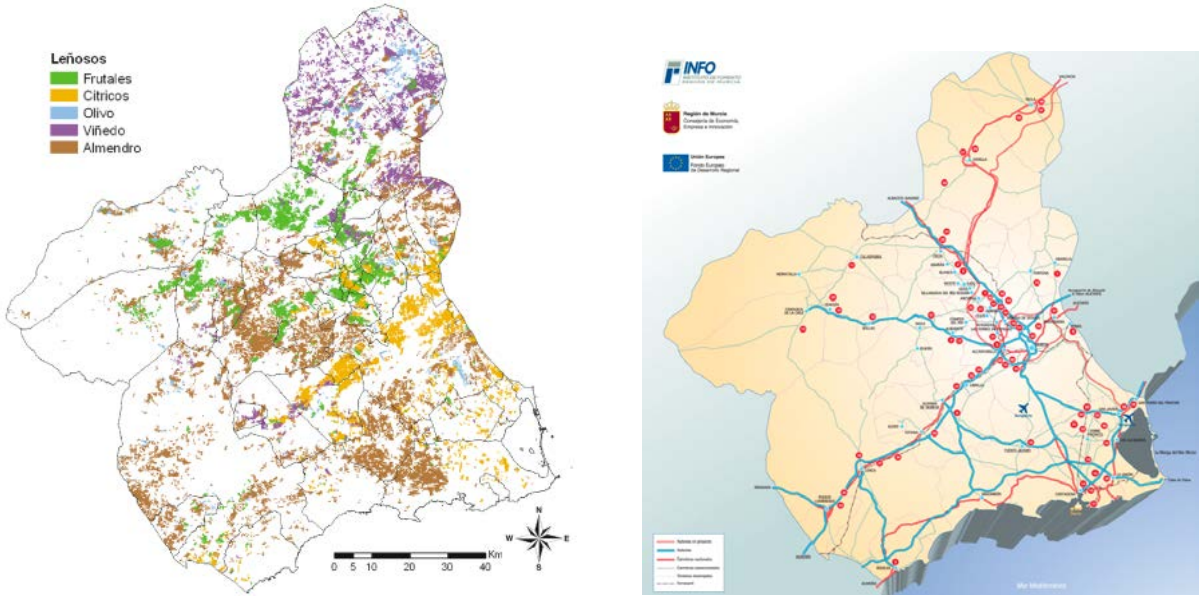
En lo que se refiere a la explotación de la biomasa como recurso renovable, indicar que teniendo en cuenta las características de la Región de Murcia, el potencial explotable está condicionado por la superficie que está siendo cultivada, así como por los residuos forestales y agrícolas. Con respecto a los residuos agrícolas, dado el carácter eminentemente agrícola de la Región, supone uno de los mayores potenciales en energías renovables, ya que en 2007 se contabilizaron 109.554 Ha de cultivos herbáceos, 210.894 Ha de cultivos leñosos y 276.894 Ha de tierra de bosque (Gómez-López, 2010). De hecho, de entre las distintas fuentes de las que puede derivar la biomasa, la procedente de madera de árboles y arbustos es, según la mayoría de autores consultados, la más empleada habitualmente para la generación eléctrica.

En lo que respecta al desglose por los cultivos, la Tabla 1 muestra la distribución porcentual y las Ha correspondientes a cada uno de ellos. De igual manera, y teniendo en cuenta la importancia que poseen los cultivos leñosos para el aprovechamiento de biomasa, la Figura 6 muestra la distribución de cultivos en la Región de Murcia acompañado de un desglose de la ubicación geográfica de los polígonos industriales.

Tabla 1: Distribución de cultivos y pastos (Región de Murcia)

FORMACIÓN	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE
Pastos con arbolado denso	265.239	23,4
Pastos con arbolado ralo	38.626	3,4
Arbustivos de alta montaña	1.419	0,1
Arbustivos permanentes de zonas subdesérticas	3.933	0,3
Arbustivos azonales	2.440	0,2
Arbustivos seriales de alto nivel evolutivo	320	0,0
Arbustivos seriales de bajo nivel evolutivo	162.540	14,4
Herbáceos xero-mesofíticos de vivaces y anuales	35.060	3,1
Cereales	159.659	14,1
Almendro y plantaciones mixtas con otras leñosas	135.564	12,0
Hortícolas	131.410	11,6
Frutales	47.555	4,2
Agrios	43.323	3,8
Viñedo	40.563	3,6
Olivo	14.624	1,3
Cultivo forzado	5.243	0,5
Improductivo	35.400	3,1
Humedal y agua	8.476	0,7
TOTAL	**1.131.394**	**100,00**

Figura 6: Distribución de los cultivos leñosos y polígonos industriales en la Región de Murcia



Tal y como puede apreciarse, existen dos grandes núcleos de actividad industrial, uno situado en las proximidades de la ciudad de Murcia y el otro ubicado en la zona costera cercana a la ciudad de Cartagena. Eso hace que el estudio de utilización de biomasa y el transporte correspondiente se puedan abordar en base a estas dos zonas de mayor actividad, no existiendo una gran distancia entre ellas.

4. Evaluación Energética y Medioambiental. Resultados

A la hora de valorar la biomasa como fuente renovables se han tenido en cuenta los cultivos que general biomasa leñosa presentes en la Región de Murcia y discutidos en la sección anterior, así como los valores estimativos recomendados por IDEA para el cálculo de rendimientos y de potencial eléctrico (Margarit,2011). De acuerdo con el estudio presentado en (Margarit,2011), la Región de Murcia posee un potencial de biomasa disponible de 1.362.342 Toneladas/año, lo que supone siguiendo estas estimaciones un total de 290.355 Toneladas Equivalente de Petróleo/año. En lo que respecta a los restos agrícolas leñosos, la Región de Murcia posee 1.028.533 Toneladas/año, representando en torno a 231.623 Toneladas Equivalente de Petróleo/año. Estas cifras están en línea con lo comentado en apartados anteriores, donde se hacía mención de que los restos agrícolas leñosos suponen una de las fuentes más destacables de obtención de biomasa, máxime en zonas eminentemente agrícolas como ocurre en la Región de Murcia. Estudios similares pueden encontrarse en (Azara,2006) para la provincia de Huesca, donde se estima la disponibilidad de biomasa de origen agrícola y leñosa en torno a 300.000 Toneladas/año.

En lo que respecta al potencial eléctrico de las superficies cultivadas y dedicadas a cultivos leñosos, y teniendo en cuenta los factores de conversión facilitados por IDAE donde el potencial se encuentra en torno a PCI = 4100 kcal/kg = 4,76 kWh/kg, la Tabla 2 recoge la superficie por comarcas, y la Tabla 3 el potencial de biomasa de la Región de Murcia.

La utilización eficiente de la biomasa autóctona conlleva recorridos por carretera que en ningún momento superan los 50 km de radio, suponiendo una de las alternativas a estudiar de cara a la reducción de la demanda eléctrica, sobre todo en aplicaciones industriales de aportación de calor o bien en generación eléctrica puntual, de acuerdo al potencial eléctrico resultante.

Tabla 2: Superficie de cultivos agrícolas en Ha por comarcas (Región de Murcia)

	ALMENDRO	CITRICOS	FRUTALES	OLIVARES	VIÑEDOS
ALTIPLANO	21.439,00	3.065,00	6.424,00	7.864,00	32.249
NOROESTE	12.080,00	0,00	8.742,00	2.073,00	906
RIO MULA	26.196,00	740,00	4.956,00	300,00	428
VEGA DEL SEGURA	20.864,00	22.194,00	24.350,00	2.646,00	2.893
VALLE DEL GUALENTIN	32.717,00	11.208,00	2.652,00	1.699,00	4.010
CAMPO DE CARTAGENA	22.269,00	6.118,00	430,00	41,00	76
TOTALES	**135.565,00**	**43.325,00**	**47.554,00**	**14.623,00**	**40.562**

En referencia a los costes económicos, resulta interesante una comparativa con el fin de conocer los intervalos en los que actualmente se encuentra la obtención de biomasa tanto en Europa como fuera de ella. La Tabla 4 muestra los datos medios de obtención de biomasa para el caso español y el americano, donde se pueden apreciar las claras diferencias en materia de estimaciones de gastos de obtención. En cualquier caso, existen discrepancias en cuanto a los costes de biomasa. Así, en (Faaij,2009) se indica que los costes de biomasa procedente de residuos agrícolas oscilan entre 1 y 7 €/GJ. Esta disparidad de valores a la hora de estimar el coste de biomasa es también discutida en dicha contribución, donde de todas las regiones analizadas se indica que el oeste de Europa (Francia, Italia y España) es una región significativamente atractiva en base a criterios de bajo coste y alto potencial de biomasa.

Tabla 3: Potencial de Biomasa cultivos agrícolas por comarcas GWh/año (Región de Murcia)

	ALMENDRO RRS=1	CITRICOS RRS=1,5	FRUTALES RRS=1,5	OLIVARES RRS=0,8	VIÑEDOS RRS=1
ALTIPLANO	71,49	477,2	440,4	22,0	6,1
NOROESTE	40,2	0,00	599,3	5,8	0,2
RIO MULA	87,3	115,2	339,7	0,8	0,1
VEGA DEL SEGURA	69,5	3.455,8	1.669,2	7,4	0,5
VALLE DEL GUALENTIN	109	1.745,2	181,8	4,75	0,7
CAMPO DE CARTAGENA	74,2	952,6	29,5	0,11	0,1
TOTALES (MWh/año)	**451,7**	**6.746,0**	**3.259,9**	**40,9**	**7,7**

Tabla 4: Comparativa de costes económicos de obtención de Biomasa

DENOMINACIÓN	LUGAR/PROCEDENCIA	COSTE APROX.
Residuo Agrícola	EEUU	20 a 50 $/Tonelada
Residuo Agrícola	España	20 a 25 €/Tonelada

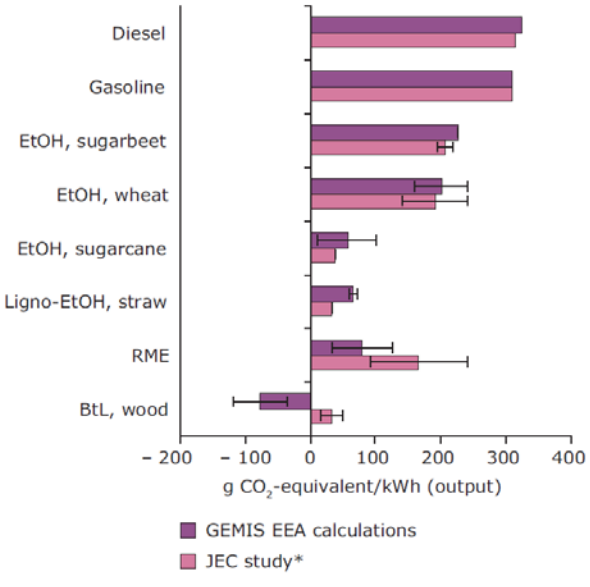
Fuentes: IDAE Estudio de Biomasa 2011-2020. IRENA Biomass for Power Generation 2012

Así pues, en lo que se refiere a la Región de Murcia, el aprovechamiento de biomasa de origen agrícola, suponiendo una disponibilidad en torno a 1 millón de Toneladas/año de dicho origen implicaría un coste de entre 20 y 25 M€/año en lo que se refiere a la obtención de biomasa para la Región de Murcia según datos de partida recogidos en la Tabla 4. Al mismo tiempo, la reducción de Toneladas de Petróleo Equivalentes (Tep)/año estaría en algo menos de 250 millones de Tep/año. Para estos cálculos se ha asumido un coste de transporte de 6 €/Tonelada con una distancia media a destino de alrededor de 60 km y donde se han incluido los gastos derivados de la carga y descarga de la biomasa.

En lo referente al término energético, de la Tabla 3 se deduce un valor aproximado de 10,5 GWh/año de energía procedente de biomasa en la Región de Murcia de origen exclusivamente agrícola. Si tomamos como base para el cálculo económico los valores de la Tabla 4, los cálculos estimativos de costes de biomasa para la Región de Murcia quedarían según las fuentes enmarcados entre los 20 y los 25 M€/año. A estos costes habría que añadir los propios de incorporación de equipamiento para la generación eléctrica o el aporte de calor a partir de esta fuente renovable, los cuales supondrían una inversión inicial para los clientes que así lo demandaran.

Atendiendo a los beneficios medioambientales, se obtendría una clara reducción de gases de efecto invernadero como consecuencia de la obtención potencia y calor a través de biomasa. Estimaciones de la reducción de CO_2 pueden deducirse atendiendo a la producción de 10,5 GWh/año. Así, según (IDAE,2014) se tendría que la electricidad convencional nacional tiene una tasa de emisiones de 0,4 $kgCO_2/kWh$ mientras que la biomasa presenta una tasa de emisiones de 0,018 $kgCO_2/kWh$, por lo que se tendría una reducción estimada de 400.000 Toneladas de CO_2/año; basando todos los cálculos en una producción energética supuesta de 10,5 GWh/año con fuente de biomasa de origen agrícola.

Figura 7: Comparativa de gases de efecto invernadero: combustibles fósiles y biomasa



Fuente: Maximising the environmental benefits of Europe's bioenergy potential, Technical Report 10/2008

A este respecto, indicar que los actuales análisis de ciclo de vida (LCA, acrónimo inglés) en referencia a la obtención tanto de biomasa como de biocarburantes, reflejan una clara ventaja de esta fuente en comparación con fuentes convencionales, aunque no siempre su obtención está exenta de generación de CO_2. En este sentido, resulta interesante resaltar en este punto las posibles emisiones derivadas de los procesos de biomasa cuyo resumen queda reflejado en la Figura 7.

6. Conclusiones

Se presenta en este trabajo un estudio desde el punto de vista económico y medioambiental de las ventajas que supondría el aprovechamiento de la biomasa autóctona con el fin de reducir la demanda eléctrica del sector industrial, sobre todo en aquellos procedimientos que poseen necesidades de frío/calor. Este análisis incluye el caso práctico desarrollado al amparo del proyecto europeo Enering Life+, ejemplo real de integración de este recurso para la obtención de frío industrial, así como la extrapolación de estimaciones desde el punto de vista económico y medioambiental al resto de la Región de Murcia.

Los resultados muestran que, tomando como referencia la biomasa procedente de la agricultura, principalmente biomasa de origen leñoso, la Región de Murcia dispondría de alrededor de 1 millón de Toneladas/año, estimándose esta fuente energética en torno a 250 Toneladas equivalentes de petróleo/año, con el consiguiente coste económico y medioambiental que el petróleo acarrea, así como la clara dependencia energética con terceros países. Desde el punto de vista de costes, estimando un gasto de 20 a 25 €/Tonelada de biomasa, se tendrían en torno a 20-25M€/año para la obtención de biomasa. Por otro lado, en cuanto a reducción de gases de efecto invernadero, la extrapolación de valores a toda la Región se han estimado alrededor de 400.000 Toneladas de CO_2/año.

7. Referencias

Azara De F. (2006), Evaluación del potencial de biomasa residual en los ecosistemas forestales y los medios agrícolas en la provincia de Huesca, CIRCE.

Cuellar A.D. (2009), Plant Power: The cost of using biomass for power generation and potential for decreased greenhouse gas emissions, University of Texas, Austin, EEUU, PhD.

Faaij A. (2009), European biomass resource potential and costs, Biomass and Bioenergy vol 34(2). DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.07.011

Gómez-López M.D., García-Cascales M.S., Ruiz-Delgado E. (2010), Situations and problems of renewable energy in the Region of Murcia, Spain, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, pp. 1253–1262.

Garcia-Cascales M.S., Molina-Garcia A., Ortuño A. Martinez-Sánchez R. (2014) Proyecto Demostrativo de aprovechamiento de los recursos renovables locales en procesos industrials: Enering Life+ 18th International Congress on Project Management and Enegineering, Alcañiz (Teruel)

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía IDAE (2014), Factores de Emisión de CO2 y Coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España, Versión 03/03/2014.

International Energy Agency (2014a), World Energy Outlook 2014, Executive Summary https://www.iea.org/Textbase/npsum/WEO2014SUM.pdf

International Energy Agency (2014b), World Energy Investment Outlook 2014, https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEIO2014.pdf

Margarit I Rosel (2011), J., Evaluación del potencial de la energía de la biomasa, Estudio Técnico PER 2011-2020, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE)

Mostajo Veiga, M., Fariña Álvarez P., Fernández-Montes Moraleda M., Kleinsorge A., (2013). Study on Cost and Business Comparison of Renewable vs. Non-renewable Technologies (RE-COST), IEA Implementing Agreement on Renewable Energy Technology Deployment (IEA-RETD).

Serrano J., Paredes J.M., García-Cascales M.S., Sánchez-Lozano J.M., Molina-García A. (2015) Potential Study of Biomass in the Area of Cartagena (Spain) under the ENERING LIFE+ European Project. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'15) La Coruña

Vakkilainen E., Kuparinen K., Heinimö J. (2013), Large industrial users of energy biomass, IEA BioEnergy Task 40, Lappeenranta University of Technology

TOPIC 6. RURAL DEVELOPMENT AND DEVELOPMENT COOPERATION PROJECTS

ÁREA TEMÁTICA 6. DESARROLLO RURAL Y PROYECTOS DE COOPERACIÓN AL DESARROLLO

06-001

DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE GUIDE THAT SERVES TO CARRY OUT SAFE DRINKING WATER PROJECTS IN LOW-INCOME COUNTRIES

Ordóñez, Javier; Losada, Claudia
Universidad de Granada

The access to safe drinking water and sanitation has been permanently present in the Cooperation Development Agenda. Today at least 748 million people do not have access to drinking water and 2,500 million do not have sanitation. There are many international bodies that promote the definition, development, finance and management of projects related to safe drinking water and sanitation. These bodies generate extensive documents that collect the experience in the different projects where they take part. To this information, one must add hundreds of scientific research papers and numerous handbooks that are published every year. Authors define this research under the hypothesis that the documentation related to water supply and sanitation projects is very large and is regularly updated and the projects related to water are complex in nature and involve a study which must consider socioeconomic, environmental, financial, administrative, social and technical dimensions. The aim of this work is to develop an interactive guide that serves to facilitate access to information for technicians that are responsible for developing water projects in the framework of the Cooperation for Development.

Keywords: *Development cooperation; Water supply; Projects*

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INTERACTIVA PARA FACILITAR LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE AGUA POTABLE EN PAÍSES DE INGRESOS BAJOS

El acceso al agua y al saneamiento ha estado presentes de forma permanente en la agenda de la cooperación internacional. Actualmente al menos 748 millones de personas no tienen acceso al agua potable y 2.500 millones no disponen de sistemas de saneamiento adecuados. Son numerosos los organismos dedicados a la definición, desarrollo, financiación y gestión de proyectos relacionados con el abastecimiento y el saneamiento. Estos Organismos generan numerosa documentación que recoge la experiencia de los distintos proyectos en los que participan. A esta información hay que sumar, entre otros, cientos de artículos científicos y numerosos manuales que se publican cada año. Los autores definen esta investigación bajo la hipótesis de partida de que la documentación relacionada con los proyectos de abastecimiento y saneamiento es muy numerosa y se actualiza regularmente y que los proyectos relacionados con el agua son de naturaleza compleja e implican un estudio que debe tener en cuenta las dimensiones técnicas, socioeconómicas, medioambientales, financieras, administrativas y sociales. El objetivo de este trabajo es el desarrollo de una guía interactiva que sirva para facilitar el acceso a la información a los técnicos encargados de desarrollar proyectos de aguas en el marco de la Cooperación para el Desarrollo.

Palabras clave: *Cooperación para el Desarrollo; Abastecimiento de agua; Proyectos*

Correspondencia: Javier Ordóñez javiord@ugr.es

1. INTRODUCCIÓN

El Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas (UN, 2002) publicó el documento titulado: Observación General Nº15, en el que se establece que:

> El agua es un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud. El derecho humano al agua es indispensable para vivir dignamente y es condición previa para la realización de otros derechos humanos. El Comité ha constatado constantemente una denegación muy generalizada del derecho al agua, tanto en los países en desarrollo como en los países desarrollados. Más de 1.000 millones de personas carecen de un suministro suficiente de agua y varios miles de millones no tienen acceso a servicios adecuados de saneamiento, lo cual constituye la principal causa de contaminación del agua y de las enfermedades relacionadas con el agua. La polución incesante, el continuo deterioro de los recursos hídricos y su distribución desigual están agravando la pobreza ya existente. Los Estados Partes deben adoptar medidas eficaces para hacer efectivo el derecho al agua sin discriminación alguna, como se establece en la presente observación general (GC Nº15, 2002, p. 1).

En este contexto, el agua debe tratarse como un bien social y cultural y no, exclusivamente, como un bien económico. Por ello, las condiciones generales de acceso al agua se centran en la disponibilidad, la calidad y la accesibilidad.

En relación con la disponibilidad del recurso agua, existen numerosas propuestas al respecto que cifran entre 20 y 30 litros por habitante y día las necesidades mínimas asociadas a la bebida y a los usos sanitarios. Esta cantidad se puede aumentar hasta los 40 a 50 litros por habitante y día si se tienen en cuenta, además, la higiene personal y las necesidades de agua para cocinar los alimentos (OMS, 2005 citado en El agua como elemento clave para el desarrollo, 2011).

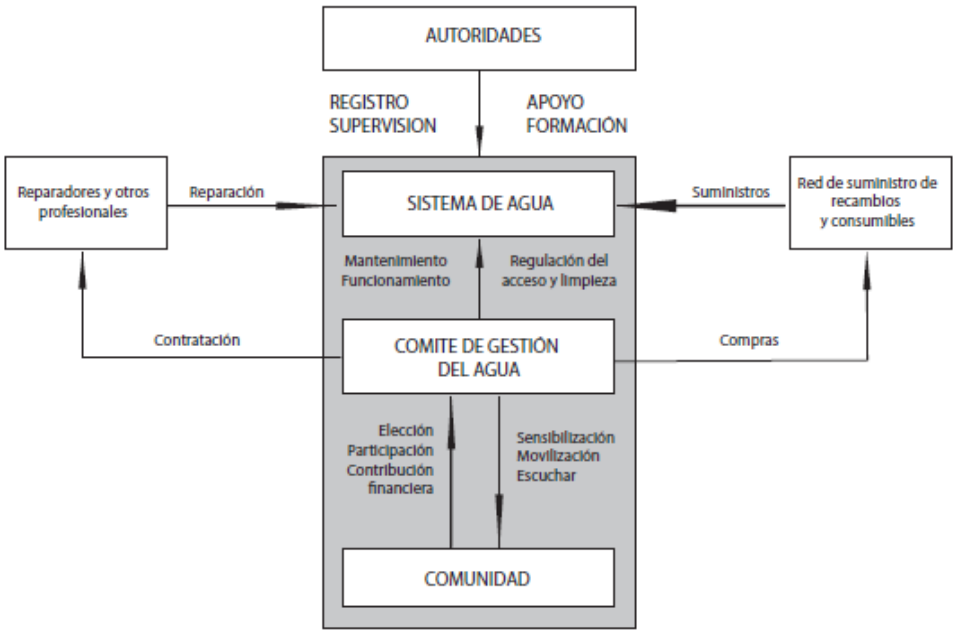
Se considera accesible el agua que está a una distancia máxima de 500 metros desde cualquier hogar al punto de abastecimiento de agua más cercano, o cuando se tarda menos de 30 minutos en realizar el trayecto total, a la fuente, desde la vivienda, la escuela o el puesto de trabajo, ya que a distancias mayores se tiende a recoger menos del mínimo indispensable para el consumo y la higiene. El tiempo para hacer cola no debe exceder de 30 minutos (Manual Esfera, 2011). Para considerarla accesible se debe cumplir, además, que el trayecto a las fuentes de agua se pueda realizar sin peligro para la integridad de las personas. (OMS, 2003, citado en El agua como elemento clave para el desarrollo, 2011).

Según la Organización Mundial de la Salud (datos 2004, OMS, 2008, citado en El Agua como Elemento Clave para el Desarrollo, 2011) el 80 por ciento de las enfermedades en países en vías de desarrollo están relacionadas con el agua. A escala global la realidad es que, debido a la falta de agua potable, el saneamiento precario y el desconocimiento de los hábitos higiénicos adecuados, más de 2.100.000 personas, la mayoría de ellas niños, mueren al año a causa de la diarrea.

En 1977, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua celebrada en Mar del Plata (Argentina), se asumió el objetivo de alcanzar la cobertura universal de abastecimiento y saneamiento para el año 1990. Para ello, se llevaron a cabo numerosos proyectos para desarrollar las redes de saneamiento y abastecimiento, especialmente en las zonas urbanas y periurbanas. Sin embargo, se estima que aproximadamente el cuarenta por ciento de las infraestructuras ejecutadas dejaron de estar operativas por: el empleo de una tecnología inapropiada, la falta de personal cualificado en la gestión, errores en la conservación y mantenimiento del sistema y por el empleo de intervenciones basadas en la promoción del recurso y no en las demandas y capacidades reales de las comunidades en estudio.

Tras la experiencia adquirida, se definió el modelo denominado de gestión comunitaria (DRA, acrónimo de Modelo de Respuesta a la Demanda) para solventar los problemas detectados (véase figura 1). En este modelo cabe destacar la participación de los usuarios finales en todo el ciclo de gestión de un servicio de agua. A pesar de las mejoras, que presenta este modelo, siguen existiendo limitaciones relevantes dado que los sectores más desfavorecidos se encuentran excluidos de los proyectos de abastecimiento al ser incapaces de asumir los compromisos y costos que requieren los mismos. La experiencia ha demostrado que es necesario que exista un apoyo externo a las comunidades para gestionar, de forma eficaz, los sistemas de abastecimiento, resolver conflictos internos y así poder garantizar la provisión de recursos y, por consiguiente, la sostenibilidad de los mismos.

Figura 1: Actores y actividades de un suministro de agua gestionado por la comunidad (Acción Contra el Hambre, 2005, pg. 84).

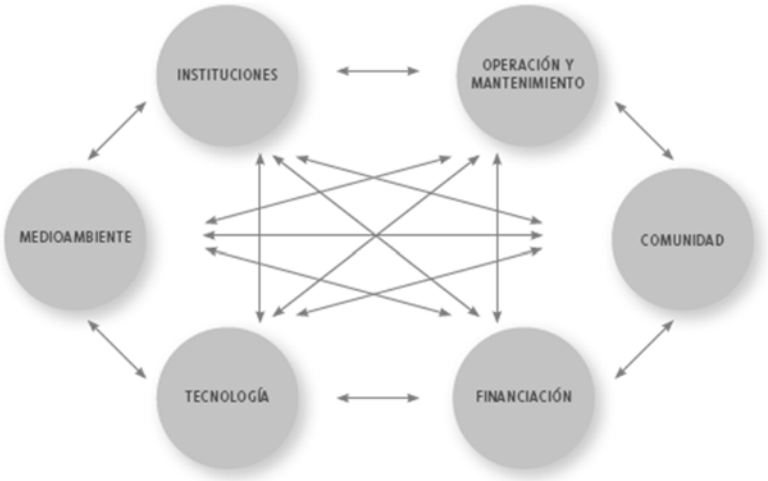


Asimismo se ha demostrado que existe una mejora exponencial en la salud de la comunidad cuando se integran los proyectos de agua, saneamiento y de la promoción de la higiene (ver figura 2). Este enfoque es conocido como intervenciones WASH (Water, Sanitation and Hygiene).

Figura 2: Modelo de intervención de agua, saneamiento e higiene (WASH, citado en El agua como elemento clave para el desarrollo, 2011).

En este contexto se considera que un servicio, como puede ser el de abastecimiento de agua, es sostenible si se cumplen los siguientes criterios: las obras de las infraestructuras se ejecutaron correctamente y está asegurado su mantenimiento durante su vida útil a largo y corto plazo; la financiación del servicio debe estar garantizada y en todo el ciclo de vida del proyecto no se produce un impacto negativo ni en el recurso hídrico ni en torno al medio en el que se construye la infraestructura; se garantiza la provisión de agua a toda la comunidad (sin excluir a los más desfavorecidos) y se fomenta y se tiene en cuenta la participación de los usuarios, incluyendo el apoyo institucional a las comunidades (ver figura 3).

Figura 3: Variables que limitan la sostenibilidad de los servicios. Fuente: Giné y Pérez-Foguet (2008).



Existe numerosa documentación e información que desarrolla cada uno de los aspectos relacionados con el agua que se han tratado anteriormente. A esta documentación hay que añadir que las soluciones de ingeniería que se utilizan para abastecer de agua a las comunidades son muy numerosas: pozos, presas, galerías, redes de abastecimiento, elementos de la instalación como válvulas, reductoras de presión, depósitos enterrados y en altura, sistemas de tratamiento de la calidad del agua: floculación, filtración, cloración,…

El desarrollo de internet ha permitido el acceso a una cantidad de información que muchas veces es difícilmente gestionable. Más aún en el contexto de los proyectos de Cooperación para el Desarrollo donde los recursos son escasos y la tecnología debe cumplir con los criterios del concepto de tecnología apropiada que se define como: aquella tecnología, adecuada a las condiciones locales, caracterizada por su bajo costo, la no importación de insumos, su pequeña escala, su fácil utilización por la población y su sostenibilidad (Pérez de Armiño K., Zabala N. 2005). El concepto de tecnología apropiada fue formulado por E. F. Schumacher en los años 70 quien lo definió como: una tecnología simple, de pequeña escala, bajo coste y no violenta.

3. OBJETIVOS

Bajo la premisa, que se ha comentado, en relación con el hecho de que la documentación relacionada con los proyectos de abastecimiento y saneamiento es muy numerosa, el objetivo principal de este trabajo es dar soporte, al técnico responsable de definir el proyecto, a la hora de elegir de forma rápida un sistema adecuado de abastecimiento y/o saneamiento de agua utilizando para ello un conjunto de fichas en la que se describen los aspectos más relevantes a tener en cuenta.

Las fichas resumen brevemente los conocimientos, técnicas y criterios que han demostrado su utilidad práctica e impacto positivo para resolver problemas concretos relacionados con los proyectos de abastecimiento y saneamiento en el contexto de la Cooperación para el Desarrollo

Las fichas técnicas, que se han desarrollado, incluyen criterios como: el uso de los recursos y su gestión, la contaminación del agua, la operación y mantenimiento de los sistemas. Asimismo se centran en aspectos socio-económicos como: la participación local, la voluntad de pago de los usuarios finales y el impacto a largo plazo de la infraestructura o sistema elegido (todo ello en base a experiencias previas).

Este artículo resume los trabajos que se ha llevado a cabo para el desarrollo de esta herramienta que se diseña con el objetivo final de facilitar la redacción de proyectos de agua potable y saneamiento en países en vías de desarrollo así como garantizar su continuidad y funcionalidad, es decir, conseguir una implementación exitosa del sistema de abastecimiento elegido habiendo satisfecho todos los requerimientos necesarios basados en aspectos técnicos, socioeconómicos, etc.

4. METODOLOGÍA

Para el diseño de las fichas se ha llevado a cabo una revisión profunda del estado del arte que incluye:

- La base de datos de revistas del JCR. Ejemplos de revistas a las que se hace referencia son Water Science & Technology, Geoforum, Habitat International o Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development.
- Manuales.
- Páginas de internet de organismos internacionales e informes anuales publicados por distintas organizaciones involucradas en la cooperación internacional en el sector agua. (ej. El proyecto Esfera (2011); El agua como elemento clave para el desarrollo (2011); Informe de Programa de Monitoreo Conjunto de la OMS y UNICEF, Acción Contra el Hambre (2005),…)

Una vez seleccionada esta información, se ha resumido y agrupado para describir el contexto en el que se desarrollan los proyectos de cooperación y los factores que intervienen. En formato pdf se incluyen los enlaces que permiten acceder de forma directa a la fuente de donde se ha obtenido la información de la ficha simplemente con situar el cursor del ratón sobre cualquier documento en la sección de la bibliografía de la ficha. Entre la información que se adjunta, se incluye: documentos, videos y herramientas de utilidad relacionadas directamente con la solución de sistema de abastecimiento o saneamiento.

Cada ficha define una solución técnica. Las fichas se han diseñado con el siguiente esquema:

- En primer lugar, se citan las partes básicas o más generales del sistema de abastecimiento además de una breve descripción del mismo junto con una imagen y esquema para su mejor comprensión.
- Se describe el campo de utilización, seguido de las recomendaciones de diseño, mantenimiento y explotación. Asimismo, se proporciona información de interés como el coste inicial, rendimiento del sistema, aspectos técnicos y vida útil.
- Bibliografía básica de las fuentes que se ha utilizado o de utilidad para definir la solución donde se ha seleccionado la información. Se ha mantenido un formato similar al usado en el documento de la OMS (2003).

Se debe tener en cuenta además que las fichas que se han desarrollado son una pequeñísima muestra de las posibles soluciones que se pueden utilizar para diseñar y construir los sistemas de abastecimiento y saneamiento. La filosofía del proyecto es de proyecto abierto colaborativo para que mediante la participación de los agentes interesados: ONG´s, voluntarios, profesionales, estudiantes de ingeniería, etc., el número de soluciones se vaya incrementando y las fichas se vayan actualizando.

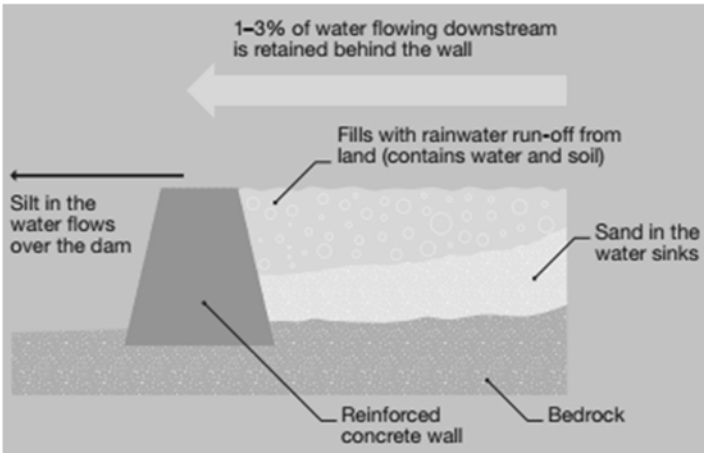
5. RESULTADOS

La primera versión inicial consta de ocho fichas que se irán aumentando y actualizando conforme se desarrolle la aplicación. En este apartado se ha incluido un caso a título de ejemplo.

5.1 Solución 6: **Abastecimiento mediante captación de agua de lluvia en terreno: Represa de acumulación**

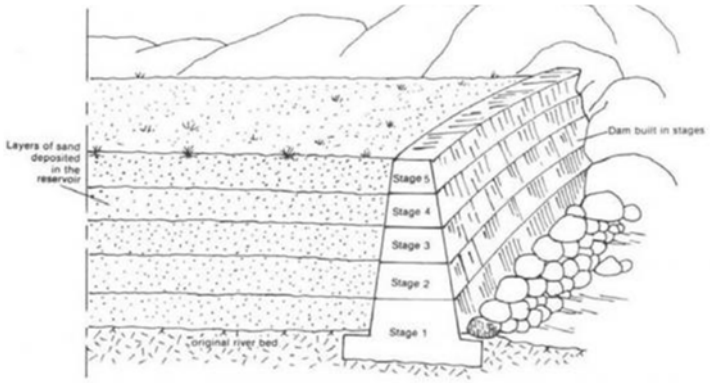
Una presa de arena es un muro de hormigón, piedra o material impermeable construido sobre el lecho de un río para capturar y almacenar agua debajo de la arena. Aguas arriba se acumula la arena y/o los sedimentos. Este embalse se llena durante la estación húmeda, y minimiza el impacto de la escorrentía del agua de lluvia de la cuenca.

Figura 4: Recogida de agua de lluvia aguas debajo de la presa. Fuente: ED (n.y.)



En la figura 4 se observa cómo se recolecta el agua de lluvia. Las lluvias estacionales llenan rápidamente la presa de agua y partículas de suelo, normalmente arena y limos. La arena más pesada queda retenida tras la presa (entre el 1 y 3%) mientras que el limo más ligero se arrastra corriente hacia aguas abajo. La arena se acumula en la presa hasta llegar a la cota del aliviadero. El agua se almacena en la arena ocupando entre un veinticinco y cuarenta por ciento del volumen total. Se ha reportado presas que almacenan entre dos y diez millones de litros de agua dependiendo del tamaño de las partículas de arena y de la características de la presa. Se mejora la calidad del agua al estar protegida contra la evaporación y la contaminación. Por otra parte se produce un proceso de filtración natural en el suelo (similar a lo que ocurre en un filtro biológico de arena).

Figura 5: Presa de arena que se construye en capas para permitir que la arena gruesa se deposite y el material más fino se dirija hacia aguas abajo. Fuente: Nilsson, 1988, citado por SSWM, n.y.)



Existen tres formas principales para extraer agua de las presas de arena: directamente con cubos, instalando un sistema de conducción por gravedad o mediante un pozo superficial. La elección del sistema de extracción la decide la comunidad.

Las presas de arena se pueden construir en cualquier lugar donde haya un río estacional con sedimento arenoso. Esta solución permite una mayor disponibilidad de agua durante la estación seca.

Hoy en día se construyen del orden de ciento cincuenta presas de arena al año. El cuarenta por ciento de la superficie terrestre está clasificada como tierra seca y en ella se asienta el ochenta por ciento de la población más pobre de la tierra. El potencial de las presas de arena para mejorar la situación de estas poblaciones es enorme.

Principios básicos de diseño

Para seleccionar la zona para la construcción se debe analizar las características geológicas y físicas del sitio, especialmente las estructuras de la roca subyacente y las propiedades del suelo. Los cauces con rocas cristalinas y arena gruesa tienen mayor rendimiento en comparación con las rocas volcánicas. Del mismo modo, los valles y las regiones con pendientes del río entre el 1 y el 2% son sitios ideales para diques de arena, ya que normalmente proporcionan el mayor almacenamiento de agua. El conocimiento de datos hidrológicos es importante para estimar el flujo de la corriente total. El tamaño del transporte fluvial influye en el grosor y la altura de la pared.

Asimismo, se debe tener en cuenta a la comunidad en la elección de este sistema de abastecimiento dado que ésta debe estar involucrada en todo el proceso del desarrollo del proyecto con objeto de crear un sentimiento de pertenencia. Se ha demostrado, a partir de diferentes experiencias de proyectos ejecutados, que este factor es clave para tener éxito en la construcción y mantenimiento de las presas de arena.

En las páginas siguientes se incluye la ficha que se ha definido para esta solución y que se corresponde con la ficha número 6.

La herramienta se puede consultar en: https://wdb.ugr.es/~lids/wordpress/ Asimismo el diseño de la herramienta tiene en cuenta, como se ha comentado, que las fichas se irán actualizando incluyendo las aportaciones de todos aquellos que accedan a la misma mediante un proceso de diseño colaborativo utilizando la red.

Sistemas de Abastecimiento de Agua – Fichas Resumen

Solución 6 (página 1 de 2): Abastecimiento mediante captación de agua de lluvia en terreno: Represa de acumulación.

Partes

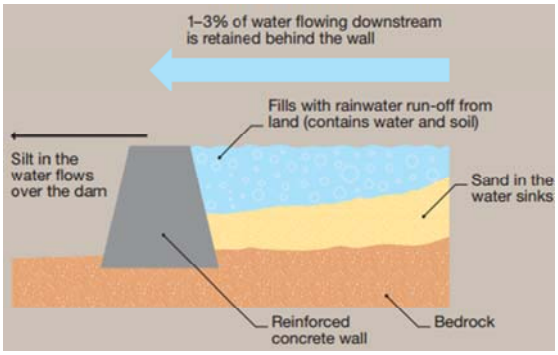
Lecho arenoso de río aguas arriba de la presa

Roca de fondo

Muro de hormigón armado de piedra o material impermeable.

Lecho arenoso de río aguas abajo de la presa

Esquema



Fuente: [1]

Fotografía

Fuente: [2]

Coste Inicial: Una presa de 3500 m^3 cuesta 2.40 US$/$m^3$ en Kenya y 3.90 en Tanzania (Lee & Visscher, 1990 citado por OMS, 2003). Una de 2000 m^3 cuesta unos 7500 US$ (2-4 metros de altura y 20m de longitud) según SSWM.

Según ED (n.y.) es la solución de recogida de aguas pluviales de más bajo coste del mundo.

Dimensiones: Por lo general, no más de un par de metros de altura, o de tan sólo un metro. La capacidad puede ser de hasta 6000 m^3.

Rendimiento: Retiene entre 2 y 10 millones de litros de agua. Depende de la zona de captación, de la precipitación, etc.

Breve descripción: Una presa de arena es un muro de hormigón, piedra o material impermeable construido sobre el lecho de un río para capturar y almacenar agua debajo de la arena. Las lluvias estacionales llenan rápidamente la presa de agua y partículas de suelo, normalmente arena y limos. La arena más pesada queda retenida tras la presa (entre el 1 y 3%) mientras que el limo más ligero se arrastra corriente hacia aguas abajo. La arena se acumula en la presa hasta llegar a la cota de del aliviadero. El agua se almacena en la arena ocupando entre un veinticinco y cuarenta por ciento del volumen total. Se ha reportado presas que almacenan entre dos y diez millones de litros de agua dependiendo del tamaño de las partículas de arena y de la características de la presa. Se mejora la calidad del agua al estar protegida contra la evaporación y la contaminación. Por otra parte se produce un proceso de filtración natural en el suelo (similar a lo que ocurre en un filtro biológico de arena).

Este embalse se llena durante la estación húmeda, evitando la rápida escorrentía del agua de lluvia de la cuenca. La disponibilidad de agua durante la estación seca se prolonga y generalmente está garantizada. La calidad del agua aumenta por el proceso de filtración natural en el suelo (similar a lo que ocurre en un filtro biológico de arena).

Sistemas de Abastecimiento de Agua – Fichas Resumen

Solución 6: Abastecimiento mediante captación de agua de lluvia en terreno: Represa de acumulación.

Campo de utilización/ Aplicabilidad:

En zonas áridas o con clima tropical monzónico. Zonas donde otros sistemas de abastecimiento de agua son más difíciles de construir, o no tienen capacidad para proporcionar suficiente cantidad o calidad de agua.

Recomendaciones de diseño:

Antes de iniciar un proyecto de presa de arena en un área, la comunidad debe estar involucrada en el proyecto para crear un sentimiento de pertenencia, se ha demostrado según la experiencia que este factor es clave para tener éxito en la construcción y mantenimiento de presas de arena.

Para seleccionar el sitio adecuado para la construcción de la presa se debe llevar a cabo una inspección del lugar, que consiste en analizar las características geológicas y físicas del sitio, especialmente las estructuras de la roca subyacente y las propiedades del suelo. Los valles y las regiones inclinadas entre el 1 y el 2% de los ríos son sitios ideales para diques de arena ya que proporciona mayor capacidad de almacenamiento de agua. El tamaño del transporte fluvial influye en el grosor y la altura de la pared.

Si se utilizan los agujeros para la extracción directa de agua, se debe prestar atención por posible contaminación animal.

Recomendaciones de mantenimiento y explotación:

Después de cada inundación grande, cualquier daño causado debe ser reparado y además la presa debe protegerse con grandes piedras si fuese necesario. Durante la estación seca, es conveniente elevar la presa un máximo de 50 cm si el depósito está completamente lleno;

Para grandes reparaciones, como sería el caso de una presa que se ha visto socavada por la infiltración, o dañado por una inundación, se requiere un gran número de personas además de maquinaria pesada. Conviene consultar a los técnicos.

El pozo o el sistema de conducción por gravedad deben ser limpiados con regularidad.

Bibliografía

[1]: ED (n.y.): *Pioneers of Sand Dams*. Brentford: EXCELLENT DEVELOPMENT (ED).

[2]: SSWM (Sustainable Sanitation and Water Management). *Sand Dams and Subsurface Dams* [Online].

OMS (2003). Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation. World Health Organization and IRC Water and Sanitation Centre. Geneva.

Herramienta de utilidad: http://www.samsamwater.com/tools.php

Base de datos georeferenciada de presas

Recurso de información: http://excellentdevelopment.com/resources/publications

Vídeos: Proyecto en Kenia Presentación

6. CONCLUSIONES

- Dado que el objeto común de las personas, organismos, gobiernos y entidades involucradas en la cooperación internacional es proporcionar agua de calidad aceptable para garantizar como mínimo la supervivencia de las poblaciones, con especial atención a aquellas más vulnerables, se hace imperiosa la necesidad de trabajar de forma conjunta para afrontar el problema en todos los niveles jerárquicos existentes en el sector de agua.
- La información de la que se dispone es necesario cotejarla con aquella que nos pueden facilitar todos los agentes que participan en la elaboración de proyectos de abastecimiento, dado que ésta puede no ser fiable o tan solo representa una parte de la población.
- Para la mejora o construcción de cualquier infraestructura debemos tener en cuenta no solo los aspectos técnicos (la tecnología apropiada y la gestión de los recursos), sino además es fundamental analizar los aspectos sociales (participación local y acceso a las tecnologías, cultura local, igualdad y migración, salud, concienciación pública y nivel de vida), económicos (salario y empleo, coste) y medioambientales logrando de esta forma acercarnos a un desarrollo sostenible.
- Es preciso seguir fomentando la integración de las instituciones que participan en la cooperación para poner en común la experiencia y conocimiento del sector del agua y así focalizar e identificar de una forma más sencilla los problemas que se plantean en el desarrollo de proyectos.
- Sería de gran utilidad materializar la idea propuesta en este proyecto para desarrollar una guía rápida que sirva como herramienta para facilitar información debidamente seleccionada, analizada y continuamente actualizada sobre los sistemas de abastecimiento y saneamiento de agua potable más adecuados que se han desarrollado en distintas comunidades con especial hincapié a los casos de éxito. En esta herramienta se deberían incluir los aspectos más relevantes y/o que influyen en la selección del tipo de tecnología. Para ello sería adecuado contar con un gabinete de expertos en la materia y personas con experiencia de campo en estos proyectos.
- Por otra parte, debemos tener presente que tanto los sistemas de abastecimiento de agua como los de saneamiento están íntimamente relacionados y además su implementación supone un impacto directo sobre la salud de las personas. Desde esta perspectiva se hace evidente incorporar la componente de promoción de la higiene en los proyectos de agua atendiendo a la cultura local, creencias y estilo de vida de las personas. De esta forma, conseguiremos que, además de utilizar adecuadamente el sistema implementado, el usuario final conciba la importancia del correcto uso del sistema para evitar la transmisión de enfermedades.

Tras la exposición de estas ideas, se hace evidente, la difícil tarea que supone el planeamiento, desarrollo y elaboración de un proyecto de abastecimiento en localidades en países con bajos ingresos. Son numerosos los aspectos que influyen a la hora de elegir determinada solución. Un factor decisivo a tener en cuenta es la aceptación de la solución por parte de la comunidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

Acción Contra el Hambre (2005). Agua, saneamiento e higiene para las poblaciones en riesgo. Hermann Editeurs, París, Francia.

ED (n.y.): Pioneers of Sand Dams. Brentford: EXCELLENT DEVELOPMENT (ED). URL [Fecha de consulta: 22 Abril 2014].

Giné, R. & Pérez-Foguet, A. (2008). Sustainability assessment of national rural water supply program in Tanzania. Natural Resources Forum 32, 327–342.

Jiménez, F.P.A., Pérez-Foguet, A., Batista, E., Mecerreyes, C., Marín, P.G., Giné, G.R., Mancebo, J.A. El agua como elemento clave para el desarrollo (2011). Madrid, España: CanalEduca. Disponible en: http://www.canaleduca.com/web/guest/editorial/coleccion-adultos

JMP (2014). Progress on Drinking Water and Sanitation. Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation. WHO/UNICEF.

Lee MD, Visscher JT (1990) Water harvesting in five African countries. The Hague, IRC International Water and Sanitation Centre (Occasional Paper Series, No. 14).

Nilsson, A. (1988): Groundwater Dams for small-scale Water Supply. London: IT Publications.

OMS (2004). Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. Hechos y cifras, actualización de noviembre 2004.

OMS (2005). Minimum water quantity needed for domestic purposes, Technical note 9. South East Asia Regional Office, WHO, New Delhi.

OMS (2003). Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation. World Health Organization and IRC Water and Sanitation Centre. Geneva.

Pérez de Armiño, Zabala N. Diccionario de Acción Humanitaria y Cooperación al Desarrollo. Hegoa. 2005. Accesible en http://www.dicc.hegoa.ehu.es/

Proyecto Esfera (2011). Disponible en: www.sphereproject.org

Schumacher, E. F. (1990), Lo pequeño es hermoso, Hermann Blume Ediciones, Madrid (1.ª ed. Inglés), 1973

SSWM (Sustainable Sanitation and Water Management). Sand Dams and Subsurface Dams [Online]. [Fecha de consulta: 22 Abril 2014].

United Nations (2002). The Right to Water. Economic and Social Council Committee on Economic, Social and Cultural Rights, E/C.12/2002/11, General Comment No. 15. November 26th.

06-004

TECHNOLOGY TRANSFER OF RENEWABLE ENERGY FOR RURAL DEVELOPMENT: HISTORICAL EVOLUTION AND LESSONS OF EXPERIENCE FROM THE MODEL WWP

Black Aguayo, Gabriela [1]; de los Ríos Carmenado, Ignacio [2]; Sastre Merino, Susana [2]
[1] Fraunhofer UMSICHT, [2] Universidad Politécnica de Madrid

Technology transfer (TT) in the area of renewable energy (RE) throughout history has been an important tool for rural development (RD). Initially, the TT has been conceptualized as the purchase or donation of machinery from first world countries - without any consideration of staff training and contextual conditions for the adaptation of technology to the needs of the country. Various researches have revealed the existence of different approaches to planning the TT of RE, demonstrating the high complexity of projects from the social and contextual dimension. This paper addresses the conceptual evolution of the TT of RE for RD, examining its different periods considered for three criteria: historical events occurred, the role of stakeholders and changing objectives for the TT of RE for RD. For the conceptual analysis of changes the model Working With People (WWP) is used for planning and project management of high social complexity in RD. The analysis defines the existence of four historical periods in the TT of RE and synthesizes the lessons of experience from the three dimensions (ethical-social, technical-entrepreneurial, and political-contextual) of the WWP model.

Keywords: *technology transfer; renewable energy; rural development; Working With People, planning*

TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL DESARROLLO RURAL: EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y LECCIONES DE EXPERIENCIA DESDE EL MODELO WWP

La transferencia tecnológica (TT) de las energías renovables (ER) a lo largo de la historia ha sido una herramienta de gran importancia para el desarrollo rural (DR). Inicialmente la TT se ha conceptualizado como la compra o donación de maquinaria a países del primer mundo, sin considerar la capacitación del personal y las condiciones contextuales para la adopción de la tecnología a las necesidades del país. Diversas investigaciones han evidenciado la existencia de diferentes enfoques en la planificación de la TT de las ER, manifestando la alta complejidad de los proyectos desde la dimensión social y contextual. El presente trabajo aborda la evolución de la TT de las ER para el DR, examinando sus diferentes períodos, considerado tres criterios: los sucesos históricos, el papel de las partes implicadas y el cambio de objetivos de la TT de las ER para el DR. Para el análisis conceptual de los cambios se utiliza el modelo Working With People (WWP) para planificación y dirección de proyectos de DR de alta complejidad social. El análisis define la existencia de cuatro períodos históricos en la TT de las ER y sintetiza las lecciones de experiencia desde las tres dimensiones (ético-social, técnico-empresarial, y político-contextual) del modelo.

Palabras clave: *transferencia tecnológica; energías renovables; desarrollo rural; Working With People; planificación*

Correspondencia: Gabriela Black Aguayo ngabrielablack@yahoo.com

1. Introducción

Una de las tecnologías que ha ido adquiriendo importancia en términos de transferencia tecnológica (TT) es la de energías renovables (ER), con especial interés para el desarrollo rural (DR). Esto debido a que actualmente a nivel mundial en el medio rural cerca de 1.300 millones de personas siguen careciendo de acceso a la electricidad (de los cuales dos tercios se encuentran en Asia y África subsahariana)[1] y 2.600 millones no poseen acceso a instalaciones modernas para cocinar (India, China y Bangladesh suponen más de la mitad de países sin este acceso; en América Latina afecta al 14% de la población y en el caso de la India, al 72% de la misma, según REN21 (2012)). La mayor parte de los países en vías de desarrollo depende de la biomasa tradicional para satisfacer sus necesidades energéticas (WEO, 2012). En las zonas rurales, la falta de acceso a la electricidad, dificulta el crecimiento económico ya que no se puede utilizar herramientas y maquinaria moderna propias para actividades agrícolas y el acceso a servicios básicos (electricidad, atención primaria, bombeo de agua) se ve limitado, encareciendo el nivel de vida de la población (Cherni y Hill, 2009).

Con frecuencia la TT se ha entendido y se ha conceptualizado como una simple compra de maquinaria sofisticada a países denominados del primer mundo (MacDonald, 1992; Mathews, 1995; Martinot et al., 2002) por países en vías de desarrollo. Numerosas experiencias de TT se han desarrollado sin tomar en cuenta la capacitación del personal (MacDonald, 1992; Green, 1999; Painuly, 2001; Gurung et al., 2013) y sin considerar que esa tecnología fuera adaptable a las condiciones del país, región o localidad (Green, 1999; Cherni y Hill, 2009; Alam Hossain Mondal, Kamp y Pachova, 2010; Pansera, 2012; Leary, While, y Howell; Nepal, 2012), entre otras. Mabuza, Brent y Mapako, (2007), sostienen que la TT había sido generalmente mal entendida y ampliamente percibida como una simple entrega de equipos de alta tecnología de países desarrollados a países en vías de desarrollo por parte de instituciones de I + D + i a la sociedad.

Las primeras experiencias internacionales de TT de ER datan de 1973 en la crisis del petróleo (Dincer, 2000; Jacobsson y Johnson, 2000). Esta TT de ER ha experimentado su evolución en el tiempo, como indica Painuly, 2001:2: “desde la década de los 70 las energías renovables han ido creciendo proporcionalmente más rápido que otro tipo de energía”.

Sin embargo entre los años 1979 y 1991, menos del 10% del presupuesto de los proyectos a nivel mundial se gastó en impartir las habilidades técnicas y de gestión necesarias para construir las capacidades a nivel nacional (Kozloff y Shobowale, 1994); así mismo entre la década de los 70 y 80 las tecnologías de ER desarrolladas no eran comercialmente interesantes (Jacobsson y Johnson, 2000) y eran propias de las zonas rurales. Es interesante recalcar que antes de 1980, la gran mayoría de la TT de ER se ha centrado en el denominado modelo ***“países industrializados a países menos desarrollados”*** (Bozeman, 2000; Martinot et al., 2002), o también conocido como ***donante-receptor*** (Mathews, 1995). Este enfoque a finales de la década de los 80 colapsó y empezó a tener sus críticas, quedando tanto donantes como receptores desilusionados de los resultados de las TT de las ER para el DR.

Martinot et al., 2002 sostiene que las decepciones y fracasos de muchos de estos proyectos de TT de ER provenían principalmente de dos aspectos: por una parte se pensaba que las tecnologías transferidas eran de segunda clase y que no se querían adoptar en los países donantes; por otra parte se trataba de proyectos meramente técnicos sin considerar los aspectos contextuales y sociales esenciales para poder replicarse.

[1] En África representa el 70% de la población; el 25% en la India; y el 6% en América Latina (REN21, 2013).

De esta forma, desde el año 2001 hasta el 2008 se observa un proceso de cambio en los modelos de TT: se pasa de proyectos enfocados exclusivamente desde la parte ***técnica-ingenieril*** a proyectos que integran también ***aspectos sociales en la planificación***. Se empieza a tomar en cuenta a las personas, su cultura, tradiciones, necesidades haciéndoles partícipes de los proyectos y empoderándoles. Autores como Cherni y Hill (2000), Martinot et al. (2002) y Escalante et al., (2013) coinciden en que adquirir una nueva tecnología requiere de un cambio de actitud y costumbres, constituyéndose como una manera diferente de hacer las cosas.

A partir del año 2008 hasta la actualidad se prima la ***innovación por parte de la manufactura local de las tecnologías*** (Mabuza, Brent y Mapako, 2007; Leary, While y Howell, 2012). Como se evidencia la TT de las ER para el DR se ha desarrollado paulatinamente y dentro de cada región de forma muy diversa y respondiendo a muchos factores entre los cuales destacan: ***el cultural, administrativo, técnico y político*** (Greenn, 1999; Jacobsson y Johnson, 2000; Painuly, 2001; Reddy y Painuly, 2004; Alam Hossain Mondal, Kamp y Pachov, 2010; Gurung et al., 2013). Sin embargo es indispensable que otras investigaciones evidencien la necesidad de coordinación de esfuerzos entre la industria, la empresa privada de financiamiento y todas las demás partes interesadas que continúen facilitando el impulso necesario para avanzar en los mercados de energía rural en países en vías de desarrollo (Gurung et al., 2013).

Actualmente la TT de ER está experimentando una evolución positiva en las zonas rurales, debido a los procesos continuos de innovación que han logrado que las tecnologías sean cada vez más costo eficientes y por lo tanto asequibles a algunos mercados de países en desarrollo (REN, 2012). La TT de ER para el DR incluye tecnologías como la solar fotovoltaica, mini-eólica, biomasa, biogás y también mini-hidroeléctricas, estas tecnologías pueden ser aplicadas dónde sean requeridas satisfaciendo así necesidades energéticas como iluminación para clínicas y escuelas, bombeo de agua en la agricultura, sistemas domésticos individuales, etc (Stapleton, 2009).

Por lo tanto la TT de ER para el DR se vislumbra como una posibilidad de proveer servicios energéticos en las zonas rurales más remotas de los países en vías de desarrollo. Las ER también ofrecen nuevas fuentes de empleo y oportunidades de fabricación de equipos de manera local (Painuly, 2001; Reddy y Painuly, 2004). Así otros autores concuerdan con el potencial de beneficios sociales, ambientales y económicos de la ER en las zonas rurales (Hurst, 1990; Bernardo y Kilayko, 1990; Painuly, 2001; Green, 1999; Dincer, 2000; Martinot et al., 2002; Mabuza, Brent y Mapako, 2007; Cherni y Hill, 2009; Alam Hossain Mondal, Kamp y Pachov, 2010; Pansera, 2012; Leary, While y Howell, 2012; Escalante et al., 2013).

Teniendo en cuenta estos antecedentes y destacando la complejidad que existe a la hora de obtener información referente al avance año tras año en el uso de la energía en zonas rurales y sobretodo el uso de la energía tradicional (REN21, 2012) el presente artículo tiene como objetivos definir los periodos históricos de la evolución de la TT de ER para el DR, para después extraer lecciones de experiencia que mejoren los modelos de dirección y gestión de proyectos de TT de las ER para el DR basados en el marco conceptual del modelo Working With People (WWP) (Cazorla et al., 2013) mismo que se describe a continuación en la metodología.

2. Metodología

Para la realización de este artículo se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica usando las bases de datos Web of Science (Thomson Reuters, 2014) y Scopus (Elsevier B.V., 2014) así como la revisión de documentación de organismos internacionales. Para alcanzar los objetivos de esta investigación, se han seguido las siguientes etapas:

Etapa 1.- Esta etapa se ha concentrado en la revisión de artículos científicos entre los años 1900 hasta la actualidad, tomando en cuenta el año 1900 ya que a partir de ese año se puede realizar la búsqueda en las dos bases de datos. Posteriormente la búsqueda ha

hecho referencia a las palabras clave: *transferencia tecnológica; energías renovables; desarrollo rural; Working With People; planificación.*

Etapa 2.- A partir de los artículos obtenidos en la Etapa 1, se ha procedido a estructurar la información buscando así el punto de partida en el cual ha iniciado históricamente el desarrollo de la TT de las ER para el DR. Para definir los diferentes periodos históricos se han considerado tres criterios: los sucesos o hitos históricos ocurridos, el papel de las partes implicadas y el cambio de objetivos en relación con la TT de las ER para el DR. La duración de cada periodo se explica mediante la tendencia de cambio de actitudes reflejada en los periodos.

Etapa 3.- Un vez estructurada la información de la revisión bibliográfica se ha procedido a analizar y sintetizar las lecciones de experiencia. Tanto los periodos históricos como los principales aprendizajes desde su etapa inicial se constituyen como elementos que permiten extraer lecciones de experiencia para mejorar los modelos de dirección y gestión de TT de las ER para el DR.

Las lecciones de experiencia se basan en el marco conceptual del modelo Working With People (WWP) (Cazorla et al., 2013) utilizado para la planificación y dirección de proyectos de DR de alta complejidad social. El modelo WWP basado en la primacía de las personas locales, sus valores y cultura, es el resultado de la experiencia en planificación y DR en diferentes contextos europeos y de países emergentes y se considera como un nuevo enfoque de gestión de proyectos para el desarrollo regional en la post-modernidad en las zonas rurales.

Dentro del marco conceptual WWP se integran los enfoques participativos, los principios de la planificación como aprendizaje social, y metodologías de formulación y evaluación de programas y proyectos para el DR (Cazorla et al., 2013). El modelo WWP se basa en los siguientes principios: el ***enfoque centrado en las personas***, respetando sus derechos, tradiciones y cultura; ***garantizar el bienestar social y el desarrollo sostenible*** y los ***enfoques ascendentes*** que promueven el desarrollo de capacidades locales para el desarrollo de su territorio, desde una perspectiva de desarrollo ***endógeno e integrado***. Es así que estos principios del modelo WWP buscan redefinir el desarrollo regional a lo largo de tres grandes componentes: ***ético-social, técnico-empresarial, y política-contextual.***

La componente ***ético-social***, relacionada con las competencias de comportamiento y la construcción de capital social estructural, cognitivo y relacional; desde esta dimensión se analizan las habilidades de comportamiento que se integran con la ética y los valores como elementos más adecuados para superar los posibles conflictos morales en relación con las partes implicadas en el proyecto (IPMA, 2010). La componente ***técnico-empresarial***, que integra los elementos técnicos del proyecto y el desarrollo de capital humano; y la componente ***político-contextual***, se refiere a los elementos necesarios para interactuar con el contexto social, político, incluyendo una buena organización interna que facilite la participación e implicación social que sea también de utilidad para el pueblo y adaptable a los cambios (Sastre, Negrillo y Hernández, 2013).

Este marco conceptual apuesta por la planificación ***desde abajo*** o ***"bottom up"*** como una forma de mejorar los programas y proyectos de DR y se considera igualmente valido y de gran utilidad para abordar los proyectos de TT de las ER para el DR.

3. Resultados y discusión

Cada periodo histórico se caracteriza por presentar una duración diferente en el transcurso del tiempo es así que: el **Periodo 1** dura 7 años, el **Periodo 2** abarca dos décadas, el **Periodo 3** dónde no se puede decir a ciencia cierta en qué año se produce el cambio al siguiente periodo histórico, es de aproximadamente 8 años y el **Periodo 4** que se está cursando actualmente posee una duración de 7 años.

Periodo 1.- Este periodo posee una duración de 7 años y se ha denominado como ***iniciación o concientización*** y va desde el año 1973 hasta 1980. Este periodo toma como

punto de partida casi toda la década de los 70 (Jacobsson y Johnson, 2000; Dincer, 2000; Painuly, 2001). En esta época el acontecimiento más relevante es la concientización sobre la utilización de otras formas de energía, es así como la crisis del petróleo en 1973 se vislumbra como el inicio de este periodo (Jacobsson y Johnson, 2000). Inicialmente la TT de las ER tenía una connotación meramente rural, así lo explican Jacobsson y Johnson (2000) puesto que entre la década de los 70 y 80 las tecnologías de ER no eran comercialmente interesantes y se utilizaban más en el medio rural que con fines de comercialización a mayor escala.

Periodo 2.- Con una duración de aproximadamente dos décadas, se ha caracterizado por presentar una visión ***técnico-ingenieril***, un enfoque descendente ***desde arriba*** o ***"Top down"***.de cómo gestionar los proyectos de TT de las ER para el DR y data desde el año 1981 hasta el año 2000. Dentro de este periodo, la década de los 90 se ha convertido en un etapa sustancial con respecto a la difusión de las ER (Jacobsson y Johnson, 2000).

En este periodo meramente ingenieril se ha conceptualizado erróneamente la TT y por muchos años se ha tenido el supuesto que las inversiones y la TT por sí mismas generarían crecimiento y desarrollo económico en el medio rural, lo cual no ha ocurrido necesariamente, ya que a nivel local no se han desarrollado las capacidades adecuadas para mantener y gestionar los proyectos una vez finalizados los mismos (Horton, 2004).

Periodo 3.- De aproximadamente 8 años de duración se ha caracterizado por la ***integración social*** los organismos nacionales e internacionales encargados de la TT para el DR han empezado a involucrar a los beneficiarios directos, para asegurar el éxito y sostenibilidad de las intervenciones (UNDP, 2006; WRI, 2008), por lo cual la parte operativa y la planificación de la idea del proyecto se sirven del conocimiento local (Cazorla et al., 2004). Esto ha significado un cambio en las políticas de desarrollo, bajo un enfoque de planificación ***desde arriba*** o ***"Top down"*** a un enfoque de planificación ***desde abajo*** o ***"Bottom up"*** (Brown et al., 2001; Cazorla et al., 2004).

Este periodo ha abarcado los años 2001 hasta aproximadamente 2007/8 y se ha caracterizado por que los actores empiezan a tener prioridad dentro de la TT de las ER, se ha destacado que adquirir una nueva tecnología implica un cambio de actitud (Martinot et al., 2002; Cherni y Hill, 2009; Escalante et al., 2013). Aquí se ha primado que la dimensión social es básica y su abandono conlleva a la principal causa de fracaso de los proyectos de DR (Chambers, 1997; Cazorla y De los Ríos, 2013).

Periodo 4.- Este periodo ha arrancado aproximadamente desde el año 2008 hasta la actualidad y se ha caracterizado por la primacía de la búsqueda de la ***innovación*** en todos los elementos de la TT, constituyéndose así la ***manufactura, producción, mantenimiento y operación local*** (Mabuza, Brent y Mapako, 2007; Leary, While y Howell, 2012) en ejes importantes a la hora de promover el desarrollo de las capacidades de la población rural. Esta innovación se define esencialmente como un proceso y se obtiene principalmente a partir de los conocimientos locales (Cazorla et al, 2013).

A continuación la Tabla 1 muestra los periodos históricos de la TT de las ER para el DR que ha ido evolucionando desde esquemas de carácter descendente a otros más participativos.

Tabla 1. Periodos históricos de la TT de las ER para el DR.

Periodos	Años	Enfoque	Aspectos relevante
1	1973-1980	Iniciación o concientización	Crisis del petróleo, necesidad de otras formas de energía (Jacobsson & Johnson, 2000).
2	1981-2000	Técnico - Ingenieril	Criterios técnicos, conceptualización errónea de TT. Proyecto basado en la ingeniería, la racionalidad científica, los enfoques de arriba hacia abajo (Bond & Hulme, 1999).
3	2001-2007/8	Integración social	Los actores empiezan a tener prioridad dentro de la TT de las ER para el DR, adquirir una nueva tecnología implica cambio de actitud (Martinot et al., 2002; Cherni & Hill, 2009).
4	2008-actual	Manufactura local e innovación	Producción, mantenimiento y operación local (Leary, While & Howell, 2012). Innovación en el medio rural.

Fuente: Elaboración propia.

Entre las principales ***lecciones de experiencia*** desde la dimensión ***ético-social*** del modelo WWP, se puede destacar que en sus inicios, es decir en el ***Periodo 1,*** se toma en consideración la necesidad de otras formas de energía (Jacobsson y Johnson, 2000; Dincer, 2000; Painuly, 2001) que puedan proveer de servicios energéticos a nivel rural.

A partir del ***Periodo 2*** se estima que la TT en general requiere de cambios de comportamiento de todas partes interesadas frente a la adopción de una nueva tecnología (Bernardo y Kilayko, 1990), sin embargo las tecnologías que mejor se asimilan son las que requieren pocos cambios de actitudes y comportamientos de los beneficiarios (Hurst, 1990).

Posteriormente en el ***Periodo 3*** se concibe a la TT como algo socialmente integrado debido al reconocimiento de la variedad de los conocimientos y habilidades locales. Es así que surge la validación del conocimiento experto de dirección y gestión de proyectos y el conocimiento experimentado de las partes implicadas (Friedmann, 1993; Cazorla y Friedmann, 1995) suponiendo así un proceso participativo organizado que permite orientar la búsqueda del conocimiento de las personas e instituciones a la hora de hacer una eficiente TT de ER para el DR. Las opiniones son tan variadas dentro del proceso de TT que es muy importante que las partes interesadas participen no sólo en la identificación de la barreras de penetración de la tecnología, sino también en la identificación de medidas para superarlas (Painuly, 2001).

Más adelante en el ***Periodo 4*** se determina que para que una TT sea exitosa en un área determinada, los conocimientos y habilidades suficientes a nivel local deben estar disponibles para implementar, mantener, y si es necesario reparar la tecnología (Alam Hossain Mondal, Kamp y Pachova, 2010). También es importante recalcar que la tecnología a ser transferida debe encajar en el contexto institucional local, incluyendo los aspectos culturales, los programas de políticas, incentivos financieros, los niveles de educación, etc (Alam Hossain Mondal, Kamp y Pachova, 2010). Por otro lado el equipo y los materiales necesarios para construir y mantener las tecnologías, así como las estructuras organizativas necesarias para garantizar su sostenibilidad a largo plazo deben ser locales (Leary, While y Howell, 2012), también se analiza que la falta de inserción de las ER no solo se debe a la falta de desconocimiento de su potencial sino también al ya mencionado cambio cultural es decir a un cambio en los hábitos de los beneficiarios (Cherni y Hill, 2000; Martinot et al., 2002 y Escalante et al., 2013).

Desde la dimensión ***técnico-empresarial***, se hace referencia a la integración de los elementos técnicos del proyecto y el desarrollo del capital humano, es decir las habilidades y conocimientos para gestionar exitosamente los proyectos, y se sirve de una adecuada integración social, que incluya a todas las personas afectadas y trabaje de forma conjunta (Cazorla et al., 2013). Es así que para el ***Periodo 1*** las pequeñas y medianas empresas (PYMES) empiezan a caer en cuenta sobre la necesidad de crear nueva tecnología de innovación para satisfacer las necesidades energéticas (Khabiri, Rast, y Senin, 2012). Así mismo la elección del tipo de tecnología a ser transferida es de suma importancia para así no despilfarrar los recursos económicos y humanos disponibles.

En el ***Periodo 2*** los donantes deben restructurar su asistencia para el desarrollo enfocándose en que lo realmente es importante a la hora de hacer TT de ER, es decir los modelos de negocio, de entrega y de crédito que sean viables y replicables (Martinot et al., 2002) para así lograr el éxito de las intervenciones. Este periodo cayó en la concepción errónea de hacer planificación basada en enfoques ***técnico- ingenieriles*** y ***desde arriba*** o ***"Top-down"***.

A partir del ***Periodo 3*** otro aspecto que dificulta la TT de ER son las normas energía - mercado que están basadas en un sistema de monopolio establecido por décadas y considerado más o menos fiable (Reddy y Painuly, 2004), como consecuencia los gobiernos no quieren incursionar en algo relativamente nuevo y desconocido por lo cual el gobierno, los representantes de negocios, la industria y los clientes encuentran una serie de barreras a la hora de abordar la TT de ER en el ámbito nacional (Reddy y Painuly, 2004).

Documentar e intercambiar las lecciones de experiencia es fundamental como parte de la gestión tecnológica así mismo la TT de las ER no solo está limitada a desarrollar capacidades de adaptación, operación y mantenimiento de la tecnología sino también a construir industrias manufactureras locales (Mabuza, Brent y Mapako, 2007) y que estas permitan el DR de las regiones.

En el ***Periodo 4*** los proyectos de corte de gobierno o corte clásico donde los donantes internacionales están enfocados solo en I + D, pero no en industrialización y comercialización de productos, no involucran al sector privado (Alam Hossain Mondal, Kamp y Pachov, 2010), lo cual dificulta la fabricación local que tiene el potencial de impulsar la economía, fomentar la capacidad, reducir los costos y producir sistemas de energías rural resistentes y flexibles (Leary, While y Howell 2012).

En la dimensión ***político-contextual*** que se refiere a los elementos necesarios para interactuar con el contexto social, político, incluyendo una buena organización interna que facilite la participación, se puede apreciar que en ***Periodo 1*** existía una formulación precaria de políticas e incentivos en fin de buscar nuevas fuentes energéticas como es el caso de las ER.

A partir del ***Periodo 2***, se observa que lastimosamente con frecuencia burócratas del gobierno en conjunto con proveedores de tecnología en el extranjero han sido quienes

toman las decisiones cruciales sobre la TT de ER para el DR (Green, 1999). En este periodo se pasa por alto la influencia de la política nacional e internacional, sobre la elección de la tecnología y de su patrón de implementación (Green, 1999) dando como consecuencia que la mayor parte de la asistencia oficial para el desarrollo de ER en zonas rurales, se centre en la parte técnica o en proyectos que no podrían reproducirse (Martinot et al., 2002).

Durante el ***Periodo 3*** es imprescindible recalcar que la identificación de barreras se inicia con la selección de tecnologías de ER y los proyectos relacionados en el país, por lo tanto las medidas para superar a las barreras han de ser únicas para cada país y región dentro del contexto de estudio (Painuly, 2001).

Es indispensable incentivar a la política pública para que apoye la TT de las ER, dejando a un lado los fracasos pasados y el poco margen de crecimiento y rentabilidad de los inversores (Reddy y Painuly, 2004), que sumado a la falta de viabilidad del plan de gestión tecnológica y de proyectos (Mabuza, Brent y Mapako, 2007) se conforman como una barrera de penetración a la hora de hacer TT.

A lo largo del ***Periodo 4*** se ha demostrado que la TT de ER funciona de manera más eficiente si se toman en cuenta las prioridades de la población local junto con los objetivos de política ambiental de gobierno (Cherni y Hill, 2009). Establecer una buena coordinación entre los organismos e instituciones que regulen la prestación de servicios de ER para así utilizar eficientemente los recursos humanos y financieros limitados en esta área (Alam Hossain Mondal, Kamp y Pachov, 2010) es imprescindible. Es así que el suministro de energía eléctrica a partir de ER para comunidades aisladas de zonas rurales puede no lograr el resultado deseado a largo plazo a menos que su desarrollo sea parte de la más amplia política nacional orientada al desarrollo sostenible y la equidad social (Cherni y Hill, 2009).

En este periodo se evidencia que la multidimensionalidad de los procesos, la continuidad, el seguimiento de las acciones, la perspectiva del medio ambiente, la inclusión social, la importancia de la información y formación de capacidades, así como la relevancia de la interacción entre los actores (Escalante et al., 2013) ha sido determinante a la hora de hacer TT de ER para el DR.

A continuación la Tabla 2 nos muestra las principales lecciones de experiencia adquiridas a partir de las tres dimensiones del marco conceptual del modelo WWP.

Tabla 2. Lecciones de experiencia adquiridas a partir de las tres dimensiones del marco conceptual del modelo WWP.

Periodo	Dimensión ético-social	Dimensión técnico-empresarial	Dimensión político-contextual
1 (1973-1980) *Iniciación o concientización*	Concientización sobre la necesidad de otras formas de energía (Jacobsson & Johnson, 2000; Dincer, 2000; Painuly, 2001).	Necesidad de crear nueva tecnología de innovación para satisfacer las necesidades energéticas por parte de las PYMES (Khabiri, Rast, & Senin, 2012).	Formulación precaria de políticas e incentivos en fin de buscar nuevas fuentes energéticas como es el caso de las ER.
2 (1981-2000) *Técnico-Ingenieril*	Cambio de comportamiento al asimilar una nueva tecnología (Filipinas, Bernardo & Kilayko, 1990, Hurst, 1990).	Modelos de negocio, entrega y crédito que sean viables y replicables (Martinot et al., 2002).	Burócratas del gobierno y proveedores de tecnología en el extranjero son quienes tomaban las decisiones (Green, 1999).
	Cambios de actitudes y comportamientos de los beneficiarios a la hora de asimilar la tecnología (Hurst, 1990).	Enfoques *técnico- ingenieriles* y *top-down* o *"desde arriba"*.	
3 (2001- 2007/8) Inclusión social	Participación de los beneficiarios en la identificación de las barreras y medidas para superarlas (Painuly, 2001).	Sistema de monopolio de energía más o menos fiable establecido, lo que provoca barreras a la hora de abordar la TT de ER (Reddy & Painuly, 2004).	Las barreras son únicas para cada país y región dentro del contexto de estudio (Painuly, 2001).
	Revisión bibliográfica, estudio de proyectos existentes, implicación con las partes interesadas y beneficiarios (Painuly, 2001).	Construir industrias manufactureras que impulsen el desarrollo local (Mabuza, Brent & Mapako, 2007).	Incentivar a la política pública para que apoye la TT de las ER así como la internalización del costo medio ambiental (Reddy & Painuly, 2004).
			Falta de viabilidad del plan de gestión tecnológica y de proyectos (Mabuza, Brent & Mapako, 2007).
4 (2008- actual) *Manufactura local e innovación*	Priorizar la investigación social (Cherni & Hill, 2009).	Los proyectos de corte de gobierno con donantes internacionales están enfocados solo en I+D, y no en industrialización y comercialización de productos, lo cual no involucra al sector privado (Alam Hossain Mondal, Kamp & Pachov, 2010).	Suministro eléctrico parte de política nacional orientada al desarrollo sostenible y la equidad social (Cherni & Hill, 2009).
	Fomentar conocimientos y habilidades para implementar, mantener, y reparar la tecnología (Alam Hossain Mondal, Kamp & Pachova, 2010).	Impulsar la economía y capacidad local, reduce los costos y produce sistemas de energía rural resistentes y flexibles (Leary, While & Howell 2012).	Implementar incentivos financieros con el fin de alentar las inversiones (Alam Hossain Mondal, Kamp & Pachov, 2010).
	El equipo y los materiales para construir y mantener las tecnologías deben ser locales (Leary, While & Howell, 2012).		Desarrollar políticas específicas para fomentar el uso y la producción de energía limpia (Pansera, 2012).
	El desconocimiento influye en la falta de inserción de las ER (Escalante et al., 2013).		Las políticas deben incentivar la producción local (Leary, While & Howell, 2012).

Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

La conceptualización de transferencia tecnológica (TT) de las energías renovables (ER) para el desarrollo (DR) ha ido evolucionando en el transcurso de los años y se percibe como un proceso dinámico y complejo, sensible a los diferentes cambios sociales, económicos, políticos y ambientales del contexto que gracias a la implementación de las nuevas formas de hacer planificación, se han podido mejorar los procesos de gestionar la misma. El intercambio de conocimiento experto proveniente de técnicos, ingenieros, académicos y el experimentado que surge de la población/ beneficiarios del proyecto, así como el respeto a la diversidad de culturas y costumbres junto con la participación son fundamentales a la hora de hacer la planificación. Este intercambio de conocimientos impulsa el fortalecimiento progresivo de la población/beneficiarios, mientras que el técnico local del proyecto quién se convierte en facilitador del proceso de asimilación y discusión de la información obtenida para así buscar las futuras acciones posibles frente a las necesidades reales de la población.

Cabe destacar que la determinación de los periodos históricos ha sido inédita y se ha realizado mediante la exhaustiva revisión bibliográfica y apoyada en los conocimientos adquiridos en planificación y dirección de proyectos de DR, determinando así los cuatro periodos históricos de la TT de las ER para el DR, mismos que han mostrado que dicho proceso ha evolucionado desde los primeros enfoques de ***iniciación o concientización***, siguiendo a modelos ***técnico-ingenieriles***, pasando por una adecuada ***inclusión social*** participativa hasta llegar a un periodo que promueve la ***manufactura local e innovación***.

El modelo Working with People (WWP), contribuye a la sostenibilidad de los proyectos de DR y es aplicable a cualquier área como por ejemplo la TT de ER ya que el modelo sitúa en el centro del proyecto a las personas y hace que su participación bajo el enfoque del aprendizaje social implique un permanente intercambio de conocimientos que va generando capacidades locales logrando el empoderamiento de las personas.

La generación de lecciones de experiencia basadas en las componentes del modelo WWP nos ha llevado a una profunda reflexión de los acontecimientos ocurridos en el transcurso de los años en la TT de las ER para el DR es así que desde la dimensión ***ético-social*** es imprescindible tomar en consideración la primacía e importancia de la gente como participe en cada una de las etapas del proyecto considerándolas como primordiales a la hora de identificar barreras y también buscar soluciones a las mismas, la consideración de su cultura, tradiciones es algo que no se puede pasar por alto a la hora de hacer planificación.

Desde la dimensión ***técnico-empresarial*** la creación de manufacturera local es imprescindible ya que permite un fomento a la innovación, no olvidar que cada solución técnica debe ser basada en las características de la región, localidad, zona de intervención donde sus necesidades son únicas.

Desde la dimensión ***político-contextual*** los incentivos necesarios que faciliten la TT deben ser gestionados desde una política que utilice modelos participativos para identificar las verdaderas necesidades de la población. Las políticas pro TT deben ser diseñadas desde modelos de planificación ***desde abajo*** o ***"Bottom-up"*** dónde la primacía de las personas, sus necesidades sea respetada y valorada.

5. Referencias

Alam Hossain Mondal, M., Kamp, L. M., & Pachova, N. I. (2010). Drivers, barriers, and strategies for implementation of renewable energy technologies in rural areas in Bangladesh—An innovation system analysis. *Energy Policy, 38*(8), 4626-4634.

Bernardo, F. P., & Kilayko, G. U. (1990). Promoting rural energy technology: the case of gasifiers in the Philippines. *World development*, *18*(4), 565-574.

Bond, R. & Hulme, D. (1999). Process Approaches to Development: Theory and Sri Lankan Practice. World Development, *27*(8), 1339-1358.

Bozeman, B. (2000). Technology transfer and public policy: a review of research and theory. *Research policy*, *29*(4), 627-655.

Brown, L., LaFond, A., & Macintyre, K. (2001). Measuring capacity building. MEASURE Evaluation. Carolina Population Center, University of North Carolina at Chapel Hill.

Cazorla, A., & Friedmann, J. (1995) *Planificación e ingeniería. Nuevas tendencias.* Madrid: UPM

Cazorla, A., & de los Ríos, I. (2001). The new Social Sensibility in the Rural Development Engineering. First International Joint Work Shop on Rural Development Engineering. Rural Development Network. Tampere (Finlandia).

Cazorla, A., de los Ríos, I. & Salvo, M. (2004). Modelos de planificación para un desarrollo rural y local. Departamento de Proyectos y Planificación. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.

Cazorla, A.; I. De los Ríos, I., & M. Salvo. (2013). Working With People (WWP) in rural development projects: A proposal from social learning. *Cuadernos de desarrollo rural – International Journal of Rural Development 10*(70), 131-157.

Chambers, R. (1997). Whose reality counts? Putting the first last. Londres: Intermediate Technology Publications.

Cherni, J. A., & Hill, Y. (2009).Energy and policy providing for sustainable rural livelihoods in remote locations–The case of Cuba. *Geoforum*, *40*(4), 645-654.

Dincer, I. (2000). Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *4*(2), 157-175.

Escalante, K. N., Belmonte, S., & Gea, M. D. (2013). Determining factors in process of socio-technical adequacy of renewable energy in Andean Communities of Salta, Argentina. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *22*, 275-288.

Friedmann, J. (1993). Toward a non-Euclidian mode of planning. *Journal of the American Planning Association*, *59*(4), 482-485.

Green, D. (1999). Cross cultural technology transfer of sustainable energy systems: a critical analysis. *Renewable Energy*, *16*(1), 1133-1137.

Gurung, A., Karki, R., Cho, J. S., Park, K. W., & Oh, S. E. (2013). Roles of renewable energy technologies in improving the rural energy situation in Nepal: Gaps and opportunities. *Energy Policy*, *62*, 1104-1109.

Horton, D. (2004). ¿Cómo planificar, implementar y evaluar el desarrollo de capacidades? ISNAR Briefing Paper, 64.

IPMA (2010). NCB - Bases para la competencia en dirección de proyectos. Versión 3.1. Valencia (Spain): AEIPRO (Spanish Project Engineering Association).

Jacobsson, S., & Johnson, A. (2000). The diffusion of renewable energy technology: an analytical framework and key issues for research. *Energy policy*, *28*(9), 625-640.

Jacobsson, S., & Bergek, A. (2004).Transforming the energy sector: the evolution of technological systems in renewable energy technology. *Industrial and corporate change*, *13*(5), 815-849.

Khabiri, N., Rast, S., & Senin, A. A. (2012). Identifying main influential elements in technology transfer process: a conceptual model. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 40*, 417-423.

Kozloff, K., & Shobowale, O. (1994). *Rethinking development assistance for renewable electricity* (p. 1). Washington, DC: World Resources Institute.

Leary, J., While, A., & Howell, R. (2012). Locally manufactured wind power technology for sustainable rural electrification. *Energy Policy*, *43*, 173-183.

MacDonald, J. (1992). A challenge to the Means of Technology Transfer. Obtenido de: http://repositories.cdlib.org/igcc/PP/PP02/

Mathews, J. A. (1995). *High technology industrialisation in East Asia: the case of the semiconductor industry in Taiwan and Korea* (No. 4). Chung-Hua Institution for Economic Research.

Mapako, M. C., Mbewe, A., & Habtetsion, S. (2004). Renewables and energy for rural development in Sub-Saharan Africa. Zed Books. London

Mabuza, L. O., Brent, A. C., & Mapako, M. (2007). The transfer of energy technologies in a developing country context-towards improved practice from past successes and failures. Obtenido de: http://www.repository.up.ac.za/handle/2263/4854

Martinot, E., Chaurey, A., Lew, D., Moreira, J. R., & Wamukonya, N. (2002). Renewable energy markets in developing countries. *Annual Review of Energy and the Environment*, *27*(1), 309-348.

Nepal, R. (2012). Roles and potentials of renewable energy in less-developed economies: The case of Nepal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(4), 2200-2206.

Painuly, J. P. (2001). Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis. *Renewable energy, 24*(1), 73-89.

Pansera, M. (2012).Renewable energy for rural areas of Bolivia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(9), 6694-6704.

Reddy, S., & Painuly, J. P. (2004). Diffusion of renewable energy technologies-barriers and stakeholders' perspectives. *Renewable Energy*, *29*(9), 1431-1447.

Ren21, R. (2012). Global status report. *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris, France.*

Ren21, R. (2013). Global status report. *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris, France.*

Sastre-Merino, S., Negrillo, X., & Hernández-Castellano, D. (2013). Sustainability of Rural Development Projects within the Working With People Model: Application to Aymara Women Communities in the Puno Region, Peru. *Cuadernos de Desarrollo Rural, 10* (70), 219-244.

Stapleton, G. J. (2009). Successful implementation of renewable energy technologies in developing countries. *Desalination*, *248*(1), 595-602.

UNDP (2006). Capacity diagnostics methodology. Users guide. New York: Capacity Development Group, Bureau for Development Policy.

World Resources Institute (WRI) in collaboration with United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, and World Bank. (2008). World Resources 2008: Roots of Resilience—Growing the Wealth of the Poor. Washington, DC: WRI.

WEO, I. (2012). World Energy Outlook 2012. International Energy Agency. Paris. Obtenido de: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Spanish.pdf

06-005

RURAL PROSPERITY IN AN AGRARIAN SOCIETY: PROJECT ORIENTATION THROUGH THE WWP MODEL

Rivera , Maria; Garcia, Carmen; de los Rios, Ignacio
UPM

The concept of prosperity is being redefined from a new point view that takes into account not only economic aspects but also social ones. This new vision of prosperity is studied within the three dimensions of the Working With People model. The aim of this paper is to illustrate the concept of prosperity in agricultural systems by analyzing a case study in the Region of Murcia, Camposeven, where their new understanding of prosperity in the rural environment and new forms of knowledge and learning have made the society a success and a good practice example. The society Camposeven understands prosperity, not only as economic efficiency, but also as a model where worker's satisfaction, investment in R + D + i and concern for the environment are key factors for a farm to thrive. This new definition is achieved through different viewpoints: farmers, members of the public sphere, workers of the SAT and people from different agricultural organizations among others. Because of this, Camposeven has committed to organic and biodynamic farming in order to reach a long-term differentiation within a very competitive and traditional agricultural environment –they have increased their sales significantly in just 7 years after its creation.

Keywords: *Working With People; Prosperity; Rural; Development; Knowledge; Learning*

LA PROSPERIDAD RURAL EN UNA SOCIEDAD AGRARIA: ORIENTACIÓN POR PROYECTOS DESDE EL MODELO WWP

El concepto de la prosperidad está siendo redefinido desde un nuevo punto de vista que tiene en cuenta no sólo los aspectos económicos, sino también los sociales. Esta nueva visión de la prosperidad se estudia dentro de las tres dimensiones del modelo Working With People. El objetivo de este trabajo es ilustrar el concepto de prosperidad en los sistemas agrícolas mediante el análisis de SAT Camposeven, donde su nueva comprensión de la prosperidad en el medio rural y las nuevas formas de conocimiento y de aprendizaje han hecho que la sociedad sea un éxito y un ejemplo de buenas prácticas. Camposeven entiende la prosperidad, no sólo como rentabilidad económica, sino también como un modelo en el que la satisfacción del trabajador, la inversión en I + D + i y la preocupación por el medio ambiente son factores clave para que la explotación agrícola prospere. Esta nueva definición se logra a través de diferentes puntos de vista: agricultores, agentes del ámbito público, trabajadores y personas de diferentes organizaciones. Por ello, Camposeven se ha comprometido con la producción de agricultura ecológica y biodinámica con el fin de alcanzar una diferenciación a largo plazo en un entorno agrícola muy competitivo y tradicional.

Palabras clave: *Working With People; Prosperidad; Rural; Desarrollo; Conocimiento; Aprendizaje*

Correspondencia: Maria Rivera maria.rivera@upm.es

1. Introducción

Convencionalmente, los conceptos de prosperidad y bienestar han estado fuertemente vinculados al rendimiento económico, y en consecuencia, el crecimiento se ha medido tradicionalmente a través del Producto Interior Bruto (PIB), basado en el aumento de la producción. Sin embargo, el crecimiento de la producción no representa con precisión el crecimiento del bienestar social, debido a que el PIB sólo tiene en cuenta los bienes y servicios que se comercializan en el mercado o que tienen precios adjuntos (Baumol, Litan & Schramm 2007; Darnhofer et al, 2014). El uso generalizado del PIB como indicador clave de la prosperidad ha sido ampliamente criticado ya que no tiene en cuenta servicios no remunerados (como el trabajo doméstico y el trabajo voluntario), las externalidades negativas (degradación del medio ambiente) y los cambios en la base de los activos que afectan a nuestras posibilidades de consumo, (Stiglitz, Sen & Fitoussi, 2009).

En consecuencia, desde 1970, se inició un proceso de reformulación de los conceptos clave y definiciones alternativas, y se desarrollaron indicadores para medir el progreso. Por ejemplo, Jackson (2009, p. 44) señala que, en un mundo con límites, algunos tipos de libertad son inmorales por ejemplo, la libertad de acumular bienes materiales sin fin a pesar de que ello conlleve trabajo infantil.

La comprensión de la prosperidad desde esta nueva perspectiva implica que el crecimiento económico a nivel regional y la eficiencia económica de las explotaciones no son signos propios de prosperidad en las zonas rurales. Por lo tanto, las grandes explotaciones especializadas ya no deberían ser el modelo ideal a seguir en las zonas rurales. Las pequeñas explotaciones pueden vincularse con hermosos paisajes, de pequeña escala y producción ecológica abandonando la producción intensiva (Darnhofer et al, 2014). Shucksmith y Rønningen (2011) ponen en relieve el hecho de que las pequeñas explotaciones pueden representar un soporte sobre el que los hogares rurales pueden sustentar sus medios de vida a través de la diversificación de la actividad y mantener, así, la población en zonas en las que, sin ellas, se hubieran perdido.

Con esto en mente, en este trabajo se analiza cómo una pequeña cooperativa agrícola, denominada Camposeven, que utiliza sistemas de producción biodinámicos y ecológicos, situada en el sureste de España (Región de Murcia), es capaz de prosperar sin seguir los sistemas convencionales de crecimiento económico y de eficiencia de las explotaciones. Tanto el proceso de evolución de la organización, así como las opiniones de los principales grupos de interés han sido analizados para incorporarlo a esta nueva reformulación del concepto, además de como las principales estrategias seguidas por la cooperativa con el fin de conseguir ser próspera. El análisis está basado en el marco conceptual Working With People (WWP) (Cazorla, De los Ríos & Salvo, 2013), cuyo objetivo es mejorar los valores de las personas y el intercambio de conocimientos para alcanzar prosperidad a largo plazo. En el núcleo del modelo de WWP, el equilibrio entre las tres dimensiones de competencias – competencias técnicas, de comportamiento y contextuales - es básico. Este modelo conduce a un progreso considerable debido al equilibrio entre las funciones de los agentes y un empoderamiento en las cuatro (Cazorla, De los Ríos & Salvo, 2013). La prosperidad dentro del modelo WWP incluye los siguientes principios y valores: el respeto y la primacía de las personas; garantizar el bienestar social y el desarrollo sostenible; un enfoque multidisciplinario y de abajo a arriba; y un enfoque endógeno e integrado.

En definitiva, el objetivo de esta investigación es analizar, desde el mencionado marco conceptual WWP, cómo unos agricultores con gran experiencia en el sector comienzan un nuevo proyecto, Camposeven, y consiguen en siete años ser una cooperativa exitosa y próspera. Todo ello, basándose en valores tales como la confianza y la ética en los negocios, el trabajo en equipo y apostando por la calidad de sus productos y la salud de las personas

mediante la producción de cultivos hortofrutícolas ecológicos y biodinámicos. Además, el estilo de liderazgo llevado a cabo tanto por el director gerente como por los responsables de cada uno de los departamentos de la organización, sigue el modelo IPMA en dirección de proyectos siendo fundamental en este proceso.

1.1 Proceso evolutivo de Camposeven

Camposeven, el caso de estudio de este trabajo, se encuentra situado en un área de la Región de Murcia denominada Campo de Cartagena. A nivel espacial, la escala territorial analizada es la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (Cartagena, San Javier, San Pedro del Pinatar, Torre Pacheco, La Unión y Los Alcázares), aunque el pueblo de Pilar de la Horadada de la provincia de Alicante (Comunidad Valenciana) también está incluido. Esta zona presenta un sistema agrícola típico, que cuenta con 1.163 km^2 y una población total de 358.927 habitantes. En esta región la industria alimentaria tiene una larga tradición en la red de producción. El Campo de Cartagena, con el 12% de la superficie regional, concentra el 17% de las tierras de cultivo de la región, de los cuales 44% son cultivos de regadío, y cuenta con sistemas agrícolas altamente técnicos y competitivos. Los productos más importantes en términos de superficie de riego son: lechuga (5.268 ha.), melón (4.779 ha.), alcachofa (3.148 ha.), brócoli (2.442 ha.) y tomate (933 ha.). El cultivo en invernadero es el más predominante, ya que en el Campo de Cartagena, este tipo de producción, implica el 57% del total de cultivos (INFO, 2013).

La sociedad Camposeven fue fundada por siete agricultores en 2007. Anteriormente, durante más de treinta años, estos agricultores formaron parte de otra cooperativa también dedicada a la comercialización de productos hortofrutícolas, lo que implica que estos agricultores cuentan con una amplia experiencia en este sector y en la producción, transformación y comercialización de los cultivos. Asimismo, el actual director ejecutivo de Camposeven fue también director general de la cooperativa anterior hasta el año 2006. Por aquel entonces, dicha cooperativa contaba con, aproximadamente, 480 socios, 600 empleados, 60 millones de euros de ventas, y 83.000 toneladas de producción. Sin embargo, esta cooperativa sólo producía, y produce, productos convencionales. El año 2007 marcó un punto de inflexión para estos 7 agricultores que decidieron abandonar la antigua cooperativa y crear la suya propia, hecho que fue motivado por los desacuerdos sobre el modo de funcionamiento de la anterior cooperativa (todos los socios agricultores manifestaron este motivo en las entrevistas). Estos siete socios querían formar una nueva sociedad, basada en la confianza y la transparencia, que se centrase más en la calidad de los productos que en la cantidad de producción. Es por ello que en la misión de la actual sociedad quedan reflejados perfectamente estos ideales: "favorecer la salud de las personas desarrollando líneas de productos ecológicos mediante técnicas sostenibles" (Camposeven, 2014). Debido a esto, el factor distintivo y la principal característica de Camposeven es que la mayoría de sus productos se cultivan siguiendo las normativas europeas de producción ecológica. Estos pilares han sido claves para adaptarse a un contexto complejo y adverso, superando, unidos, diferentes desafíos.

En sus comienzos, Camposeven fue formada por siete familias productoras que contaban con 200 hectáreas de tierra y 13 variedades de productos (Camposeven, 2014). Camposeven ha sido creado por los agricultores, y ellos son los que ejecutan y dirigen el negocio. Los agricultores son empresarios que tienen plena autonomía en Camposeven, esto significa que tienen el control total de los recursos los cuales incluyen la tierra, el trabajo, el conocimiento y las redes, siempre sobre la base de una relación de confianza y ética. En 2008, primer año de comercialización, el nivel de ventas alcanzó 7.056.871 euros (Camposeven, 2014). Su producto principal era y todavía es el pimiento, muy común en la zona del Campo de Cartagena por las favorables condiciones climatológicas de la zona. Sumergirse en esta aventura, justo en el comienzo de la crisis económica mundial, demuestra el carácter emprendedor de los agricultores. En 2011 el número de familias productoras aumentó a

nueve, y el número de hectáreas a 350, lo que incrementó su producción a 17.000 toneladas (Camposeven, 2014). La apuesta de estos agricultores, y por tanto de Camposeven, por las nuevas tecnologías y la inversión en I+D+i siempre ha sido un rasgo distintivo de la organización. En 2014 la sociedad ya contaba con 125 trabajadores, 490 hectáreas de producción, 19.280 toneladas de 19 variedades de productos y 19.078.545 € de ventas, de las cuales el 90% corresponden a productos exportados a otros países de la UE, principalmente Alemania, Suiza, Inglaterra, Francia e Italia. A finales de este año, tanto los socios agricultores como la cooperativa recibieron la certificación, bajo la normativa internacional de producción biodinámica, Deméter, proporcionándoles una diferenciación absoluta del resto de productores de la zona. Las primeras ventas de este tipo de producción se llevaron a cabo en el último trimestre de 2014. Se vendieron 105.182 kg de productos, lo que equivale a 181.269 euros.

2. Metodología

Esta investigación se enmarca dentro de un proyecto de investigación transdisciplinar con el apoyo de la Comisión Europea y los organismos de financiación en 14 países englobados en el marco del 7PM y el RURAGRI ERA-NET llamado Rethink (Rethink, sf). Su objetivo es repensar los vínculos entre la modernización de las explotaciones, el desarrollo rural y la resiliencia en un mundo de crecientes demandas y recursos finitos. En este contexto internacional, los trabajos se desarrollaron con un marco de referencia común (Darnhofer et al., 2014) para el análisis de las especificidades de la prosperidad rural desde las cuatro dimensiones del modelo working with people (Cazorla, De los Ríos & Salvo, 2013).

El análisis consiste en dos tipos de datos: 1) información recogida con el objetivo de examinar el proceso evolutivo de Camposeven y cómo llegó a ser una cooperativa exitosa, para lo cual se utilizó información primaria obtenida mediante entrevistas en profundidad a los socios y trabajadores de Camposeven. Para la recopilación y sistematización de este tipo de información, se llevaron a cabo entrevistas directas, de forma individual y cara a cara. Los cuestionarios constaban tanto de preguntas abiertas como cerradas, y cada entrevista duró entre 60 a 90 minutos cada una. Todas las entrevistas se llevaron a cabo en las instalaciones de Camposeven o en sus propias fincas. El número total de entrevistas realizadas fue de 22, y se llevaron a cabo entre el 23 de abril y 7 de julio de 2014. Después de llevar a cabo todas las entrevistas, se procedió al análisis de datos. Para ello, todas las preguntas y respuestas se clasificaron en los cuatro elementos que constituyen la metodología WWP: técnico-empresarial, ético-social, político-contextual, y aprendizaje social (Cazorla, De los Ríos & Salvo, 2013). Las preguntas cerradas se basaron en la metodología propuesta por Abad et al. (2011), que consiste en una prueba de rendimiento típico con los tipos de respuestas divididas en categorías ordenadas que permiten a la persona matizar aún más su respuesta. El tipo seleccionado fue el llamado "nivel de acuerdo" de "tipo Likert" para el que se establecieron los siguientes valores: 1. muy baja, 2. bajo, 3. alto y 4. muy alto. El resto de las preguntas abiertas se sometió a un análisis cualitativo (Timmermans & Tavory 2012). 2) información recogida con el objetivo de conocer y ampliar conocimientos sobre el contexto de la sociedad. Esta información fue recopilada de manera secundaria a través de datos estadísticos, estudios e informes económicos, entre otros, procedentes de fuentes oficiales tales como la consejería agricultura o asociaciones de cooperativas de la zona.

3. Resultados

Esta sección muestra el análisis cualitativo de las estrategias llevadas a cabo por el proyecto de Camposeven dentro de cada una de las dimensiones del Working With People.

Las siguientes secciones muestran el valor proporcionado por los principales socios de

Camposeven a las diferentes estrategias adoptadas para alcanzar la prosperidad. Se dividen en 4 componentes: técnico-empresarial, ético-social, político-contextual y aprendizaje social (Cazorla, De los Ríos & Salvo, 2013). El apartado técnico-empresarial integra las estrategias clave que hacen a Camposeven una unidad de inversión capaz de generar servicios de calidad y que cumplen con los estándares de calidad (IPMA, 2010). El ético-social cubre todas las estrategias relacionadas con los comportamientos, actitudes y valores de las personas dentro del subsistema social (Cazorla, De los Ríos & Salvo, 2013). El político-contextual comprende las estrategias que facilitan la participación y la dinámica social de Camposeven con su contexto. Por último, el aprendizaje social actúa como componente de integración de los tres componentes anteriores de modo que consiga conectar el conocimiento experimentado (Hulme, 1989) de la población afectada con el conocimiento experto del planificador, generando así un aprendizaje mutuo (Cazorla, De los Ríos & Salvo, 2013).

Estos cuatro componentes analizados se engloban dentro de un estilo de liderazgo sin el cual, no hubiese sido posible el éxito y la prosperidad de la organización. El modo en el que está dirigida y funciona la cooperativa, y la manera en la que los agricultores gestionan y trabajan sus propias fincas, se basan en los principios del modelo IPMA de dirección de proyectos. Siguen este estilo aplicando una visión por proyectos en la que, no solo las competencias técnicas son relevantes sino que, se aprecia el valor que también tienen las competencias de comportamiento y contextuales. El director gerente de Camposeven obtuvo en 2009 el “Certified Senior Project Manager” a través del sistema de certificación IPMA evaluando sus competencias personales mencionadas anteriormente de la Dirección de Proyectos. Además todos los responsables de los departamentos de la cooperativa asistieron en Febrero/Marzo de 2014 a un seminario-taller de dirección de proyectos impartido por profesionales de la UPM.

3.1 Elementos técnico-empresariales

Las principales estrategias utilizadas que han contribuido a la prosperidad rural desde un punto de vista técnico-empresarial, están relacionados con acciones orientadas hacia un uso sostenible de los recursos naturales y la diferenciación del producto. Hay tres estrategias que destacaron especialmente. El “uso sostenible de los recursos hídricos” fue mencionado por el 43,5% de los entrevistados. Es una respuesta esperada teniendo en cuenta que la falta de agua es el mayor problema para la agricultura en la Región de Murcia. Esta estrategia incluye acciones relacionadas con la producción, como la inversión en I + D y la modernización de las explotaciones a través del uso de riego por goteo, de plástico negro para retener la humedad, la construcción de embalses (tapados para evitar la evaporación), canales de recogida de agua, técnicas multicanal, variedades resistentes a la sequía, y la capacitación de personal para el uso sostenible del agua.

La segunda estrategia más mencionada, y por tanto, más importante es "la diferenciación a través de la producción ecológica" con un 34,8%. Esta estrategia tiene como objetivo promover la salud de las personas mediante el desarrollo de líneas de productos ecológicos (Camposeven, 2014). Esto sólo puede hacerse mediante el uso de técnicas sostenibles que cumplan con las normas europeas para productos ecológicos y biodinámicos, que afectan a todas las etapas del producto: producción, preparación y distribución.

El “reciclaje de residuos y subproductos” es la tercera estrategia utilizada más común para mejorar la prosperidad (valorada con un 22%). La agricultura ecológica debe basarse fundamentalmente en recursos renovables integrados en sistemas agrícolas locales (CE, 2007). Para ello, las acciones llevadas a cabo tienen como objetivo la generación de sus propios recursos para la producción agrícola, siguiendo ciertos principios: reducir al mínimo el uso de recursos no renovables, el reciclaje de residuos y subproductos vegetales (previamente triturado) a través de la deposición de los nutrientes de la tierra y utilizarlos como

abono, y no quemando cualquier tipo de residuo.

Por otro lado, además de las estrategias más utilizadas, los socios agricultores han valorado una serie de influencias técnico-empresariales en la prosperidad, detalladas a continuación (Tabla 1), donde destacan la rentabilidad de la explotación, la diversidad de productos y servicios y la calidad de los bienes y servicios.

Tabla 1. Influencias técnico-empresariales en la prosperidad

Ítem (%)	1	2	3	4
Rentabilidad de la explotación	**0**	**17**	**17**	**67**
La diversificación de productos y servicios	**0**	**0**	**50**	**50**
Calidad de los bienes y servicios	**0**	**0**	**50**	**50**
La sostenibilidad ambiental del proceso de producción	0	17	33	50
Capacidad de comercialización colectiva de los bienes y servicios	0	17	33	50
Eficiencia en el uso de recursos	0	0	67	33
Alto rendimiento técnico del proceso de producción	0	17	50	33
Esfuerzo conjunto para alcanzar una distribución equitativa del valor añadido en la cadena de valor	0	33	33	33
La innovación de bienes y servicios, productos, tecnología, etc.	0	0	83	17
Visión coherente y estrategia de negocios	0	17	67	17
Emprendimiento	17	0	67	17
Reproducción autónoma de factores de producción	0	67	17	17
Reducción de costes de producción	0	17	83	0
Capacidad de comercialización individual de los bienes y servicios	17	67	17	0

Fuente: Elaborado a partir de trabajo de campo e información de Camposeven, 2014

La rentabilidad de la explotación ha sido valorada con la mayor puntuación, 4, por el 67% de los socios. Aunque no es la estrategia principal, ni el objetivo único de esta cooperativa, dentro de la dimensión técnico-empresarial los socios agricultores consideran importante que la finca sea rentable de modo que puedan contar con recursos económicos suficientes de una campaña productiva a otra. Debemos tener en cuenta que en el sector agrícola los precios son muy volátiles y el mercado es incierto por lo que los agricultores son precavidos en este aspecto, además estos agricultores apenas cuentas con subvenciones públicas por lo que ellos asumen todo el riesgo. En segundo lugar, la diversificación de bienes y servicios y la calidad de los productos, son considerados elementos fundamentales de cara a la prosperidad de Camposeven, ya que ésta cuenta con una amplia gama de productos hortofrutícolas y su característica principal, que la distingue del resto, es la calidad de los productos que comercializa.

3.2 Elementos ético-sociales

Los elementos de la dimensión ético-social que influyen en la prosperidad (tabla 2) de las

explotaciones agrícolas, de acuerdo con los socios principales, se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 2. Influencias ético-sociales en la prosperidad

Ítems (%)	1	2	3	4
Liderazgo en el territorio/sector	0	0	20	80
Capacidad de negociación de los actores clave	0	0	20	80
Actitud abierta a la cooperación y el trabajo en equipo	0	0	20	80
Orientación a resultados	0	0	20	80
Buena gobernanza y procesos democráticos	0	0	20	80
Oportunidades equitativas para todos	0	0	20	80
Confianza entre los actores clave y/o partes interesadas	0	0	30	70
Habilidad para la resolución de conflictos y crisis	0	0	30	70
Autonomía en la toma de decisiones	0	10	30	60
Sensibilidad y capacidad de apreciar los valores	0	0	60	40

Fuente: Elaborado a partir de trabajo de campo e información de Camposeven, 2014

A continuación se describen las razones dadas por los entrevistadores para dar estas valoraciones.

Liderazgo en el territorio/sector: los agricultores consideran que para lograr unión y trabajo en equipo, son necesarios líderes que inspiren confianza y que sepan cómo dirigir el proceso. Del mismo modo, cada agricultor debe ejercer su propio liderazgo para planificar, gestionar y ejecutar sus fincas con sus propios trabajadores. La junta directiva de Camposeven cuenta con un fuerte liderazgo que inspira confianza a todos los socios, lo que es fundamental para la comercialización de los productos y para ser capaces de relacionarse con las personas de la organización, como los propios trabajadores u otras partes interesadas.

Capacidad de negociación: los socios consideran que ser competitivo es esencial para la comercialización de los productos, tanto a nivel nacional como internacional. Todos coinciden en que el sector agrícola en general, y de la región de Murcia en particular, es cada vez más competitivo y los precios de compra y venta se negocian de forma continua en el mercado. La buena capacidad de negociación de Camposeven ha sido esencial para la sostenibilidad de la empresa y las actividades de sus socios, lo que a su vez les ha permitido superar situaciones adversas en tiempos de crisis y aumentar las ventas anuales desde su creación en 2007 hasta la actualidad.

Actitud abierta para la cooperación y el trabajo en equipo: la sostenibilidad y el éxito de la organización Camposeven no habría sido posible sin su capacidad de interactuar a diario, y de forma eficaz, con otros actores y partes interesadas, como clientes, proveedores, transportistas, instituciones públicas, asociaciones, etc., y, a nivel interno, con los propios trabajadores y socios de la organización. Los agricultores consideran que la manera en la que Camposeven está administrada y dirigida se basa en una actitud abierta hacia la participación, la cooperación y el trabajo conjunto, permitiendo la toma de decisiones colectivamente y la resolución de conflictos con soluciones satisfactorias. Esta actitud abierta hacia la cooperación y el trabajo en equipo se contempla también en la participación de Camposeven en las diferentes redes y plataformas agrícolas y de investigación, con Universidades y otras

empresas, que les proporcionan aprendizaje mutuo e intercambio de conocimientos.

Orientación a resultados: es muy importante establecer objetivos claros que puedan ser perseguidos por todos los socios y miembros del equipo. Este elemento está estrechamente relacionado con el éxito de un proyecto o plan.

Buena gobernanza y procesos democráticos: esta gobernanza se entiende no sólo a nivel de la organización empresarial, sino que se extiende a los responsables de las políticas locales y regionales, con procesos participativos y democráticos, que tienen en cuenta todos los aspectos de la sociedad, para este caso en particular, a los agricultores. Por tanto, esta buena gobernanza local se entiende como una práctica desarrollada conjuntamente entre los diferentes actores públicos y privados, que busca vincular el conocimiento y la acción a través de proyectos conjuntos, que además del valor técnico de la producción de bienes y servicios, también incorpora el valor de las personas que se involucran, participan y desarrollan el trabajo en los contextos territoriales de los proyectos.

3.3 Elementos político-contextuales

Los socios agricultores identificaron y valoraron los siguientes elementos según la influencia, que consideran, que tienen en la prosperidad de sus fincas (tabla 3). Los elementos más valorados fueron el mercado internacional y la competitividad en el mismo, la biodiversidad y el medio ambiente, y las nuevas tecnologías.

Tabla 3. Influencias político-contextuales en la prosperidad

Ítems	1	2	3	4
Mercado internacional	0	0	0	**100**
Competitividad a nivel internacional	0	0	**30**	**70**
Biodiversidad, medio ambiente	0	0	**30**	**70**
Cambio tecnológico (nuevas tecnologías)	0	0	**30**	**70**
Competitividad a nivel nacional	0	10	40	50
Conocimiento e información	0	20	40	40
Marcos legales y regulación	30	10	20	40
Subvenciones internacionales (incluidas UE)	60	10	0	30
Política de desarrollo rural de la UE	40	10	30	20
Mercado nacional	50	10	20	20
Solidaridad de la sociedad con la agricultura/ áreas rurales	40	30	20	10
Otras políticas europeas	50	20	20	10

Fuente: Elaborado a partir de trabajo de campo e información de Camposeven, 2014

A continuación se presentan las razones de los valores dados a los 4 primeros elementos. El primer elemento es la agricultura en los mercados internacionales (100%) obtuvo el valor 4 (muy alto). Los agricultores consideran que hoy en día, su actividad no tiene futuro si parte de sus productos no se comercializan en los mercados internacionales. No debemos olvidar que Camposeven produce productos ecológicos, los cuales tienen mayor demanda en los mercados internacionales; es por ello que el 90% de los productos de Camposeven son exportados, siendo estos mercados un pilar fundamental para la organización.

En segundo lugar podemos encontrar tres elementos (70%): 1) Competitividad a nivel

internacional, debido a la importancia del mercado internacional para Camposeven, es necesario que sean competitivos, hecho que consiguen mediante sus productos de calidad y precios atractivos, además cumplen con las normativas europeas para los productos ecológicos y biodinámicos, lo que les permite el acceso a dichos mercados. 2) la biodiversidad y el medio ambiente también se consideran aspectos de gran valor para la prosperidad. En Camposeven están concienciados con este tema y todos trabajan bajo el uso sostenible de los recursos naturales y respetando el entorno evitando prácticas nocivas para él. 3) El cambio tecnológico y las nuevas tecnologías son esenciales en la prosperidad de esta cooperativa, de hecho, la inversión en I+D+i es un pilar fundamental que les permite conocer nuevas técnicas y procesos más eficientes para sus cultivos.

Por otro lado, aunque no esté entre los cuatro primeros elementos destacados y aunque Camposeven solo comercializa en España el 10% de su producción, los socios también consideran la competitividad nacional importante para la prosperidad. Ellos se consideran competitivos, ya que han sido capaces de destacar entre las demás cooperativas, tanto regionales como nacionales, dentro del sector hortofrutícola, apostando por el trabajo en equipo y la innovación continua.

3.4 Elementos de aprendizaje social

- Las principales fuentes de conocimiento utilizadas por los agricultores tienen que ver principalmente con el conocimiento de los agricultores experimentados y de la propia tradición agrícola de la región. No obstante, las cinco principales fuentes identificadas a través de los talleres participativos son:
- La experiencia propia: La experiencia acumulada (conocimiento experto) de los agricultores que conforman Camposeven. El 100% de los socios agricultores experimentan con nuevos productos e innovan en sus propias fincas, utilizando el principio learning by doing. Más tarde estos resultados y el aprendizaje son compartidos con otros socios agricultores y técnicos de Camposeven.
- Otros agricultores: Entre los principios de funcionamiento de la organización se encuentra "recoger las ideas de todos" (Camposeven, 2014). Los mecanismos de participación se establecen para recopilar ideas y opiniones de otros agricultores vinculados a la organización compartiendo las experiencias y el aprendizaje para el bien común.
- Los actores del mercado, los consumidores y sus organizaciones: Por otra parte, la visión de Camposeven es “ser una empresa innovadora en gestión de procesos y negocios agrícolas diversos; investigar e innovar en productos y sistemas de producción; y desarrollar negocios orientados a satisfacer las necesidades de los clientes” (Camposeven, 2014). Por lo tanto los clientes (tanto nacionales como internacionales, y tanto las grandes superficies como los pequeños comercios) son una fuente muy importante de conocimiento para la organización. En este grupo, otros actores de la sociedad civil están vinculados con la organización, como Cooperativas Agroalimentarias, Federaciones y Asociaciones Regionales y Nacionales.
- Las universidades, institutos de investigación y redes de conocimiento: Camposeven participa en diversas plataformas y redes de cooperación que tienen como objetivo integrar el aprendizaje y el conocimiento (experto y experimentado). La principal es la Plataforma Agroalimentaria, gestionada desde la Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid (FGUPM), así como su colaboración con el grupo de investigación GESPLAN también de la UPM. El director gerente de Camposeven es cofundador de esta plataforma, la cual ejerce de punto de encuentro para negocios, la identificación de problemas y oportunidades en el sector y la búsqueda de soluciones

en colaboración con universidades y centros tecnológicos relacionados con la industria alimentaria.

- El gobierno regional (órganos administrativos). Finalmente la organización aprende y utiliza los conocimientos de los administradores públicos, para cumplir con la normativa y legislación vigente en cuanto a la certificación de productos ecológicos y estándares de calidad; utilizan las fuentes de información de las diferentes instituciones públicas pertinentes.

4. Conclusiones

En este artículo, se diseñó y aplicó un marco metodológico para estudiar cuáles son las principales estrategias que han llevado a una cooperativa agrícola hacia el éxito y la prosperidad. La prosperidad no entendida como un incremento de la producción, ya que no tiene en cuenta los servicios de no mercado y las externalidades negativas, y tampoco describe cómo los ingresos y la riqueza se distribuyen entre las personas (Darnhofer et al, 2014;. Jackson & Anderson, 2009; Stiglitz et al, 2009). Pero sí como un concepto que incluye aspectos no económicos que reconocen su multidimensionalidad (Chambers, 1997; Neff, 2007; Anand, Hunter & Smith, 2005).

Las principales estrategias técnico-empresariales observadas que se consideran esenciales para alcanzar la prosperidad en las zonas rurales es la protección del medio ambiente, el uso sostenible de los recursos naturales y la diversificación de productos. Esto se corresponde con las acciones que se cree que se deben promover para contribuir al desarrollo sostenible (Van Huylenbroeck & Durand 2003; Darnhofer et al, 2014, cap. 2, p. 21; Padel et al., 2010). La prosperidad en las zonas rurales requiere de la existencia de estructuras de negocios que sean capaces de generar bienes y servicios a la sociedad, para lograr el éxito sostenido de la organización y una mejor calidad de vida (Freibauer et al, 2011 p. 20, Sekulova et al 2013). Se trata de promover que las empresas incorporen valores sociales y ambientales para generar proyectos movilizadores de recursos, generar productos que satisfagan las necesidades de los mercados y garantizar un modo de subsistencia a los productores y empresarios de las zonas rurales. Además las principales influencias de esta dimensión para la prosperidad han sido la rentabilidad de la explotación, la diversificación de bienes y servicios y la calidad de los productos.

Dentro de la dimensión ético-social, destacan el aprendizaje mutuo a través del intercambio de conocimientos y el trabajo en equipo (tener una actitud abierta, cooperar). De hecho, según Poppe, Temeer y Slingerland (2009) la capacidad de comunicación efectiva incluida dentro de la capacidad para el compromiso entre los agentes territoriales que influyen en la prosperidad. Este compromiso es necesario para crear plataformas adecuadas, promover sinergias entre las partes involucradas, propiciar la creación de conocimiento y mejorar la capacidad de adaptación (Darnhofer et al, 2014, 2: 36). Además, el intercambio de conocimiento ayuda a la integración de las necesidades y expectativas de los grupos de interés y la promoción de alianzas estratégicas con instituciones públicas, privadas, y de investigación (Shortall 2013).

En términos de estrategias político-contextuales, la existencia de colaboraciones sólidas (organizaciones o asociaciones), con capacidad para relacionarse con el contexto es clave (Dwyer, 2011). La idea detrás de las colaboraciones es formalizar alianzas y asociaciones basadas en la confianza mutua y el trabajo en equipo entre los diferentes individuos que libremente se unen y establecer objetivos comunes que permitan superar los problemas y aprovechar las oportunidades. Dentro de esta dimensión, la principal influencia para la prosperidad, de acuerdo con los socios agricultores, es ser competitivos en el mercado internacional. Esto se debe a que exportan, Camposeven, el 90% a otros países europeos, ya que el mercado de productos ecológicos en España todavía no tiene una gran demanda, no

llega al 2% del consumo general (EFEverde, 2014).

Las estrategias de aprendizaje social son muy importantes, y en este caso de estudio proceden de muchas fuentes diferentes; sin embargo, las principales formas de aprendizaje son a través de su propia experiencia y la de otros socios de Camposeven que las comparten. Desafortunadamente todavía hay mucha desconfianza entre los agricultores de la zona y otros posibles competidores. La cooperación posiblemente mejoraría la prosperidad más que si guardan el conocimiento para sí mismos. Sin embargo, es posible observar una fuerte cooperación entre los agricultores y las instituciones formales como la Universidad Politécnica de Madrid, con la que han estado cooperando desde hace mucho tiempo. Como Berkes y Folke (2002) destacan, la prosperidad necesita buenas redes de cooperación y de I+D, capaces de integrar el conocimiento (experto y experimentado) y el aprendizaje (tanto formal como informal).

5. Referencias

Abad, F.J., Olea, J., Soda, V., & García, C. (2011). Medición de ciencias sociales y de la salud. Sínetsis. Madrid

Anand, P., Hunter, G. & Smith, R. 2005. Capabilities and Well-being: Evidence based on the Sen-Nussbaum Approach to Welfare. Soc. Indic. Res. 74, 9–55.

Baumol, W.J., Litan, R.E., & Schramm, C.J. (2007). Good Capitalism, Bad Capitalism, and the Economics of Growth and Prosperity, Law and Economics Workshop. Yale University Press, New Haven & London.

Berkes, F. & C. Folke (2002). Back to the Future: Ecosystem dynamics and local knowledge. In: L.A. Gunderson and C.S. Holling (Eds.). Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems. Washington: Island press.

Camposeven (2014). Documentos internos de la organización. Sociedad Agraria de Transformación Camposeven. Murcia.

Cazorla, A. De los Ríos, & I. Salvo, M. (2013) Working With People (WWP) in Rural Development Projects: a Proposal from Social Learning. Cuadernos de Desarrollo Rural 10 (70): 131-157

CE (2007). Reglamento (CE) No 834/2007 del Consejo de 28 de junio de 2007 sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) no 2092/91

Chambers, R., (1997). Editorial: Responsible Well-being—a Personal Agenda for Development. World Dev. 25, 1743–1754.

Darnhofer, I., de los Rios, I., Knickel, K., Koopmans, M., Lamine, C., Olsson, G.A., de Roest, K., Rogge, E., Sumane, S., & Tisenkopfs, T. (2014). Rethinking the Links between Farm Modernisation, Rural Development and Resilience in a World of Increasing Demands and Finite Resources.

Darnhofer, I., Lamine, C., & Knickel, K. (2014). Conceptual Framework. RETHINK project. 7th framework programme CE.

Dwyer, J. (2011). UK land use futures: policy influence and challenges for the coming decades. Land Use Policy 28: 674–683.

EFEverde (2014). BIOCULTURA VALENCIA. “Crece en España el consumo de productos ecológicos y el número de comercios”. Publicación de 7 marzo 2014 por EFEverde. http://www.efeverde.com/noticias/crece-en-espana-el-consumo-de-productos-ecologicos-y-el-numero-de-comercios/

Freibauer, A. E. Mathijs, G. Brunori, Z. Damianova, E. Faroult, J. Girona i. Gomis, L. O’Brien & S.Treyer (2011). Sustainable food consumption and production in a resource-*constrained world.* Third SCAR Foresight Exercise. Brussels: European Commission -

Standing Committee on Agricultural Research.

Hulme, D. (1989). Learning and not learning from experience in rural project planning. *Public Administration and Development, 9 (I), 1-16.*

INFO (2013). Área Cartagena. Living, working, enyoing…Instituto de Fomento de la Región de Murcia.

IPMA (2010). *NCB - Bases para la competencia en dirección de proyectos. Versión 3.1.* Valencia (Spain): AEIPRO (Spanish Project Engineering Association).

Jackson, T. (2009). Prosperity Without Growth: Economics for a Finite Planet. Earthscan, London.

Jackson, T., & Anderson, V. (2009). Redefining Prosperity—Essays in Pursuit of a Sustainable Economy. Sustainable Development Commission. Earthscan, London.

Neff, D.F., (2007). Subjective Well-being, Poverty and Ethnicity in South Africa: Insights from an Exploratory Analysis. Soc. Indic. Res. 80, 313–341.

Padel, S., U. Niggli, B. Pearce, M. Schlüter, O. Schmid, E. cuoco, E. Willer, M. Huber, N. Halberg & C. Micheloni (2010). *Implementation action plan for organic food and farming research*.Technology Platform Organics. Brussels: IFOAM EU Group. www.tporganics.eu/

Poppe, K., C. Termeer & M. Slingerland (eds) (2009). *Transitions towards sustainable agricultura and food chains in peri-urban areas*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers

Rethink (s.f). Consulted 2nd February 2015. http://www.rethink-net.eu/home.html

Sekulova, F., G. Kallis, B. Rodríguez-Labajos, & F. Schneider (2013). Degrowth: From theory to practice. *Journal of Cleaner Production* 38: 1–6.

Shortall, S. (2013). Using evidence in policy: The importance of mediating beliefs and practices. *Sociologia Ruralis* 53(3): 349–368.

Shucksmith, M. & K. Rønningen (2011). The Uplands after neoliberalism? The role of the small farm in rural sustainability. *Journal of Rural Studies* 27: 275–287.

Stiglitz, J., Sen, A., & Fitoussi, J.-P. (2009). The Measurement of Economic Performance and Social Progress Revisited. Reflections and Overview. Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress, Paris

Timmermans, S., & Tavory, I. (2012). Theory construction in qualitative research from grounded theory to abductive analysis. Sociological Theory, 30 (3), 167-186.

Van Huylenbroeck, G. & G. Durand (Eds.) (2003). *Multifunctional agriculture. A new paradigm for European agriculture and rural development*. Aldershot: Ashgate.

06-006

MARKET STUDY APPLICATIONS FOR ESTABLISHING URBAN AGRICULTURE ENTREPRENEURIAL IN THE ISTHMUS OF TEHUANTEPEC, OAXACA, MEXICO

Cruz Celis, Felipe de Jesus; Sánchez Zarate, María; Garrido Cardona, Martha Lis
Universidad del Istmo

In spite of spatial limitations on the scope of urban agriculture's market potential, it can significantly contribute to a family's own dietary needs by providing food of superior nutritional quality. Because gardening provides readily available fresh food, employment and potential business opportunities, urban agriculture is an increasingly popular response to demographic growth. The results of 384 surveys applied in the cities of Ixtepec, Juchitán, Tehuantepec and Salina Cruz in the Isthmus of Tehuantepec region of the state of Oaxaca, Mexico yielded the following results: 73.06% of the respondents buy Saladet tomatoes; 36.6% buy them every other day; 84.87% buy from one to two kilos per week; 79.34% buy tomatoes at the local market; 62.73% use them to cook and 54.98% say that the price is their foremost consideration when making a purchase.

Keywords: *Enterprising; urban agriculture; market study/analysis.*

EMPRENDER EN LA AGRICULTURA URBANA DEL ISTMO OAXAQUEÑO MÉXICO A PARTIR DE LA ORIENTACIÓN AL MERCADO

La agricultura urbana por su ámbito de espacio presenta limitadas posibilidades de escala para evolucionar hacia el mercado formal, pero sí puede responder a las necesidades de autoconsumo familiar y al mejoramiento de alimentos nutricionales y de mejor calidad. La agricultura urbana es una tarea que se está haciendo cada vez más usual, debido al crecimiento demográfico de las ciudades, ya que permite disponer de alimentos y empleo, y al mismo tiempo es fuente potencial de oportunidades de negocio. Los resultados de las 384 encuestas aplicadas a las poblaciones de Ixtepec, Juchitán, Tehuantepec y Salina Cruz, en la región del Istmo Oaxaqueño, México; son los siguientes: el 73.06% compra jitomate Saladet; el 36.6% compra cada dos días; el 84.87% compra de 1 a 2 kg/semana; el 79.34% compra el Jitomate en el mercado local; el 62.73% lo utiliza para guisar; el 54.98% dice que la principal característica de compra que busca es su precio.

Palabras clave: *Emprendedor; agricultura urbana; orientación al mercado.*

Correspondencia: Felipe de Jesús Cruz Celis
felipe_cruz@hotmail.com felipecruz@bianni.unistmo.edu.mx

1. Introducción

Acabar con el flagelo del hambre es uno de los mayores retos que la humanidad debe afrontar en los umbrales del siglo XXI (Lustig, 2000). A lo largo de la historia el hombre ha atravesado periodos de progreso y de cambios en su sociedad. Actualmente el mundo está modificándose velozmente y los fenómenos de desempleo y de exclusión social están siendo cada vez más preocupantes. Ante la falta de puestos formales de trabajo, comienza a vislumbrarse el autoempleo como una oportunidad; es decir, la propia generación de trabajo a través de las cuales los productores o trabajadores del campo den mayor valor agregado a la producción primaria, mediante la ejecución de tareas de postcosecha tales como selección, lavado, clasificación, almacenamiento y (o) transformación (Guardia & Piña, 2008).

La Agricultura Urbana (AU) surge como potencial plataforma de desarrollo local y comunitario, asumiendo el desafío de estructurar sinergias y complementariedad entre la recuperación de los recursos del hábitat y la creación de actividades productivas agro-culturales, generando un encadenamiento operativo de la dimensión ecológica, económica y social del concepto de sustentabilidad (Moreno, 2007).

La AU considera el cultivo, procesamiento, distribución y consumo de productos agrícolas dentro del área de la ciudad, empleando con fines productivos recursos insuficientemente utilizados, como terrenos baldíos, aguas residuales tratadas, desechos reciclados y mano de obra desempleada. Incluye no sólo la producción de vegetales comestibles, como frutas y hortalizas, sino también una amplia gama de especies destinadas a medicina natural y floricultivos, entre otros.

La Agricultura Urbana no se limita exclusivamente a un nivel de subsistencia. También, incorpora la posibilidad de cultivos recreativos y de autoconsumo en grupos socioeconómicos medios, de operaciones comerciales de pequeña escala para microempresarios y familias, y actividades terapéuticas y educativas, mediante el desarrollo agrícola en patios traseros, terrazas, balcones, jardines escolares, hospitales, prisiones y otros establecimientos. (Mougeot, 2006)

Bajo esta perspectiva, el desarrollo de la AU podría contribuir al desarrollo económico, la competitividad, la innovación y la creación de empleo en las zonas rurales donde éstas se establecerían. En este sentido, la AU es concebida como un mecanismo a través del cual se puede aumentar y retener, en las zonas rurales, el valor agregado a la producción primaria de pequeñas y medianas unidades agroalimentarias; esto mediante la ejecución de actividades de postproducción (Rivero & Boucher, 1994).

En estas sociedades, la generación de nuevos emprendimientos y el impulso del espíritu empresarial son objetivos de política pública más generalizados entre los concernientes al desarrollo de las pequeñas y medianas empresas (Wennekers, Thurik y Stel, 2007). Basado en este planteamiento, la agricultura se torna en una importante actividad económica, vista desde el enfoque sistémico, donde se incluye la industria procesadora y de transformación, las empresas relacionadas proveedoras de servicios e insumos, junto con la red de distribución y al consumidor final, conformando un estratégico sector dinamizador del aparato económico regional (Piña, 2005).

Dopfer (2007) señala que para Schumpeter los emprendedores elaboran nuevas combinaciones de medios productivos para crear productos, penetrar mercados, alcanzar fuentes de suministro o diseñar modelos de organización. Esas nuevas combinaciones llevan a la destrucción creativa del pasado orden económico y traen consigo cambio y crecimiento económico.

Otros estudios como los del Monitor Global de la Iniciativa Empresarial (GEM) concluyen que, por lo general, la iniciativa empresarial genera crecimiento económico. Estos estudios distinguen dos tipos de emprendedores: quienes buscan y aprovechan oportunidades de negocios (los emprendedores por oportunidad) y quienes emprenden negocios solo porque tienen necesidades económicas apremiantes (los emprendedores por necesidad). En este último caso, la contribución al crecimiento económico es por lo general insignificante.

Ramírez, Ramírez y Martínez, (2014) dice que la cultura emprendedora como objeto de estudio ha sido considerada desde el siglo pasado por diversos autores y por algunas organizaciones Europeas entre las que destacan, las investigaciones realizadas por el Monitor Global de Iniciativa Empresarial (IEM) y cuyos resultados concluyen con los emprendimientos que generan crecimiento económico. Se han definido las características de los emprendedores y al emprendedor, reconociendo al empresario como el único factor productivo (Kirzner, 2006).

Los modelos de emprendimiento han destacado al emprendedor como el elemento importante en su desarrollo. El IEM describe la creación de empresa como resultado de factores que se presentan en una economía. Los modelos de Shane y Venkataraman, el de Cobin y Slevin, el de Alan Gibb, así como el de Hofstede permiten apreciar que existen diferentes formas de creación de empresas (Hofstede, 1980).

Los emprendedores conocen mucho acerca del producto o servicio que elaboran, pero en gran medida pueden carecer de un componente de conocimientos en el área comercial que les permita identificar los clientes que más valorarían su producto o servicio. Esta situación se observa más en emprendimientos iniciados en unidades tecnológicas que surgen de investigación y desarrollo. Podríamos decir que los emprendedores se enamoran de su proyecto lo que les dificulta ser objetivos al momento de evaluar su potencial comercial. En consecuencia los esfuerzos comerciales no responden a una estrategia concreta, pero no por ineficacia o incompetencia, sino por ignorancia respecto de algunos temas (Scaliter, 2005).

Los emprendedores se distraen de pensar en el producto o servicio que los apasiona y moviliza, para orientarse de manera objetiva hacia el mercado potencial y los clientes que deberían ser contactados, elaborando una lista que permite pensar en aspectos tácticos comerciales. El emprendedor necesita ver su producto o servicio en perspectiva, de manera objetiva, intentado eliminar la subjetividad que proviene de la inmersión en el producto o servicios, para evaluar el verdadero potencial en cuanto a precio definido por el valor agregado. La presente investigación tiene como objetivo realizar un estudio de mercado con el fin de conocer la demanda de sus clientes y así ver su producto de manera objetiva para evaluar el verdadero potencial en cuanto a precio definido por el valor agregado.

2. Marco teórico

En el mundo de la modernidad decimos que vivimos en una era de cambios vertiginoso debido, entre otros factores, al aumento de población, los descubrimientos científicos y tecnológicos que incorporan nuevos conocimientos a la producción, comercio, distribución y consumo de productos y servicios (IICA, 2010). En ese mundo las políticas de seguridad alimentaria reflejan estos cambios de una manera u otra ya que ellas van acompañadas de otras políticas como por ejemplo la erradicación de la pobreza, la integración social y la protección del medio ambiente que en conjunto conforman un escenario apropiado desde el cual los emprendedores pueden formular soluciones mediante actividades conducidas de manera eficiente, solidaria y responsable. Su accionar va desde la gestión de la agricultura a nivel nacional hasta las empresas manufactureras de clase mundial. La agricultura reviste un carácter estratégico para cualquier nación. Sin alimentos no es posible la supervivencia, de modo que la producción agrícola responde a una necesidad vital. La agricultura es algo más

que cultivo y alimentos: en la actualidad todas las naciones la visualizan como un activo estratégico (Abarca, 2004).

Si bien la humanidad conoció un periodo en la caza y la recolección, con agricultura, ésta vino a significar el paso a una estadía superior y de ella se derivó la civilización como la conocemos actualmente. Sin agricultura no existiría sociedad o, al menos la sociedad actual no hubiera resultado viable. Arango y Álvarez (2008) proponen como herramienta para diseño de la estrategia empresarial un sistema de gestión que permita ver la empresa en su conjunto y no como la sumatoria de sus áreas funcionales (como se ha venido haciendo); los procesos son el cómo se desarrolla la estrategia empresarial y los indicadores el medio para verificar si éstos se desarrollan conforme a los establecidos. Este sistema con enfoque integrador en la cadena productiva obliga al desarrollo de procesos en función de los clientes, orientándolos a la empresa y el mercado, dejando así, de lado el enfoque netamente productivista.

La globalización y la apertura comercial, además de crisis alimentaria y financiera, han cambiado de forma radical el ámbito económico y empresarial. En el caso del sector agroalimentario, existen otros factores que también lo están impactando: la modificación en la asignación de apoyos gubernamentales, los grandes avances tecnológicos (informática, microelectrónica, biotecnología, ingeniería genética, nanotecnología y telecomunicaciones), una mayor preocupación por el cuidado del medio ambiente y una demanda por productos más diferenciados (Brambila, 2006; Gómez, 2006), regida por criterios de calidad, inocuidad, conveniencia y nutrición (Kinsey, 2005; Suárez & Bejarano, 2001). Esta situación no es ajena a los cultivos producidos bajo agricultura protegida (AP) y con alta demanda en los mercados internacionales, como lo es el tomate de invernadero (Kaufman et al. 2000; Cook & Calvin, 2005).

La agricultura protegida particularmente con invernaderos es un tipo de agricultura parecido a la industria en donde se puede controlar el medio ambiente, temperatura, luz y la introducción de factores nocivos al cultivo. Esto permite planificar los rendimientos que se van a obtener dependiendo del manejo que se haga del cultivo. Se trata entonces de introducir cultivos de campo abierto en cierto tipo de estructuras que permiten controlar ciertas variables, conseguir mejor calidad y producir en épocas en que nos es posible hacerlo a campo abierto. El punto clave de este sistema es elegir la tecnología adecuada ya que cada región tiene sus particularidades. En Europa por ejemplo, debido a las bajas temperaturas se requieren invernaderos con calefacción y ante su baja luminosidad su cubierta debe ser de vidrio. En México y América Latina se requiere otros tipos de estructura (polietileno) lo cual varía según la zona y el cultivo (flores, hortalizas, etc.). Algunas de las ventajas de AP son: altos rendimientos, bajos costos de producción y no requiere grandes extensiones de tierra (Guerra, et al. 2011).

Actualmente un aspecto fundamental para evaluar las posibilidades de éxito de un emprendimiento con un nuevo producto o servicio proviene del análisis de la propuesta de valor y del análisis comercial. La propuesta de valor se encuentra dirigida a evaluar qué necesidad concreta satisface un nuevo producto o servicio, mientras que el análisis de la viabilidad comercial requiere de la determinación de un mercado objetivo y de los potenciales clientes.

Scaliter (2005) señala que los emprendedores conocen acerca del producto o servicio que proponen, pero en gran medida carecen debido a su formación tecnológica (en el caso de productos o servicios derivados de investigación y desarrollo) o formación académica (quienes no han participado de empresas con anterioridad o con estudios relacionados a ciencias económicas) de un componente de conocimientos en el área comercial que les permita identificar los clientes que más valorarían su producto o servicio.

Esta situación podría ser resuelta a través de la elaboración de un estudio de mercado profesional; sin embargo el inconveniente es que los mismos requieren de recursos que son

escasos en las etapas primarias de un emprendimiento, y además no siempre proporcionan los elementos de información necesarios.

La globalización y el entorno altamente competitivo exigen a las empresas estar orientadas al mercado y gestionar su cartera de clientes como un activo estratégico clave para aumentar la rentabilidad del negocio y lograr una ventaja competitiva sostenible en el tiempo.

Al plantear la necesidad de que las empresas agroalimentarias adopten una estrategia de orientación al mercado, se está pretendiendo introducir el concepto de marketing. Uno de los motivos de esta actuación es que el nuevo marco competitivo mundial plantea nuevos retos para el sector agroalimentario. En la vertiente de producción se afronta una situación de excedentes en buena parte de la producción agroalimentaria, de aparición de nuevos competidores y, por tanto, de saturación de los mercados. Además, se debe considerar un consumo cada vez más sofisticado y con un mayor nivel de exigencia hacia el producto, con gustos en cambio permanente. El precio ha dejado de ser el factor determinante para dar paso a elementos propios de la diferenciación.

La respuesta a este reto por parte de las empresas agroalimentarias debe venir marcada por la búsqueda de esquemas integrados que permitan la adaptación del producto a las tendencias del mercado, en definitiva, por una orientación de la producción al mercado. Este proceso de adaptación debe permitir el acceso a nuevas tecnologías y, el aprovechamiento de economías de escala, el desarrollo de complementariedades, la planificación de acuerdo a las exigencias del mercado y el abaratamiento en los costos por la gestión conjunta de determinados factores de producción. Desde el punto de vista del mercado, este proceso permite adaptarse a la demanda, desarrollar especialidades y mercados propios, cumplir ciertos estándares de calidad y reducir riesgos.

Desde que a finales de los años 80´s el *Marketing Science Institute* empezó a conceder la orientación al mercado (OM) un papel esencial en la disciplina del marketing, se han sucedido numerosas formas de entender este concepto. No obstante, siguiendo revisiones realizadas (Tse et al. 2003) se comprueba como indican de forma unánime que la literatura sobre este tema tiende a concentrarse en torno a dos corrientes de pensamiento mayoritarias: la orientación al mercado actitudinal (Narver & Slater, 1990) y la orientación al mercado comportamental (Kohli & Jaworski, 1990).

De esta forma, los autores Narver y Slater (1990) conciben la OM como un fenómeno relacionado con las normas y los valores culturales de una organización. Esta perspectiva identifica la OM no tanto como una conducta sino más bien como una actitud o cultura. Por este motivo, a esta primera corriente de investigación se le denomina habitualmente como cultural o actitudinal. Así, estos autores consideran que la OM es un constructo integrado por tres dimensiones: la orientación al cliente, la orientación a la competencia y la coordinación inter funcional.

Kohli y Jaworski (1990) definen la OM como una actividad de procesamiento de información sobre el mercado. Más concretamente, los autores más identificados con este enfoque entienden que este concepto representa una conducta o acción, ya que se identifica a la OM con la puesta en práctica del concepto de marketing (Atuahene-Gima, 1996). Por este motivo, esta segunda corriente de investigación suele denominarse habitualmente con términos como operativa o comportamental.

En el trabajo de Kohli y Jaworski (1990), los autores se proponen delimitar el concepto de OM, así como formular un modelo que sirva como base a posteriores investigaciones. De esta forma, los autores entienden que este concepto consta de tres componentes: la generación de información sobre las necesidades y preferencias de los consumidores, la diseminación de esta información entre las distintas áreas de la empresa y, por último, la capacidad de respuesta de ésta.

La OM influye positivamente en los resultados empresariales, no obstante, hay que señalar que en la literatura se encuentran sistemas muy distintos de cuantificala (Flavián & Polo, 2001). Si bien tradicionalmente la variable de resultados se ha medido preferentemente a través del empleo de indicadores de tipo económico (Matsuno, Mentzer & Özsomer, 2002), lo cierto es que ya (Kohli, Jaworski & Kumar, 1993) destacaron en su trabajo la necesidad de considerar la naturaleza multidimensional de este concepto. En este sentido, Bigné, Vila-López y Kuster-Boluda (2001) parecen advertirse que la OM también se traduce: en una mejora de la satisfacción y de la fidelidad de los clientes (Kohli & Jaworski, 1990); en una mejor actitud de los trabajadores, un mayor grado de compromiso con la empresa y espíritu corporativo (Kohli et al. 1993); en una fuente de ventajas sostenibles a largo plazo (Alavarez, Santos & Vázquez, 2000); y en una buena base para el desarrollo de nuevos productos (Bigné, Vila-López & Kuster-Boluda, 2000).

Uno de los mayores desafíos en la actualidad es el logro de la competitividad de las organizaciones. Las nuevas tendencias en tecnología y la globalización de los mercados fomentan que el entorno empresarial tenga cada día mayores niveles de complejidad. Las empresas deben responder a este reto logrando ventajas competitivas sostenibles a través del desarrollo de actividades que lleven a la creación de un valor superior para los clientes (Gómez, Rialp & Llonch, 2008).

La OM surgió como una respuesta competitiva tendiente a crear nexos con los usuarios de los productos, se buscaba potencializar el número de transacciones que se realizaban con cada cliente, sin tener en cuenta la noción del tiempo y la visión a largo plazo. Pero la evolución del mercadeo ha movido su referente desde el contexto transaccional convencional hacia el plano relacional donde se persigue establecer nexos a futuro con los clientes para así garantizar la fidelidad, la rentabilidad y la lealtad de los mismos (Anderson, Fornell & Mazvancheryl, 2004).

Dicha evolución del mercadeo ha conllevado un aumento en la apropiación de recursos hacia dicha área (Stewart, 2008), que aunada a la búsqueda de la eficiencia en el manejo de dichos fondos, presiona a las directivas de las compañías y a sus departamentos de mercadeo a revisar las inversiones desde la perspectiva financiera (Wills & Webb, 2007).

3. Metodología

1. Diseño de instrumento de medición. La investigación se desarrolló bajo el enfoque cuantitativo, para el cual se diseñó un instrumento de medición que permitirá extraer información bajo el esquema del muestreo estratificado. Por lo que se procedió al diseño de un instrumento propio para la recolección de datos en el caso del municipio de Salina Cruz, Tehuantepec, Juchitan e Ixtepec, Oaxaca, México. Los reactivos se definieron con base al objetivo establecido.

2. Selección de la muestra. Se puede definir a la muestra como un subgrupo de la población que debe ser representativo de la misma y de la cual se extrajo los datos para responder a las preguntas de investigación y llegar a nuestro objetivo central, generando nuevo conocimiento (Hernández, Fernández & Baptista, 2010). En la investigación, la población o universo está representada por las cuatro ciudades más pobladas del Istmo Oaxaqueño, estas son: Cd. Ixtepec, Juchitán, Tehuantepec y Salina Cruz; y para poder determinar el tamaño de la muestra se aplicó al número de mujeres mayores de veinte años que habitan estas poblaciones según el INEGI 2010; como paso siguiente se procedió a determinar el tamaño de muestra.

El tipo de muestro empleado fue probabilístico donde todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser elegidos, la ventaja es que puede medirse el tamaño del error en las predicciones y cuyo objetivo se centra en reducir al mínimo este error, al que se

le denomina error estándar (Hernández, et al., 2010); en este proyecto de investigación el error fue de 5%, dejando así un nivel de confianza del 95%; para fines de la presente investigación las unidades de observación (clientes) fueron seleccionados en forma aleatoria, es decir, al azar; teniendo cada elemento la misma probabilidad de ser elegido.

El número de personas mayores de veinte años que representaron nuestra población fueron 91859 personas. Ahora consideramos un nivel de confianza del 95% y un margen de error permitido del 5%. El cálculo se realizó mediante la ecuación (1), para poblaciones finitas.

$$N = \frac{N \times Z^2\alpha \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z^2\alpha \times p \times q} \quad (1)$$

En donde:

N = tamaño de la población; Z = nivel de confianza; p = probabilidad de éxito, o proporción esperada; q = probabilidad de fracaso; d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

3. Segmentación de la información por población. De acuerdo al tamaño de muestra se realizó un recalculo de los porcentajes asignado a cada población estudiada, siguiendo el mismo procedimiento hecho con la población total con lo cual se determinó el número de personas tabla 1.

Tabla 1: Número de mujeres mayores de 20 años por ciudad

Población	No de Mujeres	Porcentaje del total	Población Muestra
Ixtepec	9020	9.81939712	38
Juchitán	30145	32.8165994	126
Tehuantepec	24687	26.8748843	103
Salina Cruz	28007	30.4891192	117
Totales	91859	100	384

Fuente: Elaboración propia

4. Levantamiento de las encuestas y codificación. Para llevar a cabo el levantamiento de encuestas se procedió primero a capacitar a los encuestadores en la utilización del instrumento de evaluación, se realizó una prueba piloto, así como identificar a la población objetivo en base a la segmentación de la información por población.

5. Base de datos. La base de datos se diseñó y se elaboró en SPSS versión 20 para un mejor análisis de la información.

6. Procesamiento de la información. Para el análisis de la información se procedió a examinarla, se tabularon y se agruparon de acuerdo a las variables que se evaluaron con las diferentes preguntas que conforman el cuestionario, así como la utilización de medidas de tendencia central: media, mediana, moda. Se realizó un análisis por medio de pruebas estadísticas.

4. Resultados

La demanda del jitomate es grande en el Istmo Oaxaqueño ya que, el 98.19% de los encuestados lo consume y el 73.06% prefiere jitomate saladet, esta es una oportunidad de negocio para los emprendedores agrícolas. La tabla 2, presenta los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a los consumidores en el Istmo Oaxaqueño. Estos resultados permiten cuantificar la frecuencia y cantidad de compra de parte de los consumidores.

Tabla 2: Resultados obtenidos de las encuestas a consumidores en el Istmo Oaxaqueño

PREGUNTAS	OPCIONES	Resultado en %, Ixtepec	Resultado en %, Tehuantepec	Resultado en %, Salina Cruz	Resultado en %, Juchitán	Total de los Resultados en %
1.- ¿COMPRA USTED JITOMATE?	SI	100%	100%	93%	100%	98.19%
	NO	0%	0%	7%	0%	1.81%
2.- ¿QUÉ TIPO DE JITOMATE COMPRA?	Criollo	5%	19%	21%	22%	17.34%
	Saladet	90%	75%	69%	61%	73.06%
	Bola	5%	6%	10%	17%	9.60%
3.- ¿CON QUÉ FRECUENCIA COMPRA USTED JITOMATE?	Diario	20%	35%	22%	38%	29.15%
	Cada 2 días	30%	42%	36%	32%	36.06%
	Cada semana	48%	21%	40%	26%	32.21%
	Quincenal	2%	3%	1%	4%	2.58%
4.- ¿CUÁNTO JITOMATE COMPRA REGULARMENTE?	1-2 Kg	82%	85%	88%	85%	84.87%
	3-4 Kg	15%	10%	9%	8%	10.33%
	Más de 5Kg	3%	5%	3%	7%	4.80%
5.- ¿EN QUÉ LUGAR ACOSTUMBRA COMPRAR JITOMATE?	Mercado	65%	83%	90%	78%	79.34%
	Tianguis	22%	3%	7%	7%	9.23%
	Supermercado	3%	4%	3%	4%	3.68%
	Otro	10%	10%	0%	11%	7.75%
6.- ¿QUÉ USO LE DA AL JITOMATE?	Salsa	6%	26%	30%	33%	24.72%
	Ensalada	17%	10%	10%	14%	12.55%
	Guisado	77%	64%	60%	53%	62.73%
7.- ¿QUÉ CARACTERÍSTICAS TOMA EN CUENTA AL COMPRAR JITOMATE?	Precio	73%	43%	48%	58%	54.98%
	Tamaño	3%	5%	3%	6%	4.43%
	Sabor	7%	24%	9%	7%	11.81%
	Textura	17%	28%	40%	29%	28.78%

Fuente: Elaboración propia

Los resultados alcanzados permiten generar estrategias y tácticas de mercadeo con el fin de alcanzar los objetivos deseados. Estos resultados encuadradas dentro de una filosofía general permiten cuantificar el retorno de las inversiones de mercadeo y cristaliza la idea de negocio deseado.

5. Conclusión

Los resultados obtenidos permiten a los emprendedores conocer la demanda de su producto para focalizarse de manera organizada en la determinación del mercado objetivo y proponer con éxito una estrategia comercial, así mismo ayudan a generar estrategias que busquen satisfacer sus demandas con el fin de tener una fidelidad de los clientes.

La interpretación de los resultados permitirán desarrollar estrategias de comportamientos coordinados de las diferentes funciones de la organización dirigidos a buscar y amasar información de los consumidores y del entorno; la interpretación de la información contribuye con la organización a implementar una respuesta acorde con la demanda del cliente, para construir capacidades distintivas de esta.

La necesidad de mejorar los productos y servicios, reducir errores, defectos y mejorar la productividad, es objetivo esencial de las empresas enfocados a crear una ventaja competitiva en los mercados, para lograr alcanzar los estándares de calidad establecidos por los clientes. La empresa debe ser capaz de identificar lo que es hoy, y lo que desea ser mañana; debe además, conocer qué es realmente lo que el cliente desea recibir para diseñar el camino estratégico que le permitirá llegar a la meta.

Conocer al cliente, es una ventaja competitiva de las empresas. La voz del cliente es la principal herramienta con que cuentan las organizaciones, la OM se utiliza para describir o diseñar las actividades que necesita o busca la organización por que describe la lógica de cómo una organización crea, entrega, y captura valor, para los consumidores y otras partes interesadas en el entorno.

6. Referencias

Abarca, O. (2004). La agricultura y la doble verdad del comercio internacional. Revista Inter Sedes. Universidad de Costa Rica. ISSN 1409-4746, volumen V, número 8.

Alavarez, L.I.; Santos, M.L., & Vázquez, R. (2000). “Análisis cultural y operativo de la orientación al mercado. Efectos moderadores en la relación OM-Resultados”, *Revista Española de Investigación de Marketing-Esic*, Vol. 4, No. 1, pp. 7-41.

Anderson, E., Fornell, C., & Mazvancheryl, S. (2004). Customer Satisfaction and Shareholder Value. *Journal of Marketing , 68* (4), 172-185.

Arango, A. & Alvarez O.(2008).Estrategia y evaluación en empresas hortícolas, Revista Mexicana de Agronegocios. Año XII Vol. 22. México.

Atuathene-Gima, K. (1996): “Market Orientation and Innovation”, *Journal of Business Research*, Vol. 35, pp. 93-103.

Bigné, E.; Vila-López, N. & Kuster-Boluda, I. (2000): “Competitive positioning and market orientation: two interrelated constructs”, *European Journal of Innovation Management*, Vol. 3, pp. 190-198.

Brambila, J. J. (2006). *En el umbral de una agricultura nueva.* Estado de México: UACH, Colegio de Posgraduados.

Cook, R. & Calvin, L. (2005). *Greenhouse tomatoes change the dynamics of the North American fresh tomato industry.* Economic Research Report, USDA (2). [En línea] http //ww.ers.usda.gov/publications/err2/. Consultado en febrero de 2015.

Dopfer, K. (2007). The pillars of Schumpeter’s economics: Micro, meso, macro. En H. Hanusch and A. Pyka (Eds.), Elgar companion to neo-schumpeterian economics (pp. 65-77). Cheltenham, UK: Edgard Elgar.

Flavián, C. & Polo, Y. (2001): ”Diversidad Estratégica y Resultados en la Distribución”, Revista de Economía Aplicada, No. 26 (IX), Otoño, pp. 29-56.

Gomes, R. (2006). Upgrading without exclusion: Lessons from SMEs in fresh fruit producing clusters in Brazil. C. Pietrobelli y R. Rabelloti (Eds.). *Upgrading to compete. Global value chains, clusters, and SMEs in Latin America.*Washingthon. D.C.: Inter–American

Development Bank. David Rockefeller Center for Latin American Studies Harvard University

Gómez, J. E., Rialp, J. & Llonch, J. (2008). Influencia de la orientación al mercado en la función empresarial: su impacto en la capacidad de innovación y en los resultados de la PYME española. Revista Internacional de la Pequeña y Mediana Empresa. ISSN: 1989 – 1725.

Guardia, R. & Piña, H. (2008). Nivel de emprendimiento en la agroindustria rural del estado Falcón, Venezuela. Agroalimentaria, vol. 14, núm. 27, pp. 83-94. ISSN (Versión impresa): 1316-0354.

Guerra, G.; Aguilar, A.; Cabral, A.; Alvarado, L.; Alvarado, T.; Arras, A.; Moreno, S. (2011). El papel del administrador de agronegocios en la seguridad alimentaria. Revista Mexicana de Agronegocios, vol. XV, núm. 28, pp. 616-623. Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C: Universidad Autónoma de la Laguna: UAAAN Torreón, México. ISSN: 1405-9282.

Hernández, R., Fernández, C & Baptista M. (2010). Metodología de la investigación. Quinta edición. Editorial Mc Graw Hill.

Hofstede, G. (1980). *Cultures´s consecuences: International differences in Work-Related Values*, Sage.

IICA (2010). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura: desarrollo de los agronegocios y la agroindustria rural en América Latina y el Caribe: conceptos, instrumentos y casos de cooperación técnica / IICA – San José, C.R.: ISBN13: 978-92-9248-193-3.

INEGI (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/oax/poblacion/ (Consultado en el mes de diciembre del 2012).

Kaufman, P., Handy, Ch., McLaughlin, E., Park, K. & Green, G. (2000). *Understanding the dynamic of produce markets: Consumption and consolidation grow.* Agosto, AEB (758). ERS–USDA.

Kinsey, J. (2005). Tendencias en la economía de alimentos. *Comercio Exterior* 55 (3): 249–253.

Kirzner, I. (2006). Entrepreneurial discovery and the competitive market process: An Austrian approach. In The Journal of Economics Literature. (v. 35).

Kohli, A., Jaworski, B. & Kumar, A. (1993): "MARKOR: A mesure of market orientation", *Journal of Marketing Research*, Vol. 30, November, pp. 467-77.

Lustig, N. (2000). "Fighting Poverty", en *Development Outreach. World Bank Institute*, vol. II, nº 3.

Matsuno, K., Mentzer, J.T. & Özsomer. (2002): "The effects of entrepreneurial proclivity and market orientation on business performance", *Journal of Marketing*, Vol. 66, July, pp. 18-32.

Moreno, O. (2007). Agricultura Urbana: Nuevas Estrategias de Integración Social y Recuperación Ambiental en la Ciudad. Revista Electrónica DU&P. Diseño Urbano y Paisaje Volumen IV N°11. Centro de Estudios Arquitectónicos, Urbanísticos y del Paisaje Universidad Central de Chile. Santiago, Chile.

Mougeot, L. (2006). *Growing better cities.urban agriculture for sustainable development*, IDRC (International Development Research Centre), Ottawa, Canadá.

Narver, J.C. & Slater, S.F. (1990): "The effect of a market orientation on business profitability" *Journal of Marketing*, Vol. 54, October, pp. 20-35.

Piña, H. (2005). *Mercadeo: un enfoque agroalimentario.* Caracas: Fundación Empresas Polar-Universidad Francisco de Miranda.

Ramírez, R., Ramírez, I. E. & Martínez, E. A. (2014). Los Proyectos Financiados con Remesas en Zacatecas y los Modelos de Emprendimiento. *Conciencia Tecnológica No. 47. (pp. 19-28)*

Rivero, H. & Boucher, F. (1994). El programa de desarrollo rural y la agroindustria rural. En: *Memorias del I Encuentro Nacional de la Agroindustria Rural*, del 19 al 21 de mayo, Venezuela.

Scaliter, A. (2005). Método PEMO (Primer Estudio de Mercado Objetivo) para Nuevos Emprendimientos. Revista Temas de Management de la Universidad del CEMA. Volumen III.

Suárez, R. & E. Bejarano (2001). *Modelos de organización de empresas agropecuarias.* CEGA, Documentos de trabajo (9): 184pp. [En línea] http://ww.cega.org.co/investigaciones_y_estudios/pdf/doc9.pdf. Consultado diciembre de 2005

Tse, A.; Sin, L.; Yau, O.; Lee, J. y Chow, R. (2003): "Market orientation and business performance in a Chinese business environment", *Journal of Business Research*, Vol. 56, pp. 227-239.

Wennekers, S., Thurik, R. & Stel, A. (2007). Uncertainty avoidance and the rate of business ownership across 21 OECD countries, 1976-2004. En: *Journal of Evolution Economic*, 17: 133-160.

Wills, S., & Webb, S. (2007). Measuring the value of insight - it can and must be done. *International Journal of Market Research , 49* (2), 155-165.

06-007

TERRITORIAL ANALYSIS OF DEVELOPMENTS IN THE DAIRY SECTOR IN GALICIA (SPAIN), OVER THE PERIOD OF MILK QUOTAS.

Riveiro Valiño, Jose Antonio; Barrasa Rioja, Martin; González Vázquez, Xesus Pablo; Marey Pérez, Manuel Francisco
Universidad de Santiago de Compostela

The implementation in the current EU milk quota system over the period 1992-2015, accompanied the whole process of restructuring of this sector in Galicia. In this paper the results of a comparative analysis of the productive development of the sector in the different territories (municipalities) are presented over the period 1994-2014. This has been assessed implications of territorial mobility through the Gini coefficient, classifying municipalities into three categories. Hidden behind this mobility causes have been searched and analyzed by multivariate analysis. The high territorial mobility of quotas during the first years, notably territorial inequality increased during the first half of the period. Among the major causes fragmentation of ownership or initial productive vocation of municipalities are located.

Keywords: *dairy sector; quotas; galicia*

ANÁLISIS TERRITORIAL DE LA EVOLUCIÓN DEL SECTOR LECHERO EN GALICIA (ESPAÑA), DURANTE EL PERIODO DE CUOTAS

La implantación en la actual UE del sistema de cuotas lácteas durante el periodo 1992-2015, acompañó todo el proceso de reestructuración de este sector en Galicia. En este trabajo se presentan los resultados de un análisis comparativo de la evolución productiva del sector en los distintos territorios (municipios) durante el periodo 1994-2014. Para ello se han evaluado las consecuencias de la movilidad territorial mediante el Coeficiente de Gini, clasificando los municipios en tres categorías. Las causas ocultas detrás de esta movilidad se han buscado y analizado mediante análisis multivariante. La elevada movilidad territorial de cuotas durante los primeros años, incrementó notablemente la desigualdad territorial durante la primera mitad del periodo. Entre las causas más relevantes se sitúan la fragmentación de la propiedad o la vocación productiva inicial de los municipios.

Palabras clave: *sector lechero;cuotas;Galicia*

Correspondencia: Manuel Francisco Marey Perez manuel.marey@usc.es

Agradecimientos: Los autores muestran su agradecimiento a la Secretaría Xeral de Universidades, de la Xunta de Galicia, por la ayuda económica del Plan I2C-2013, modalidad B, y en particular a la Dirección Xeral de Producción Agropecuaria por la aportación de los datos de cuotas lecheras que sirvieron de base para el trabajo presentado y al Grupo de Investigación de la Universidad de Santiago de Compostela GI-1716 PROePLA financiado por la Xunta de Galicia como grupo de investigación de referencia competitiva.

1. INTRODUCCIÓN

En el año 1992 se reforma la Política Agraria Común de la UE (PAC), introduciendo el sistema de cuotas lecheras que tendrán que asumir todos los países miembros, entre los cuales se encuentra España desde 1986.

Galicia es una región situada al NO de España, que ostenta a finales del periodo de cuotas, el 56% de la cabaña de vacuno lechero del país, lo que supone el 37% de la producción láctea, (MAGRAMA, 2014). Dado que la implantación del sistema de cuotas coincidió plenamente con el proceso de reestructuración del sector lácteo en la región, este condicionó notablemente las transformaciones habidas. El número de explotaciones con cuota se redujo a un 18% incrementándose la cuota media por explotación en un 700%. Por otra parte, se redujo el número de vacas pero se incrementó en un 42% la producción media unitaria (AFRICOR LUGO, 2014).

La evolución del sector lácteo ha sido diferente en los distintos países y regiones de la UE en función de las características particulares de cada escenario productivo (dimensión de las explotaciones, distribución territorial, factores estructurales y políticas de gestión).

Las explotaciones de reducido tamaño, de subsistencia o sustento familiar, son menos propensas a cambios estructurales o dimensionales que las explotaciones con enfoque empresarial (Ferguson and Hansson, 2013), cuentan con una menor probabilidad de sucesión por parte de descendientes (Aldanondo-Ochoa et al. 2007), y su trayectoria está marcada por el abandono como consecuencia de la jubilación de sus titulares, (Aubert and Perrier, 2009). Cuanto mayor es el tamaño de la explotación, mayores son las expectativas de cambio estructural (Zimmermann and Heckelei, 2012). De hecho se encontraron diferencias en las tecnologías de alimentación y ordeño o en la gestión, entre clases dimensionales, resultando más competitivas las de mayor tamaño (Rusev et al, 2012), pudiendo incluso las pequeñas explotaciones, verse perjudicadas por las economías de escala en la competencia por los recursos (Kim et al., 2005).

La excesiva concentración de la producción de leche en determinados espacios territoriales, algo que suele ocurrir en Galicia, puede condicionar la expansión dimensional de las granjas hacia la adopción de sistemas cada vez más intensivos. Esto coincide con el pronóstico del modelo de simulación de sistemas productivos de Louhichi et al. (2010), que prevé un aumento del tamaño medio de las explotaciones y la intensificación de los cultivos, por ejemplo mediante sustitución de praderas por maíz forrajero, lo que empieza a suceder en algunas explotaciones de Galicia. Ante algunos escenarios con limitación de la disponibilidad de tierras se propone una mejor utilización de los recursos (De Frahan et al., 2011).

En algunas regiones (tal es el caso de algunos municipios de Galicia y Asturias), la excesiva fragmentación de la propiedad supone un obstáculo a la profesionalización y expansión dimensional dado que tiene una influencia negativa en la eficiencia, Del Corral et al. (2011). Resulta evidente el hecho de que una excesiva fragmentación dificulta o incluso impide la mecanización de los cultivos, en particular los forrajeros.

Finalmente, las distintas políticas territoriales en la gestión de la cuota disponible han proporcionado diferentes resultados. En algunos casos se buscó la supervivencia de explotaciones en determinadas áreas o potenciar un determinado tamaño medio de explotaciones (Huettel and Jongeneel, 2011), en otros evitar la concentración territorial (Hennessy et al., 2009). En general, la ausencia de regulación ha favorecido la supervivencia de las explotaciones más eficientes (Alvarez et al, 2006; Sauer, 2010; Areal et al, 2012). En algunas regiones, las restricciones de cuota han dado lugar a migración de

explotaciones hacia la producción de carne, (Kumbhakar et al, 2008; Sauer, 2010), o hacia el sector ovino lechero, no sometido a cuota (Mantecón et al, 2006). En el caso particular de Galicia, históricamente el vacuno de carne basado en sistemas extensivos de pastoreo tuvo mayor importancia relativa frente al vacuno lechero, (Bouhier, 2001), pero ante la mayor rentabilidad que presentaba la producción de leche, este ha ido siendo sustituido progresivamente por el vacuno lechero, conviviendo en muchos casos y durante un cierto tiempo en forma de explotaciones mixtas, (Riveiro et al, 2008), preferentemente localizadas en determinados municipios, (Riveiro et al, 2010). Con la continuada profesionalización de su sector lácteo se produce un alarmante descenso del número de explotaciones lecheras, especialmente en algunos municipios, a lo que se intentó poner freno mediante el Plan Nacional de Reordenación del Sector Lácteo, (BOE, 2005), que reguló tanto el abandono indemnizado como la reasignación de cuotas.

2. OBJETIVO

Considerando la experiencia y previsiones de evolución del sector lácteo en los distintos países y regiones de la UE, en este trabajo se ha propuesto como objetivo realizar un análisis espacio-temporal sobre la evolución estructural del sector vacuno lechero durante el periodo de vigencia de cuotas en la región de Galicia (España).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

La principal fuente de información para el desarrollo del trabajo son los datos de cuota lechera y número de explotaciones con cuota para 297 de los 314 municipios de Galicia. Estos datos corresponden al periodo 1994-2013 y están agregados a nivel Municipal, lo que condiciona a que la unidad territorial de análisis sea el Municipio. Adicionalmente se manejarán datos extraídos de las bases de microdatos de los censos agrarios de 1989, 1999 y 2009 (INE, 1999, INE, 2000, INE, 2010); datos cuantitativos sobre superficie afectada por procesos de concentración parcelaria (XuGa, 2014); superficie rústica (DGC, 2012), y datos medios de precipitación anual, pendiente media y cota media geográfica municipal.

En una primera etapa se analizará la movilidad interterritorial de las cuotas para el periodo 1994-2013 y posteriormente se analizarán las posibles causas de esa deriva territorial de cuotas en los principales factores de entorno.

La movilidad interterritorial puede conducir a variaciones de la desigualdad territorial. Para medir la evolución de la desigualdad entre municipios a lo largo de los 20 años considerados se utilizará el *Coeficiente de Gini* (Gini, 1953). Los factores considerados para su cálculo serán cuota lechera y número de explotaciones de vacuno de leche. Dada la heterogeneidad dimensional de los municipios (grandes diferencias de SAU disponible), se homogeneizarán los valores de cuota como densidad de cuota, es decir, trasladando el valor real de cuota a una unidad territorial común de 1000 has, (Tn cuota/1.000 has). El número de explotaciones con cuota en cada municipio se homogeniza de la misma manera, como densidad de explotaciones (nº Explot./1000 ha).

El análisis evolutivo se realiza a nivel municipal como unidad territorial. Cada municipio está representado por el conjunto de explotaciones localizadas en el mismo. Se establecieron grupos de municipios atendiendo a la similitud en las tendencias evolutivas del factor densidad de cuota. La similitud o discrepancia entre estos grupos considerados como muestras independientes, se analizó mediante un contraste de medias para una selección

de variables dependientes. Estas variables son: a) pSAUt_sRust, porcentaje que representa la SAU total de la unidad territorial sobre la Superficie Rústica de municipio; b) pSAUt_VL, porcentaje de la SAU total media vinculada a explotaciones de vacuno lechero los dos primeros años de la vigencia del sistema de cuotas. c) VLsSAU, número de VL por cada hectárea de SAU total censada; d) pVCsVL, porcentaje que representa inicialmente el Vacuno de Carne en relación con el Vacuno de Leche; e) Cot_Med, altitud geográfica media de la unidad territorial; f) Pte_Med, pendiente media de la unidad territorial; g) Precipit, valor medio de la precipitación anual en la unidad territorial; h) DC_94-95, densidad inicial de cuota láctea en cada unidad territorial, (valor medio de los años 1994 y 1995); i) DEx_94-95, densidad inicial de explotaciones en cada unidad territorial, (valor medio de los años 1994 y 1995); j) pCP_sRust-95, porcentaje de la Superficie Rústica de la unidad territorial beneficiada por procesos de concentración parcelaria antes del 01/01/1995; k) pCP_sRust-01, ídem pCP_sRust-95 previa al 01/01/2001.

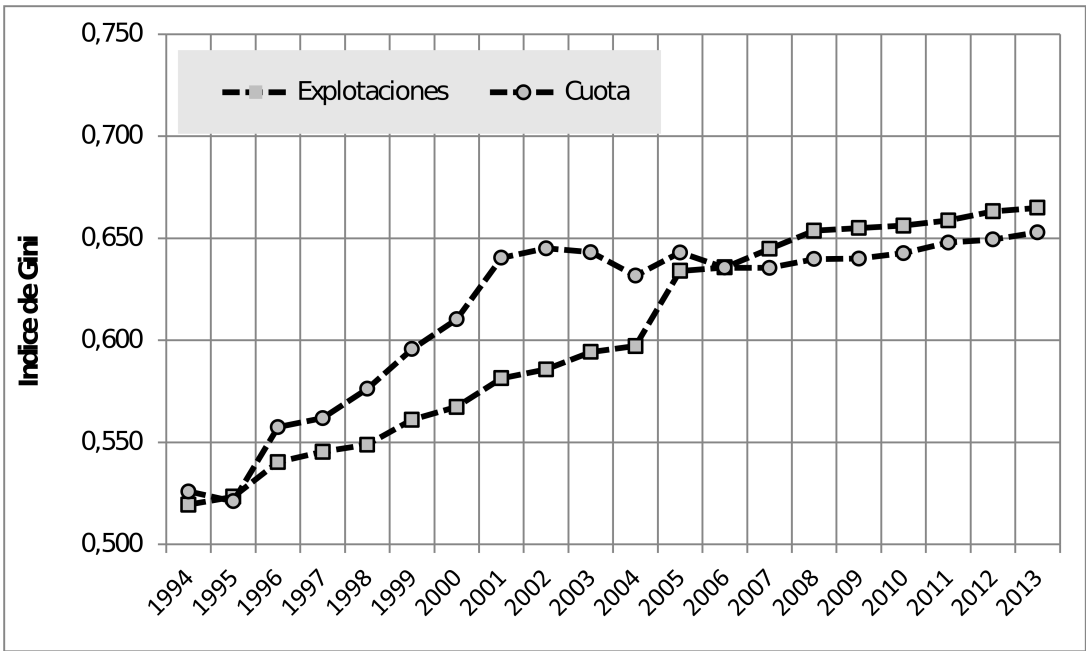
El contraste de medias se realiza mediante un ANOVA siempre que las variables presentan una distribución que se ajuste a una Normal (prueba de Kolgomorov-Smirnov). En los casos restantes se recurre al contraste no paramétrico de Kruskal-Wallis y al test Post-Hoc de Bonferroni-Dunn. Cuando el ANOVA refleja diferencias significativas entre medias, se realiza un Post-Hoc. Una vez comprobada la igualdad de varianzas (Levene), se recurre a la prueba de Student-Newman-Keuls.

4. RESULTADOS

Durante los 20 años considerados (1994-2013), un número importante de municipios terminan la serie sin cuota láctea y diferente evolución en los casos restantes. En cuanto al número de explotaciones de vacuno lechero, este ha disminuido en mayor o menor medida en todos los municipios.

Mediante una simple visualización gráfica de las series de datos de cuotas, se observa una elevada movilidad de cuotas. La representación gráfica de los resultados del *Coeficiente de Gini* permite diferenciar dos etapas: 1994-2001 y 2001-2013. En la primera etapa se aprecia un considerable incremento continuado de la desigualdad en la distribución territorial de la cuota, para luego estabilizarse en torno a un valor de 0,65. Atendiendo a la dinámica de movilidad de las explotaciones con cuota (derivada de las bajas que se producen continuadamente), la desigualdad territorial aumenta a mayor ritmo en una primera etapa que culmina en 2004. A partir de 2005 hay tendencia a mantener el nivel de desigualdad también en torno a un valor del coeficiente de 0,65. El mayor incremento anual en la desigualdad territorial se produce entre 2004 y 2005.

Figura 1: Gráfico temporal de desigualdad territorial (Coeficiente de Gini).



Una vez que se ha verificado que la notable movilidad que tiene como consecuencia un incremento de la desigualdad territorial, tanto en relación con la distribución de cuota como de explotaciones, se han clasificado los 297 municipios en cuatro grupos: i), formado por los municipios con una clara tendencia a incrementar la densidad de cuota; ii), formado por los municipios con una clara tendencia a disminuir su densidad de cuota, pero sin alcanzar un valor nulo en ningún momento; iii), que agrupa los municipios sin una tendencia clara a incrementar o disminuir su densidad de cuota; y iv), formado por los municipios que además de una clara tendencia al decrecimiento, presentan un valor nulo de cuota en cuando menos uno o más de los últimos años del periodo. La Tabla 1 muestra el resultado de esta clasificación con valores de referencia para el inicio y el final del periodo considerado (1994 & 2013). Los grupos de municipios con tendencia al crecimiento muestran en su conjunto, los mayores valores iniciales en nº de explotaciones, cuota asignada, cuota media por granja y densidad de cuota. La densidad de explotaciones es mayor en los que muestran tendencia al decrecimiento. Por el contrario, los grupos de municipios que han dejado de tener explotaciones de vacuno lechero, son los que presentan menores valores iniciales de densidad de explotaciones, cuota total, densidad de cuota y cuota media.

Tabla 1: Distribución inicial y final de cuota y granjas según grupos de tendencia.

	Año	Grupos de Tendencia			
		(i)	(ii)	(iii)	(iv)
Municipios c/granjas (Nº)	1994	83	85	23	104[+]
	2013	83	85	23	1
Granjas (Nº)	1994	37.979	19.120	5.332	5.787
	2013	10.621	1.113	661	1[*]
Densidad granjas (Nº/100 ha SAU)	1994	9,33	10,94	8,65	3,83
	2013	2,61	0,64	1,07	0,00
Cuota total (Tn)	1994	1.154.053	261.424	101.742	25.408
	2013	2.028.090	132.975	99.619	180
Densidad cuota (Kg/ha SAU)	1994	2.835	1.496	1.651	168
	2013	4.982	761	1.617	1
Cuota media (Kg/granja)	1994	30.387	13.673	19.081	4.391
	2013	190.951	119.475	150.710	180.975

(*) Un municipio presenta una explotación después de varios años sin explotaciones. Posiblemente se trate de una explotación situada en zonas limítrofes con municipios vecinos.

(+) Dos municipios no tienen granjas en 1994 pero sí en años sucesivos.

Solo 2 de las variables consideradas (pSAUt_sRust y Precipit), presentan una distribución que se ajusta a una Normal. El contraste de medias correspondiente (ANOVA, Kruskal-Wallis), indica que los grupos establecidos presentan diferencias significativas para todas las variables excepto Precipit. Tabla 2.

Tabla2: Resultados de las pruebas de Normalidad, contraste de hipótesis y post-hoc

	Normalidad (K-S)		Contrate Grupos		Grupos territoriales (Media)			
Variable	**Media**	**Signif. (bl)**	**Prueba(**)**	**Signf.**	**i**	**ii**	**iii**	**iv**
pSAUt_sRust	26,49	0,069*	A, S	0,000	37,13 [2,3,4]	24,89 [1,4]	29,10 [1,4]	18,86 [1,2,3]
pSAUt_VL	37,87	0,011	K, B	0,000	62,92 [2,3,4]	39,16 [1,4]	40,31 [1,4]	16,68 [1,2,3]
VLsSAU	0,55	0,008	K, B	0,000	0,94 [2,3,4]	0,57 [1,4]	0,53 [1,4]	0,24 [1,2,3]
pVCsVL	17,43	0,000	K, B	0,023	15,34 [4]	16,10	17,06	20,21 [1]
Cot_Med	419,36	0,007	K, B	0,011	455,57 [2]	376,89 [1]	459,70	416,32
Pte_Med	9,10	0,001	K, B	0,000	5,90 [2,4]	9,25 [1,4]	8,43 [4]	11,63 [1,2,3]
Precipit	1.361,99	0,114*						
DC_94-95	21.602,09	0,000	K, B	0,000	34.327 [2,4]	21.533 [1,4]	26.750 [4]	10.576 [1,2,3]
DEx_94-95	102,45	0,000	K, B	0,000	93,17 [4]	164,62 [4]	75,10	65,80 [1,2]
pCP_sRust-95	7,33	0,000	K, B	0,000	15,09 [2,4]	7,41 [1,4]	6,03	1,47 [1,2]
pCP_sRust-01	10,13	0,000	K, B	0,000	18,65 [2,4]	9,98 [1,4]	12,35	3,10 [1,2]

([1,2,3,4]) Los superíndices indican los grupos con los que mantiene diferencias significativas según Post-Hoc

(*) Ajuste a una Normal

(**) Contraste realizado (A = ANOVA, K=Kruskal-Wallis) y Post-Hoc (S=Student-Newman-Keuls, B=Bonferroni-Dunn)

El Post-Hoc respecto de pSAUt_sRust, conduce a tres conjuntos homogéneos de espacios territoriales: 1) los que tienden a crecer (i); 2) los que tienden a mantener o reducir su nivel productivo ((ii) y (iii)); y 3) los que a final del periodo de cuotas han abandonado la producción de leche (iv).

Para las restantes variables, las pruebas correspondientes muestrean que existen diferencias significativas en las distribuciones entre grupos. Respecto de pSAUt_VL y VLsSAU, el post-hoc aporta el mismo resultado indicado para pSAUt_sRust. Respecto de pVCsVL, las diferencias significativas solo se dan entre los grupos con tendencias evolutivas opuestas (i y iv). Es factor Cot_Med, no presenta una influencia relevante sobre las tendencias evolutivas de los municipios, salvo casos extremos. Respecto de los factores Pte_Med y DC_94-95, se pueden diferenciar: 1) los que tienden a incrementar su nivel productivo (i); 2) los que tienden a reducir su nivel productivo (ii); y 3) los que a final del periodo de cuotas han abandonado la producción de leche (iv).

5. DISCUSIÓN

El sector lechero gallego, sometido a una economía de mercado ya al sistema cuotas, ha buscado la competitividad a través de un rápido incremento del tamaño medio de las explotaciones (Rusev et al, 2012; Ferguson and Hansson, 2013), Para ello han tenido que desaparecer buena parte de estas (Kim et al, 2005). De hecho, se ha producido una reducción del 82% en el número de explotaciones lecheras con un incremento del 47% de la producción de leche durante el periodo 1994-2013. La excesiva fragmentación de la propiedad ha condicionado las posibilidades de redimensionamiento de las explotaciones, por su negativa influencia en la eficiencia reduciendo los beneficios de las explotaciones (Del Corral et al, 2010). A medida que se van alcanzando niveles de competitividad razonables, el proceso de movilidad se ralentiza y el incremento diferencial de movilidad disminuye. Coincidiendo con los últimos años del período de cuota, (2007-2013), tras la aplicación de un Plan Nacional de Reordenación del Sector Lácteo, (BOE, 2005), el diferencial de movilidad pasa a ser casi nulo. Ver Figura 1.

La comparación de las curvas que trazan los niveles de desigualdad obtenidos a partir de las variables “densidad de cuota” y “densidad de explotaciones” para el periodo 1994-2013. (Ver Figura 1), muestra un comportamiento similar.

El Coeficiente de Gini (CG), aumenta a lo largo de este periodo para ambas variables. Parte de un valor inicial similar para ambas y alcanza un valor final también similar, pero los mayores niveles de desigualdad, se alcanzan tres años antes para la distribución de la cuota que para la distribución de las explotaciones, en 2001 y 2004 respectivamente

Los principales incrementos puntuales de cuota láctea regional, no coinciden con puntos de inflexión en las curvas de desigualdad, lo que indica que el aumento de desigualdad deriva principalmente del balance neto de transferencias entre ganaderos de distintos municipios. En cuanto a explotaciones, hasta 2005 se produce un cese continuado de explotaciones con un incremento progresivo de la desigualdad territorial.

Entre 2004-2005 se da un incremento relevante del CG relativo a explotaciones, coincidiendo con el anunciado paso de un mercado libre de cuotas a una situación de regulación. Muchas explotaciones han visto este momento como la última buena ocasión de hacer efectivo el valor de su cuota láctea.

En algunos escenarios, la intervención en el mercado de cuotas fue causa de costes por ineficiencias o de migración hacia otros subsectores agrarios (Hennessy et al, 2009; Sauer, 2010; Kumbhakar et al, 2008), pero en Galicia, la ausencia de intervención o su tardanza, ocasionó la desaparición de explotaciones en determinadas áreas y la concentración territorial de las mismas en otras, (Riveiro et al, 2008). Esto conlleva una tendencia a la intensificación (Louhichi et al, 2010), lo que puede suponer una barrera futura a la expansión dimensional.

Según los datos del censo agrario (INE, 2009), la carga ganadera presenta un valor medio de 1,42 vacas/ha de SAU, con valores máximos municipales de hasta 4,52 vacas/ha. Esto induce a que en algunos de estos municipios, la expansión ya tendría que venir de la mano de una mejor utilización de los recursos (De Frahan et al., 2011).

En un futuro próximo y de mantenerse el actual equilibrio entre el valor de los productos y las materias primas, podría ocurrir, de acuerdo con Kim et al (2005) y Ferguson and Hansson (2013), que las economías de escala favoreciesen a las grandes explotaciones

conduciendo hacia una polarización dimensional. En caso contrario, la elevada fragmentación de la propiedad en algunos municipios, según Manjunatha et al, (2013) podría convertirse en una ventaja competitiva para las pequeñas explotaciones y en consecuencia, para la continuidad de una actividad basada en la diversificación productiva (Di Falco et al, 2010), lo que estaría en sintonía con los principios de la nueva PAC 2014-2020, (Comisión Europea, 2013).

El grupo de municipios con tendencia al abandono de la actividad lechera (iv), partía de una baja densidad media de explotaciones y cuota, así como una reducida dimensión media inicial (Tabla 1; cuota media de 4.391 kg), presentando diferencias significativas respecto de los otros grupos (Ver tabla 2; DC_94-95 y DEx_94-95). Tal como sostienen Aubert and Perrier, (2009) y Ferguson and Hansson (2013), la trayectoria de las pequeñas explotaciones suele estar marcada por el abandono ante la jubilación de sus titulares, y reducidas posibilidades de sucesión (Aldanondo-Ochoa et al, 2007). En concordancia, estos municipios tienen en común los más bajos porcentajes de SAU en relación con su SF total y un elevado valor de la pendiente media (Tabla 2; pSAUt_sRust y Pte_Med), con diferencias significativas respecto de los restantes grupos. Son municipios más vinculados al aprovechamiento forestal que al agrícola, o en actividades ganaderas bajo sistemas extensivos y de pastoreo. (Tabla 2; pSAUt_VL), que además presentan una elevada fragmentación de la propiedad. La comparación de los datos de los censos agrarios de 1999 y 2009 (INE,1999; INE, 2009), muestra una reducción del 84,5% en explotaciones y de solo un 21,5% de la SAU. Esto revela una concentración de la actividad en un reducido número de explotaciones, principalmente vacuno de carne, ovino y caprino, por orden de importancia.

En un polo opuesto se encuentra el grupo de municipios con tendencia al incremento de la actividad lechera (i). Estos municipios ya mostraban inicialmente los valores más elevados de densidad de cuota y cuota media por explotación, lo que les supuso una ventaja para seguir creciendo y afrontando cambios estructurales (Rusev et al, 2012; Zimmermann and Heckelei, 2012). Presentan un mayor grado de actividad agraria en torno al vacuno lechero y porcentaje de SAU vinculada a explotaciones de vacuno lechero, mayor nivel de incidencia de actuaciones de Concentración Parcelaria, con diferencias significativas respecto de los demás grupos territoriales, a su vez relacionado con la reducida pendiente media del terreno (Tabla 2, pSAUt_VL; pSAUt_sRust; pCP_sRust-95; Pte_Med). Fueron estos municipios los que porcentualmente han perdido menos explotaciones y presentan la mayor densidad de explotaciones hacia el final del periodo de cuota. (Ver Tabla 1). Esto indica que no siempre la causa de la desaparición de las explotaciones de menor tamaño se debe a la competencia por los recursos, tal como han concluido Kim et al (2005) y Ferguson and Hansson (2013). En este caso, según datos de los censos agrarios de 1999 y 2009 (INE, 1999 e INE, 2009), la intensificación derivada de la concentración de la producción se ha resuelto incorporando y/o incrementando el cultivo del maíz forrajero, en consecuencia con el modelo de Louhichi et al, (2010). Esta intensificación puede acarrear consecuencias negativas en un futuro escenario sin cuotas, derivadas de la alta sensibilidad de los costes de producción de leche a cambios en los precios de las materias primas (Valero et al. 2014).

El grupo (iii) es un reducido grupo de municipios con una evolución en torno a la estabilidad, sin una clara tendencia al crecimiento (i), o al decrecimiento (ii), que comparte determinadas características con estos y con (iv), (Tabla 2).

El grupo (ii) engloba un importante número de municipios, con una tendencia contraria al (i), de decrecimiento en densidad de cuota sin llegar a los niveles de desaparición de la

actividad del (iv), con diferencias significativas respecto de estos dos grupos (Tabla 2). Este es un grupo de municipios en el que la actividad productora de leche se reduce a la mitad durante el periodo 1994-2013, pero la SAU solo disminuye un 14% en el periodo 1999-2009 (INE, 1999, INE, 2009). No ha existido una notable pérdida de actividad agraria pero han cobrado relevancia otras actividades productivas tales como vacuno de carne, ovino o caprino. Esto concuerda con un valor de pendiente media es significativamente mayor que para los municipios (i), y porcentaje de SAU significativamente menor (Tabla 2, Pte_Med y pSAUt_sRust), es decir, se trataría de municipios con más superficie de montaña, en los que tienen cabida sistemas extensivos en pastoreo.

6. CONCLUSIONES

Los municipios tienden a consolidar su posición relativa en el ranking como productores de leche, hacia el final del periodo de cuota láctea. La desigualdad territorial en distribución de cuota y explotaciones ha crecido a lo largo de todo el periodo de cuota, y es debida en gran medida a las transferencias desde explotaciones de los municipios cesantes en la producción.

Los bajos porcentajes de superficie de uso agrícola, el menor peso de la actividad lechera, menor tamaño medio de las explotaciones y las menores aptitudes para el manejo mecanizado de cultivos existentes al inicio del periodo de cuotas, son causas comunes de referencia en los municipios cesantes en la actividad lechera.

Por el contrario, los más elevados porcentajes de superficie de uso agrícola, una notable presencia de cultivo de maíz forrajero, un mayor peso de la actividad lechera, el valor de cuota media por explotación más elevado y unas mayores aptitudes para el manejo mecanizado de cultivos, parecen causa comunes a los municipios en los cuales se ha incrementado la actividad lechera.

7. REFERENCIAS

AFRICOR LUGO. (2014). Memoria 2013. Asociación Provincial de Criadores de Frisón de Lugo para o Control de Rendimentos, Lugo, Spain. <http://www.africorlugo.com/memorias.asp> accessed Julio 2014.

Aldanondo-Ochoa, A.M., Casanovas-Oliva, V., Almansa-Sáez, C. (2007). Explaining farm succession: the impact of farm location an off-farm employment opportunities. Span. J. Agric. Res. 5 (2), 214-225.

Alvarez, A., Arias, C., Orea, L. (2006). Explaining differences in milk quota values: The role of economic efficiency . Amer. J. Agr. Econ. 88 (1), 182–193.

Areal, F.J., Tiffin, R., Balcombe, K. (2012). Farm technical efficiency under a tradable milk quota system. J. Dairy Sci. 95, 50-62.

Aubert, M., Perrier-Cornet, P. (2009). Is there a future for small farms in developed countries? Evidence from the French case from the French case. Agric. Econ. 40, 797–806.

Boletín Oficial del Estado. (2005). Real Decreto 620/2005, de 27 de mayo, por el que se aprueba el Plan de reestructuración del sector productor lácteo. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, Madrid, Spain. <http://www.boe.es/boe/dias/2005/05/28/pdfs/A18055-18064.pdf> accessed Abril 2014.

Bouhier, A. (2001). Galicia. Ensaio Xeográfico de Análise e Interpretación dun Vello Complexo Agrario. Tomos I y II (Translated by B. Casal Vila). Santiago de Compostela, Spain: Xunta de Galicia – Consellería de Agricultura, Gandería e Montes. Caixanova.

De Frahan, B.H., Baudry, A., De Blander, R., Polome, P., Howitt, R. (2011). Dairy farms without quotas in Belgium: estimation and simulation with a flexible cost function. Eur. Rev. Agric. Econ. 38 (4), 469–495.

Del Corral, J., Perez, J.A., Roibas, D. (2010). The impact of land fragmentation on milk production. J. Dairy Sci. 94, 517–525.

Dirección General de Catastro. (2012). Ficheros de datos municipales - Rústica 2012. Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas, Madrid, Spain. <http://www.catastro.meh.es/esp/estadisticas_7.asp> accessed Abril 2014.

Ferguson, R., Hansson, H. (2013). Expand or exit? Strategic decisions in milk production. Livest. Sci. 155 (2-3), 415–423.

Hennessy, T., Shrestha, S., Shalloo, L., Wallace, M. (2009). The Inefficiencies of Regionalised Milk Quota Trade. J. Agric. Econ. 60 (2), 334-347.

Gini, C. (1953). Curso de Estadística. (2ª ed). Traducción y adaptación de la edición italiana de 1946-47. Editorial Labor S.A. Barcelona.

Huettel, S., Jongeneel, R. (2011). How has the EU milk quota affected patterns of herd-size change?. Eur. Rev. Agric. Econ. 38 (4), 497–527.

Instituto Nacional de Estadística, 1990. Base de microdatos del Censo Agrario de 1989. Instituto Nacional de Estadística, Madrid, Spain. <http://www.ine.es/prodyser/micro_censoag.htm> accessed Enero 2014.

Instituto Nacional de Estadística. (2000). Base de microdatos del Censo Agrario de 1999. Instituto Nacional de Estadística, Madrid, Spain. <http://www.ine.es/prodyser/micro_censoag.htm> accessed Enero 2014.

Instituto Nacional de Estadística. (2010). Base de microdatos del Censo Agrario de 2009. Instituto Nacional de Estadística, Madrid, Spain. <http://www.ine.es/prodyser/micro_censoagmet.htm> accessed Enero 2014.

Kim, C.S., Schluter, G., Schaible, G., Mishra, A., Hallahan, C. (2005). A Decomposed Negative BinomialModel of Structural Change: A Theoretical and Empirical Application to U.S. Agriculture. Can. J. Agr. Econ. 53 (2-3), 161-176.

Kumbhakar, S.C., Lien, G., Flatenand, O., Tvetera, R. (2008). Impacts of Norwegian Milk Quotas on Output Growth: A Modified Distance Function Approach. J. Agric. Econ. 59 (2), 350–369.

Louhichi, K., Kanellopoulos, A., Janssen, S., Flichman, G., Blanco, M., Hengsdijk, H., Heckelei, T., Berentsen, P., Lansink, A.O., Van Ittersum, M. (2010). FSSIM, a bio-economic farm model for simulating the response of EU farming systems to agricultural and environmental policies. Agric. Syst. 103, 585–597.

MAGRAMA, 2014. Gestión cuota láctea (Estadísticas). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, Spain. <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/vacuno-lechero/cuota-lactea/> accessed Mayo 2014.

Manjunatha, A.V., Anikc, A.R., Speelmand, S., Nuppenaua, E.A. (2013). Impact of land fragmentation, farm size, land ownership and crop diversity on profit and efficiency of irrigated farms in India. Land Use Policy 31, 397– 405.

Mantecón, Á.R., Villadangos, B., Díez, P., Martínez, Y., Lavín, P. (2006). Gestión económica en ovino de leche. Mundo Ganadero 191, 50-55. <http://digital.csic.es/handle/10261/17306> accessed Mayo 2014.

Riveiro, J.A., Marey, M.F., Marco, J.L., Alvarez, C.J. (2008). Procedure for the classification and characterization of farms for agricultural production planning: Application in the Northwest of Spain. Comput. Electron. Agric. 61 (2), 169-178.

Riveiro, J.A., Marey-Perez, M.F., Diaz-Varela, E.R., Alvarez, C.J. (2010). A methodology for the analysis of the relationships between farms and their physical environment. J. Agric. Sci. 148, 101-116.

Rusev, N., Bachvarova, S., Gaidarska, V., Harizanova, Ts., Stoykov. P., Ivanova, T. (2012). Study on Basic Criteria of a Grade of Dairy Farms with Different Herd Size. Bulg. J. Agric. Sci. 18 (6), 958-964.

Sauer, J. (2010). Deregulation and dairy production systems: a Bayesian distance function approach. J. Prod. Anal. 34 (3), 213–237.

Valero, L., Casasnovas-Oliva, V., Aldanondo-Ochoa, A.M. (2014). Feed prices and production costs on Spanish dairy farms. Span. J. Agric. Res. 12(2), 291-304.

Xunta de Galicia. (2014). Buscador de concentracións parcelarias por municipios. Xunta de Galicia, Santiago de Compostela, Spain. <http://www.medioruralemar.xunta.es/nc/areas/infraestruturas/concentracions_parcelarias/buscador/> accessed Enero 2014.

Zimmermann, A., Heckelei, T. (2012). Structural Change of European Dairy Farms – A Cross-Regional Analysis. J. Agric. Econ. 63 (3), 576–603.

06-008

DETERMINATION OF SUSTAINABILITY INDICATORS IN THE ASSESSMENT OF THE CONSERVATION STATUS OF POPULAR ARCHITECTURE.

Cano, M. [1]; Garzón, E. [1]; Sánchez Soto, P.J. [2]

[1] Departamento de Ingeniería, Universidad de Almería
[2] Instituto de Ciencia de Materiales, Centro Mixto CSIC - US

Some rural buildings haven't usually significant artistic value, but many of them are a clear example of a proprietary architecture. In this sense the studies on the popular architectural heritage should not only include a review of documentation and potential reuse also should focus on deeper analysis taking into account the intangible aspects involved in the restoration of a building, such as a socio-economic study, as well as the impact on the quality of the landscape where the building is located. These complex systems present a great challenge, and designing more sustainable alternatives is a must. From the point of view of his rehabilitation, and always supported sustainability abstracts feel, considering this term as socially desirable, economically viable and environmentally prudent, we have identified a number of valid assessment of rehabilitation potential in the project intervention and documentation of this heritage, to quantify different characteristics of the building and its environment, capable of being quantified indicators, with some flexibility and prioritization, well as highlights the strength and validity of the methodology.

Keywords: *Popular buildings;conservation;indicators;sustainability*

DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA ARQUITECTURA POPULAR

Algunas construcciones rurales no suelen tener valor artístico importante, pero muchas de ellas son un claro exponente de una arquitectura popular. En este sentido los estudios sobre el patrimonio arquitectónico popular no sólo debe incluir un examen de la documentación y del potencial de reutilización, además debe centrarse en una mayor profundidad de análisis teniendo en cuenta los aspectos intangibles implicados en la restauración de un edificio, tales como un estudio socio-económico, así como el impacto en la calidad del paisaje donde se ubica el edificio. Estos sistemas complejos suponen un gran desafío, y el diseño de alternativas más sostenibles es una necesidad. Desde el punto de vista de su rehabilitación, y apoyado siempre en los compendios de sostenibilidad, considerando este término como algo socialmente deseable, económicamente viable y ambientalmente prudente, se han determinado una serie de indicadores válidos en la evaluación del potencial de rehabilitación, en la realización del proyecto de intervención y en la documentación de este patrimonio, que permiten cuantificar diferentes características de la edificación y su entorno, capaces de ser cuantificados, con una cierta flexibilidad y priorización, así como se pone de manifiesto la fortaleza y validez de la metodología empleada.

Palabras clave: *Edificios populares;conservación;indicadores;sostenibilidad*

Correspondencia: Eduardo Garzón Garzón egarzon@ual.es

1. Introducción

La actuación de recuperar el patrimonio implica conservar la historia, la cultura y las tradiciones de los que antes nos precedieron. Algunas construcciones rurales no suelen tener valor artístico considerable o importante, pero muchas de ellas son un claro exponente de una arquitectura tradicional propia de una zona concreta y son testigos de una forma de vida que fue la de nuestros antepasados (Wauters & Geodseels, 1996). En otras ocasiones se establece una doble finalidad en la rehabilitación y/o reutilización, con el fin de desarrollar una actividad empresarial (agroindustrial, turismo rural, museos, etc.) a la vez que conservamos o recuperamos una construcción concebida para un objetivo distinto al que se propone.

Para llevar a cabo el análisis y diseño de un edificio, se valoran las "condiciones más desfavorables" con el fin de conseguir el diseño óptimo. Estas condiciones desde el punto de vista técnico son examinadas en profundidad (el desarrollo tecnológico siempre ha estado centrado a aspectos como el comportamiento de las estructuras y la caracterización de materiales) (Asociación de Empresas Constructoras y Concesionarias de infraestructuras [SEOPAN], 2010).

Pero estas metas resultan insuficientes ante los nuevos retos que plantea la rehabilitación del edificio popular y que exigen cada vez más un cambio en el enfoque de este tipo de proyectos. Numerosos trabajos de investigación se ha enfocado a analizar el detalle de los edificios (Fuentes & Cañas, 2003; Armesto et al., 2003; Aria et al., 2006; Yilmaz et al., 2007; Pérez-Martín et al., 2011) por el que la documentación gráfica y visual es particularmente importante. Los esfuerzos de investigación para desarrollar método adecuado para evaluar las alternativas de reutilización de edificios rurales han sido notables. Así, varios autores (Roulet et al., 2002), (Ipekoğlu, 2006), (Zavadskas & Antucheviciene, 2007), (Wang & Zeng, 2010), (Pérez-Martín et al., 2011) han desarrollado metodologías multi-criterio para llegar a una solución multi-dimensional.

El estudio de arquitectura tradicional, no sólo debe incluir un examen de la documentación y del potencial de reutilización, sino que también debe centrarse en una mayor profundidad de análisis teniendo en cuenta los aspectos intangibles que intervienen en la restauración de un edificio, tales como un estudio socio-económico citado por varios autores (Bedate et al., 2004; Canoves et al., 2006; Cyrenne et al., 2006; Yiu & Leung, 2005), así como el impacto en la calidad del paisaje donde se ubica el edificio. Sobre este punto varios autores como Ruda, (1998), García et al., (2003), Hernández et al., 2004), García et al., (2006), han hecho una valiosa contribución en este campo.

Por tanto, debe existir, junto con el concepto de desarrollo sostenible basado en el medioambiente (respeto a los recursos naturales y capacidad de los ecosistemas), sociedad (igualdad social e integración de todos los actores) y economía social, unos objetivos estratégicos del proyecto que, no se tiene en cuenta con la suficiente exactitud o bien, no se incluyen para su análisis, por la gran variabilidad e incertidumbre asociada a los proyectos constructivos. Se trata del estudio desde otras perspectivas, como es el proyecto de rehabilitación del edificio popular, y más concretamente desde una perspectiva de protección arquitectónica, que englobe su valor cultural.

2. Objetivos

Existe una gran demanda de metodologías para la identificación de indicadores relacionados con la evaluación del potencial de rehabilitación y los proyectos de construcción.

Actualmente, no existe una norma o estándar para la identificación y selección de indicadores que siga una metodología científico-técnica, debido en parte a la dificultad de cuantificar variables cualitativas. Esto supone que uno de los objetivos se verá reflejado en la resolución metodológica del modo de identificar, seleccionar y priorizar indicadores a considerar en el potencial de rehabilitación de este patrimonio tan frágil, el patrimonio arquitectónico popular, que actualmente supone un auténtico problema en su caracterización y puesta en valor.

Uno de los principales objetivos ha sido, proponer una solución científica a la identificación, priorización y selección de indicadores donde todos los involucrados de un proyecto sean partícipes del proceso, reduciendo en lo posible la subjetividad y las incertidumbres del proceso. Además, se ha buscado la evaluación tanto de los indicadores como del modelo más acorde a las necesidades de los proyectos de rehabilitación arquitectónica rural.

Por otra parte se encuentra el análisis de estos indicadores como atributos pertenecientes a una decisión multicriterio, donde se deben valorar las distintas alternativas de un proyecto. En este caso, se distinguirá entre la distribución de pesos, la normalización de los criterios y el análisis multicriterio de alternativas en sí mismo. La estimación de los pesos se ha realizado escalonadamente para cada nivel de jerarquía establecido, de tal manera que ascendiendo en cada uno de ellos, se llega a obtener el valor final de los objetivos a evaluar.

De acuerdo a estas notas iniciales, se pasa a comentar la propuesta metodológica.

3. Metodología

El primer paso de la propuesta es, por tanto, el planteamiento de una metodología de identificación, priorización y selección de oportunidades (indicadores), pues es donde los mayores problemas han sido identificados. Nos interesa, la identificación de todas las oportunidades relacionadas con la valoración del edificio rural y su contexto inmediato, existentes en un proyecto de rehabilitación y/o reutilización, para posteriormente realizar su categorización y priorización e incluso desechar algunos de los criterios identificados. Los siguientes pasos consistirán en la evaluación de estas oportunidades o criterios tanto a nivel individual (indicador a indicador) como a nivel general (multicriterio) para obtener una clasificación y selección de las mejores alternativas desde el punto de vista de la rehabilitación del edificio popular.

La metodología propuesta para la identificación, priorización y selección de indicadores en la caracterización y puesta en valor del patrimonio arquitectónico popular, se divide principalmente en dos etapas:

3.1. Etapa I: Identificación de indicadores generales

En esta primera etapa de identificación, los indicadores serán identificados siguiendo las siguientes técnicas:

***i. Revisión de documentación*:** Se trata de una selección de la documentación existente y una revisión estructurada de la misma en busca de las metas sostenibles del proyecto. Se diferenciarán, dentro de esta técnica, dos aplicaciones diferentes:

a. Bibliografía científico-técnica, de acuerdo a las publicaciones científicas y técnicas existentes en la tipología de proyecto a tratar, herramientas o sistemas de indicadores existentes que pueden servir de entradas al proceso y experiencias profesionales publicadas en el sector.

b. Legislación. Se ha considerado la importancia de la revisión de la normativa tanto regional, nacional como internacional relativa a los aspectos de rehabilitación arquitectónica

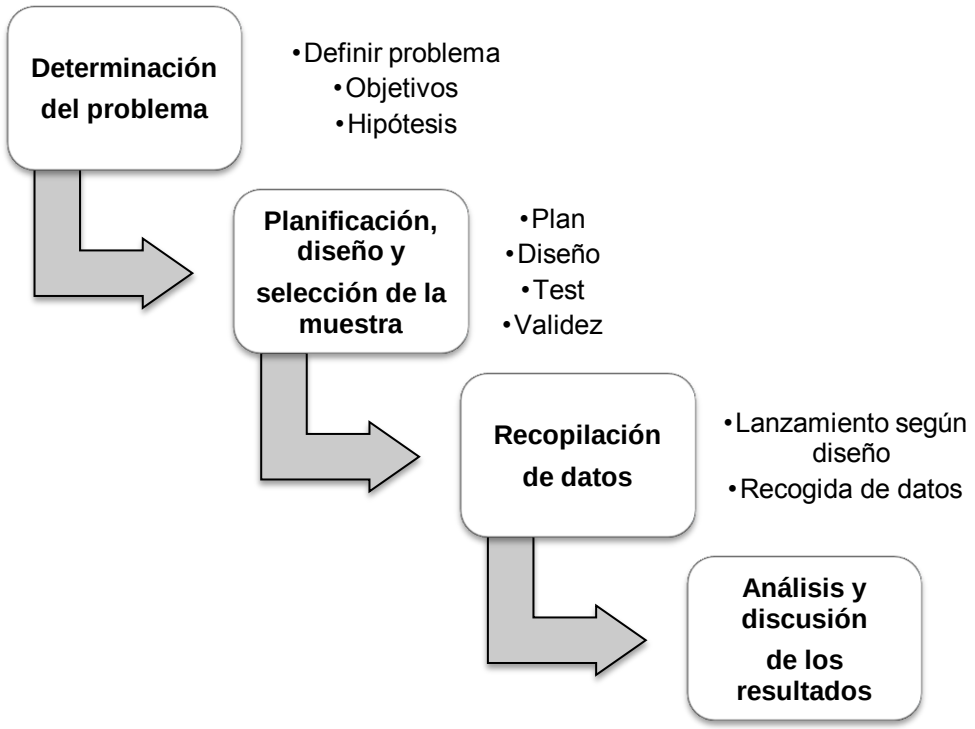
del área objeto de estudio, seleccionando aquellos aspectos con alguna relación con los cinco pilares de la rehabilitación del edificio popular de forma sostenible: el medio ambiente, la estética, la integración social, la economía social y la funcionalidad, reflejados en la legislación.

ii. Recopilación de información:

a. Encuestas*:* Es fundamental la elaboración de encuestas a todos los actores del ciclo de vida del proyecto para recoger los puntos de vista y la importancia de cada sector involucrado. De este modo, la encuesta deberá ir dirigida no sólo a expertos, como ingenieros o arquitectos, que subrayarán la importancia de los aspectos técnicos del proyecto, sino también a promotores (importancia económica y rendimiento de la inversión), los usuarios tanto directos como indirectos (importancia de los aspectos sociales y económicos), las organizaciones ecologistas (importancia medioambiental e impactos sobre el entorno del proyecto), así como a los suministradores de materiales y equipamientos (gestión de recursos y residuos). La encuesta debe estar enfocada a proponer factores e indicadores de caracterización y puesta en valor de proyectos de rehabilitación arquitectónica rural, no a la valoración o calificación de los indicadores propuestos.

Para el planteamiento de esta encuesta, se han seguido las etapas recogidas en la figura 1 que diferentes autores estudiados (Alaminos & Castejón, 2006; Lapietra, 2006) señalan como fundamentales para el diseño y elaboración de encuestas.

Figura 1. Etapas para el diseño y elaboración de encuestas.

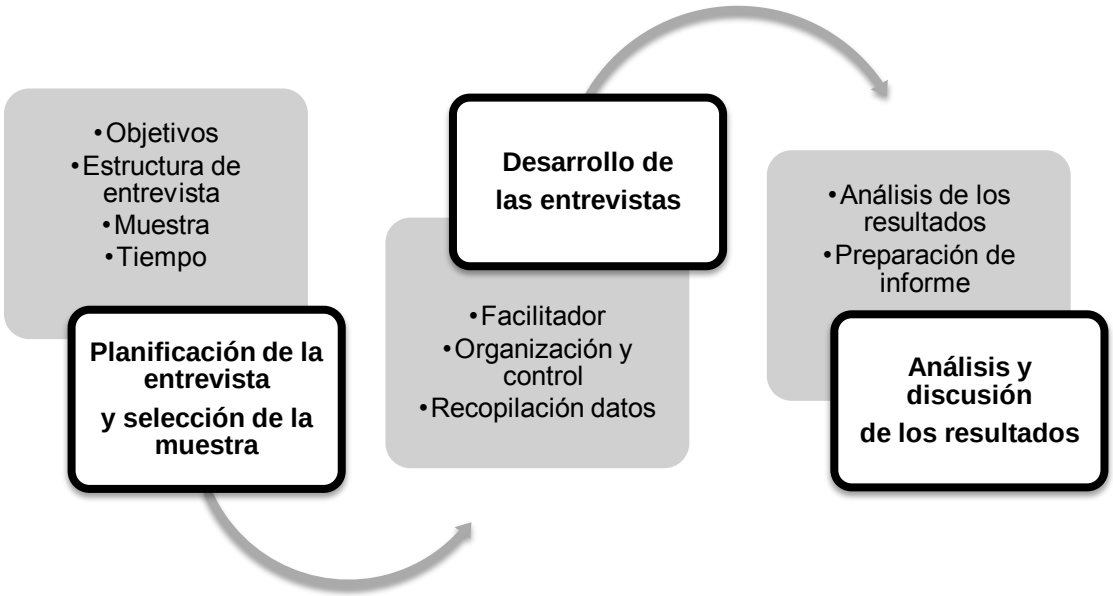


b. Entrevistas: generalmente se harán a expertos en aspectos técnicos y sostenibles de los proyectos, pero se debe englobar a todos los actores mencionados anteriormente. Generalmente, las entrevistas generan una gran cantidad de información tanto directa como indirecta. El empleo de esta técnica es una de las principales fuentes de recopilación de datos para la identificación de oportunidades (Project Management Institute [PMI], 2004).

Uno de los criterios básicos en las entrevistas es la necesidad de efectuarse estando

presentes solamente el entrevistador y el entrevistado, donde se puede buscar la normalización de la interacción entre ambos (Alaminos & Castejón, 2006). Las etapas en las que se ha dividido la aplicación de esta técnica aparecen representadas en la figura 2.

Figura 2. Etapas para el diseño y elaboración de entrevistas.



Se han seleccionado a aquellos colectivos que se consideran relevantes en los proyectos de construcción y de desarrollo sostenible. Así, respetando y siguiendo los actores intervinientes en un proyecto de esta índole, se han identificado los siguientes colectivos para su entrevista: Ingeniero proyectista, experto en evaluación de impacto ambiental, experto en evaluación desarrollo sostenible, fabricante y/o suministrador de materiales de construcción, equipos o instalaciones, investigador/profesor/catedrático en patrimonio arquitectónico.

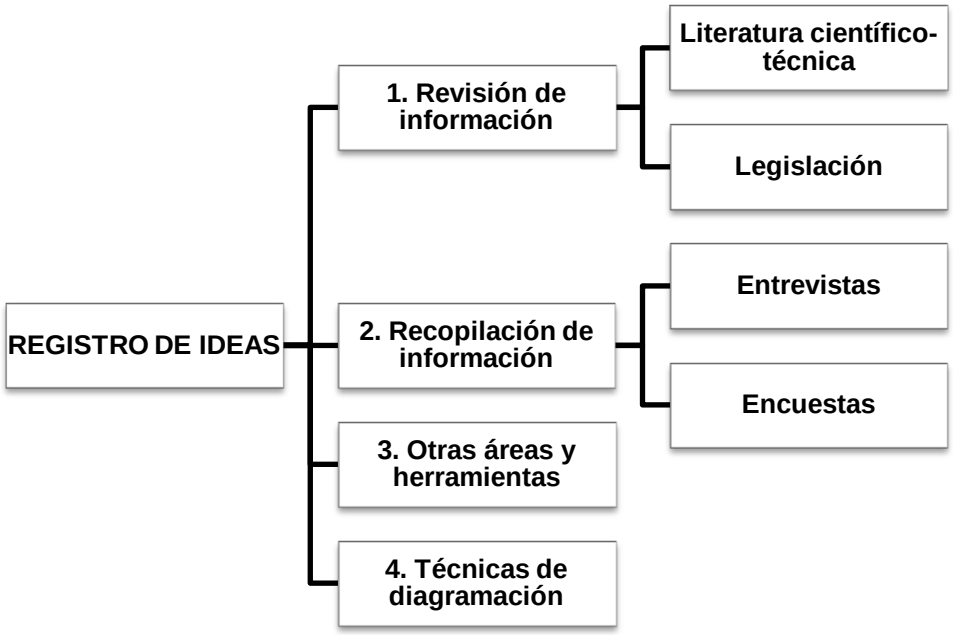
***iii. Comparación con otras áreas y otras herramientas existentes*:** Se estudiará asimismo la documentación existente y la experiencia en otras áreas donde se haya aplicado el concepto de desarrollo sostenible (*edificación, agricultura y planeamiento urbano*). De este modo, se estudia el modo de identificar indicadores empleados en otros campos que puedan tener su aplicación en los proyectos de rehabilitación del edificio popular.

iv. Técnicas de Diagramación: donde se incluirán los diagramas causa-efecto, también conocidos como de Ishikawa. Se han elaborado una serie de diagramas de causa-efecto siguiendo los once objetivos o categorías que el proyecto de investigación LEnSE (proyecto europeo del VI Programa Marco) establece como fundamentales dentro de la construcción sostenible en Europa, tomando éstos como los efectos a analizar. También se han elaborado una serie de diagramas causa-efecto siguiendo los indicadores de conservación de las ciudades históricas definidos por el Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico (IAPH) en su publicación: "*El paisaje histórico urbano en las ciudades históricas patrimonio mundial. Indicadores para su conservación y gestión, 2009*" (IAPH, 2009).

3.2. Etapa II: Clasificación y priorización de requerimientos, criterios e indicadores

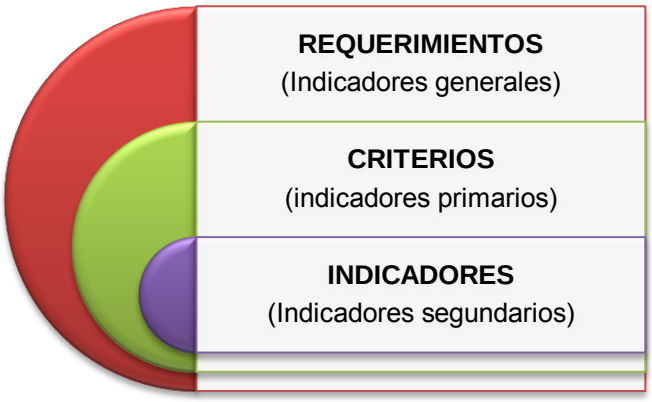
La segunda fase consiste en la **clasificación** de todos los elementos identificados en las seis listas anteriores, mediante un "*Registro de Ideas"* (RI) (figura 3).

Figura 3. Esquema para identificar oportunidades e indicadores.



La meta de esta idea es lograr una estructura jerárquica donde queden registrados la globalidad de indicadores y criterios relacionados con los proyectos de rehabilitación del patrimonio arquitectónico rural. De esta manera, y tras la priorización y selección que se comentará a continuación, se permitirá siempre una retroalimentación (aumento o disminución de los registros) y servirá como base de datos para futuras aplicaciones y evaluaciones del patrimonio arquitectónico rural. En cuanto a la **priorización** de las oportunidades identificadas y clasificadas, como son numerosos los indicadores y requerimientos que se pueden plantear, es necesario hacer un filtro, pues no todos son importantes y oportunos. Para seleccionarlos, principalmente se debe atender a dos criterios: pertinentes y discriminantes, pertinentes para el tipo de decisión y discriminantes respecto a las alternativas. En el caso de los indicadores, para facilitar esta selección, se ha establecido una estructura jerarquizada, donde inicialmente se han seleccionado, de todos los **indicadores generales obtenidos**, los más representativos, mediante el agrupamiento de indicadores semejantes en uno mismo, de manera que cada elemento identificado le denominaremos **criterio** (o indicador primario), sea lo más independiente posible del resto. A continuación, con los indicadores restantes, que llamaremos simplemente **indicadores** (o indicadores secundarios) (figura 4), se establecerá una priorización siguiendo el *principio de Pareto,* que dice que el 80 % de los problemas vienen del 20 % de las causas.

Figura 4. Extracción de Criterios e Indicadores a partir de los indicadores generales obtenidos.



En este trabajo se propone que el 80 % de los objetivos a evaluar se pueden conseguir con el 20 % de los indicadores o factores identificados con la metodología propuesta. Para el análisis y la priorización de estos indicadores, se va a recurrir a técnicas de análisis de expertos, de sensibilidad, o la propuesta de Rodríguez y Fernández (2010) para la selección del 20 % de las oportunidades que mayores beneficios reportan con menor impacto negativo sobre los objetivos del proyecto. Esta priorización tendrá lugar en tres etapas:

La ***PRIMERA PRIORIZACIÓN*** se llevará a cabo mediante el agrupamiento de los indicadores generales semejantes en uno mismo (planos o *requerimientos)*, de manera que cada elemento identificado sea lo más independiente posible del resto. Así, el resultado de este proceso se verá reflejado en una nueva agrupación con estructura desagregada RI (Registro de Ideas).

Además de los pilares de un proyecto de construcción civil (*respeto medioambiental, integración social y economía social*), en la ***primera etapa*** se han identificado otros dos planos o requerimientos, desde una perspectiva de protección arquitectónica y sostenible, en la evaluación del potencial de rehabilitación del patrimonio arquitectónico rural. Los resultados de los planos identificados en esta primera etapa, tras someterlos a una primera priorización basada en la agrupación cuando se refieren a un mismo plano o requerimiento, son: *Plano ambiental, Plano económico, Plano social, Valor arquitectónico y Plano funcional.*

La ***SEGUNDA PRIORIZACIÓN*** también se llevará a cabo mediante el agrupamiento de indicadores semejantes en uno mismo (indicador primario o *criterio*), de manera que cada elemento identificado sea lo más independiente posible del resto. El resultado de este proceso también se verá reflejado en una nueva agrupación con estructura desagregada RI (Registro de Ideas).

Los resultados de los criterios identificados (o indicadores primarios) en la ***segunda etapa***, tras someterlos a una primera priorización basada en la agrupación cuando se refieren a un mismo criterio y teniendo en cuenta el modelo procedimental para el diseño de indicadores, así como las cualidades que deben prestar los indicadores según Letelier et al. (2001), se han clasificado e introducido en la estructura de desglose denominada RI (Registro de Ideas), dando lugar al esquema de organización de los indicadores principales o criterios, basada en los requerimientos o planos principales (medioambiental, económico, valor arquitectónico, social y funcional). Dado el gran número de indicadores obtenidos, según las seis listas de indicadores, se seleccionan aquéllos que resulten de mayor importancia y, además, en mayor medida engloben los conceptos del potencial de rehabilitación del patrimonio arquitectónico rural.

Como ***TERCERA Y DEFINITIVA PRIORIZACIÓN***, se utilizará el modelo Analytical Hierarchy Process (AHP) propuesto por Saaty en la década de los 70 (Saaty, 1977), que es el método

más válido para la valoración de la importancia relativa y la consiguiente asignación de pesos, proporcionándonos unos *indicadores claves*, manejables y funcionales para su posterior empleo en las etapas tempranas cuando los procesos de toma de decisión tienen lugar. El objetivo principal de esta priorización por pares es la ordenación y selección de los indicadores claves de influencia en un núcleo rural, puesto que la selección definitiva de demasiados indicadores implicaría un coste excesivo, redundante y complejo de comprender, y si fuesen pocos habría importantes desarrollos que quizás escapasen a la atención (Van Cauwenberght et al., 2007).

Mediante esta última priorización, se podrá seleccionar el 20 % de los indicadores generales restantes, para lograr el 80 % de los indicadores más representativos para la evaluación del potencial de rehabilitación del patrimonio arquitectónico popular y así construir un conjunto de indicadores manejable.

En la realización de la tercera priorización de los distintos indicadores (indicadores secundarios) cuando se refieren a un mismo indicador, se han clasificado e introducido en la estructura de desglose denominada “Registro de Ideas”, dando lugar al esquema de organización de los indicadores, basados en los criterios definidos en el apartado anterior. Dado el gran número de indicadores obtenidos según las seis listas de indicadores, se seleccionarán aquellos que resulten de mayor importancia y en mayor medida engloben los conceptos del potencial de rehabilitación del patrimonio arquitectónico rural. Para ello, según el principio de Pareto (comentado anteriormente), mediante esta última priorización se podrá seleccionar el 20 % de los indicadores para lograr el 80 % de los indicadores más representativos en proyectos de rehabilitación y/o reutilización del patrimonio arquitectónico rural y así construir un conjunto de indicadores manejable. Para ello, se ha procedido a la aplicación del método AHP para la asignación de la importancia relativa y los pesos a los criterios identificados y clasificados, al ser la técnica más fiable en este aspecto.

4. Resultados y discusión

Se ha caracterizado e identificado las variables que influyen en la toma de decisión en el proyecto de rehabilitación y/o reutilización para la puesta en valor del edificio rural. A continuación, se ha elaborado una primera aproximación del árbol de requerimientos, los materiales y componentes a usar en la rehabilitación de un edificio rural. Se definieron indicadores, parámetros de respuesta, funciones de valor para cuantificar las alternativas en el edificio rural. Cabe aclarar que estas variables son meramente una primera aproximación.

La tabla 1 muestra las máximas puntuaciones obtenidas aplicando el método AHP y, por tanto, las seleccionadas de acuerdo al mencionado principio de Pareto, de acuerdo a la importancia de cada indicador con respecto a los demás en relación a la construcción popular.

Tabla 1. Prioridad de indicadores en orden de importancia.

REQUERIMIENTOS		CRITERIOS		INDICADORES		Importancia del indicador %
R1	AMBIENTAL	R1C1	Consumo de energía	Energía consumida por los materiales de construcción en el proceso de fabricación (MJ/m^2)	R1C1I1	4.39
				Consumo energético previsto (KVa/m^2)	R1C1I2	3.93
		R1C2	Utilización de materiales reciclados	Uso de materiales reciclados (%)	R1C2I1	3.88
				Uso de materiales fácilmente reciclables (%)	R1C2I2	3.47
		R1C3	Uso de materiales locales	Materiales usados o extraídos del lugar (%)	R1C3I1	3.24
		R1C4	Gestión de residuos	% reciclado de los residuos de construcción y demolición (RCD)	R1C4I1	4.08
		R1C5	Integración en el entorno	Integración paisajística	R1C5I1	3.77
R2	ECONÓMICO	R2C1	Costes	Coste de ejecución (€/m^2)	R2C1I1	3.72
				Coste anual de operación mantenimiento (%)	R2C1I2	3.85
		R2C2	Rentabilidad de la inversión	VPN (Valor Presente Neto) (€/m^2)	R2C2I1	3.45
				TIR (Tasa Interna de Retorno) (%/m^2)	R2C2I2	3.24
R3	VALOR ARQUITECTÓNICO	R3C1	Calidad de la edificación	Calidad de los materiales usados en cerramientos y cubierta	R3C1I1	2.68
				Factor de forma	R3C1I2	2.47
				Elementos constructivos de interés	R3C1I3	4.28
R4	SOCIAL	R4C1	Integración en el entorno social	Nivel de adaptación social del proyecto respecto a terceros	R4C1I1	2.59
				Nivel de adecuación	R4C1I2	2.75

				de las infraestructuras		
				Nivel de atractivo turístico	R4C1I3	2.96
				Servicios disponibles	R4C1I4	3.12
				Nivel socio-económico	R4C1I5	2.14
				Censo de viviendas habitadas en el entorno	R4C1I6	1.42
		R4C2	Contexto inmediato	Asentamiento	R4C2I1	2.84
				Topografía de la parcela	R4C2I2	2.59
				Calidad del paisaje	R4C2I3	2.96
R5	FUNCIONAL	R5C1	Constructibilidad	Grado de simplicidad del proceso constructivo	R5C1I1	2.78
		R5C2	Movilidad	Grado de adecuación respecto al proceso productivo	R5C2I1	2.02
				Facilidad de enlace con el exterior	R5C2I2	2.26
		R5C3	Modificabilidad y flexibilidad	Facilidad de desmonte de los elementos del edificio	R5C3I1	1.86
				Facilidad de ampliación respecto al terreno y al edificio	R5C3I2	2.00
TOTAL (Potencial de rehabilitación del edificio popular)						84.74

El resto de indicadores clasificados y registrados, obtuvieron una valoración inferior al 1,12 %. Tratando de reducir al máximo el número de indicadores a manejar, éste será el sistema de indicadores clave propuesto para la evaluación del potencial de rehabilitación del patrimonio arquitectónico rural, obtenido mediante la aplicación de la segunda fase de la metodología propuesta. Se han identificado 28 indicadores de tal modo que, según la priorización establecida, integran más del 80 % de la sostenibilidad de un proyecto.

5. Conclusiones

Se han llegado a las siguientes conclusiones:

1. Se han aplicado las seis técnicas de identificación de indicadores (revisión de la

documentación científica, legislación, entrevistas, encuestas, comparación con otras áreas y herramientas, técnicas de diagramación) de modo que no se afectaran unas con otras, consiguiendo seis listas de indicadores generales que aportan una información muy útil para el registro de indicadores para proyectos de rehabilitación del patrimonio arquitectónico rural, con sus códigos correspondientes, así como para proceder a la priorización de aquéllos y permitir el establecimiento de los criterios mínimos necesarios para un análisis multicriterio de evaluación del potencial de rehabilitación del patrimonio arquitectónico rural.

2. El uso únicamente de una o varias de las técnicas para la identificación de indicadores, lleva implícito algunos de los errores comentados en cada una de las técnicas empleadas, además de los problemas que han surgido en relación a esta carencia de fiabilidad en el proceso de identificación, subrayando la aleatoriedad de esta selección (ya comentado en los antecedentes). Al utilizar todas estas técnicas conjuntamente, este error se minimiza consiguiendo identificar la mayor parte de indicadores posibles mediante su registro y obteniendo una triangulación necesaria para asegurar que se tienen en cuenta todos los puntos de vista de los involucrados en un proyecto, la experiencia alcanzada en los sectores relacionados, y todos los aspectos fundamentales en la caracterización, puesta en valor y la posibilidad de rehabilitación del patrimonio arquitectónico rural.

3. Mediante la aplicación de estas técnicas se consigue un modelo para llegar a la identificación de factores inimaginables. Se cree que es necesario este procedimiento de identificación de oportunidades y de sus respectivos indicadores, atendiendo el ciclo de vida del mismo con el objetivo de realizar un primer registro de criterios a los que presentar como variables en la evaluación del potencial de rehabilitación del edificio popular.

6. Referencias

Aguado, A. & Casanova, I. (1997). Introducción. Capítulo 1 de demolición y reutilización de estructuras de hormigón. Ed. Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Grupo Español del Hormigón y Asociación Técnica Española del Pretensado.

Alaminos, A., y Castejón, J. L. (2006). Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión. Vicerrectorado de Calidad y Armonización Europea, Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad de Alicante, ISBN: 8426812678.

Arias, P., Ordóñez, C., Lorenzo, H. & Herráez, J. (2006). Methods for documenting historical agro-industrial buildings: A comparative study and a simple photogrammetric method. Journal of Cultural Heritage, 7(4), 350-354.

Armesto, J., Gil, M. L. & Cañas, I. (2006). The application of new technologies in construction: Inventory and characterisation of rural constructions using the Ikonos Satellite Image. Building and Environment, 41(2), 174-183.

Bedate, A., Herrero, L. C. & Sanz, J. A. (2004). Economic valuation of the cultural heritage: Application to four case studies in Spain. Journal of Cultural Heritage, 5(1), 101-111.

Canoves, G., Villarino, M. & Herrera, L. (2006). Public policies, rural tourism and sustainability: A difficult balance. Boletín de la Asociacion de Geografos Españoles, (41), 199-217.

Cyrenne, P., Fenton, R. & Warbanski, J. (2006). Historic buildings and rehabilitation

expenditures: A panel data approach. Journal of Real Estate Research, 28(4), 349-379.

Fuentes, J. M. & Cañas, I. (2003). Estudio y caracterización de la arquitectura rural. Obtención, tratamiento y manejo de la información sobre las construcciones. Informes de la Construcción., 55(487), 13-21.

García, L., Hernández, J. & Ayuga, F. (2003). Analysis of the exterior colour of agroindustrial buildings: A computer aided approach to landscape integration. Journal of Environmental Management, 69(1), 93-104.

García, L., Hernández, J. & Ayuga, F. (2006). Analysis of the materials and exterior texture of agro-industrial buildings: A photo-analytical approach to landscape integration. Landscape and Urban Planning, 74(2), 110-124.

Hernández, J., García, L. & Ayuga, F. (2004). Assessment of the visual impact made on the landscape by new buildings: A methodology for site selection. Landscape and Urban Planning, 68(1), 15-28.

IAPH (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico) (2009). El paisaje histórico urbano en las ciudades históricas patrimonio mundial: indicadores para su conservación y gestión. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Cultura.

Ipekoğlu, B. (2006). An architectural evaluation method for conservation of traditional dwellings. Building and Environment, 41(3), 386-394.

Lapietra, M. (2006). Transport surveys - guidelines. Dottorato in automazione e informatizzazione dei trasporti XVIII ciclo. Unpublished Politecnico di Torino, Italia.

Letelier, M., Herrera, J. A., López, L. & Canales, A. (2001). Indicadores universitarios: Experiencias y desafíos internacionales (Centro Interuniversitario de Desarrollo ed.), Chile.

Pérez-Martín, E., Herrero-Tejedor, T. R., Gómez-Elvira, M. Á., Rojas-Sola, J. I., & Conejo-Martin, M. Á. (2011). Graphic study and geovisualization of the old wind mills of La Mancha (Spain). Applied Geography, 31(3), 941-949. doi:10.1016/j.apgeog.2011.01.006

PMI (Project Management Institute) (2004). A guide to the project management, body of knowledge (PMBoK guide), third edition, PMI Standard.

Rodríguez López, F. & Fernández Sánchez, G. (2010). Sustainable engineering: New objetives for construction projects. Revista Ingeniería de Construcción, 25(2), 147-160.

Roulet, C. A., Flourentzou, F., Labben, H. H., Santamouris, M., Koronaki, I., Dascalaki, E. & Richalet, V. (2002). ORME: A multicriteria rating methodology for buildings. Building and Environment, 37(6), 579-586.

Ruda, G. (1998). Rural buildings and environment. Landscape and Urban Planning, 41(2), 93-97.

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, 15, 234-281.

SEOPAN (Asociación de Empresas Constructoras y Concesionarias de infraestructuras) (2010). Informe trimestral sobre el sector de la construcción (Los cuatro trimestres del año). doi: www.seopan.es.

Van Cauwenbergh, N., Biala, K., Bielders, C., Brouckaert, V., Franchois, L., Garcia Cidad, V., Hermy, M.,Mathijs, E., Muys, B., Reijnders, J., Sauvenier, X., Valckx, J., Vanclooster, M., Van Der Veken, B., Wauters, E., & Peeters, A. (2007). SAFE – A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. Agriculture Ecosystems and Environment, 120, 229-242.

Wang, H. J. & Zeng, Z. T. (2010). A multi-objective decision-making process for reuse selection of historic buildings. Expert Systems with Applications, 37(2), 1241-1249.

Wauters, E. & Geodseels, V. (1996). Conservation of historical farm buildings in a densely populated area: Flanders (belgium). Proceedings of International Seminar of the Second Technical Section of CIGR. New Users for Old Rural Buildings in the Context of Landscape Planning. Piacenza.

Yilmaz, H. M., Yakar, M., Gulec, S. A. & Dulgerler, O. N. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. Journal of Cultural Heritage, 8(4), 428-433.

Yiu, C. Y. & Leung, A. Y. T. (2005). A cost-and-benefit evaluation of housing rehabilitation. Structural Survey, 23(2), 138-151.

Zavadskas, E. K. & Antucheviciene, J. (2007). Multiple criteria evaluation of rural building's regeneration alternatives. Building and Environment, 42(1), 436-451. doi: 10.1016/j.buildenv.2005.08.001

06-010

THE GUADUA ANGUSTIFOLIA AS A STRUCTURAL MATERIAL APPLIED IN GREENHOUSES' DESIGN

Garzón, E. [1]; Cano, M. [1]; Pérez-Villarejob, L. [2]; Martínez, S. [2]; Sánchez-Soto, P. J. [3]

[1] Depto de Ingeniería, Universidad de Almería
[2] Depto de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales, Escuela Politécnica Superior de Linares, Universidad de Jaén
[3] Instituto de Ciencia de Materiales, Centro Mixto CSIC - U

In the set of Mediterranean greenhouses, wood is the most widespread structural element, although it starts being replaced at the present by galvanized steel. This substitution is not compatible with the change of productive - constructive model, in which it seeks to leave a viable environment for the future generations, not exceeding the capacity of load, turning this premise into one of the principal worries of the humanity. In this sense, the present work arises as a search on the possibilities of material application of the species of bamboo Guadua (Guadua angustifolia), considered as a viable and sustainable alternative for greenhouses' design. This initiative has consisted of the study of the possibilities of the Guadua as structural material for the greenhouses type vine arbor ("parral") or Almería. For this purpose, it has been necessary to realize a review of the works related to the above mentioned species of bamboo for his characterization as a material.

Keywords: *Bamboo;Material;Greenhouse;Design;Structure*

LA GUADUA ANGUSTIFOLIA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL EMPLEADO EN EL DISEÑO DE INVERNADEROS

En el conjunto de invernaderos mediterráneos, la madera es el elemento estructural más extendido, aunque no es menos cierto que ésta empieza a ser sustituida en la actualidad por el acero galvanizado. Esta sustitución no es compatible con el cambio de modelo productivo-constructivo, en el que se busca dejar a las futuras generaciones un medio ambiente viable, no excediendo la capacidad de carga, convirtiéndose esta premisa en una de las principales preocupaciones de la humanidad. En ese sentido, el trabajo que se presenta surge como búsqueda de las posibilidades de la especie de bambú Guadua (Guadua angustifolia), como una alternativa viable y sostenible del material para el diseño de invernaderos. De acuerdo con lo expuesto, esta iniciativa ha consistido en el estudio de las posibilidades de la Guadua como material estructural para los invernaderos tipo parral o Almería. Para ello, ha sido necesario realizar una revisión de los trabajos relacionados con dicha especie de bambú para su caracterización como material.

Palabras clave: *Bambú;Material;Invernadero;Diseño;Estructura*

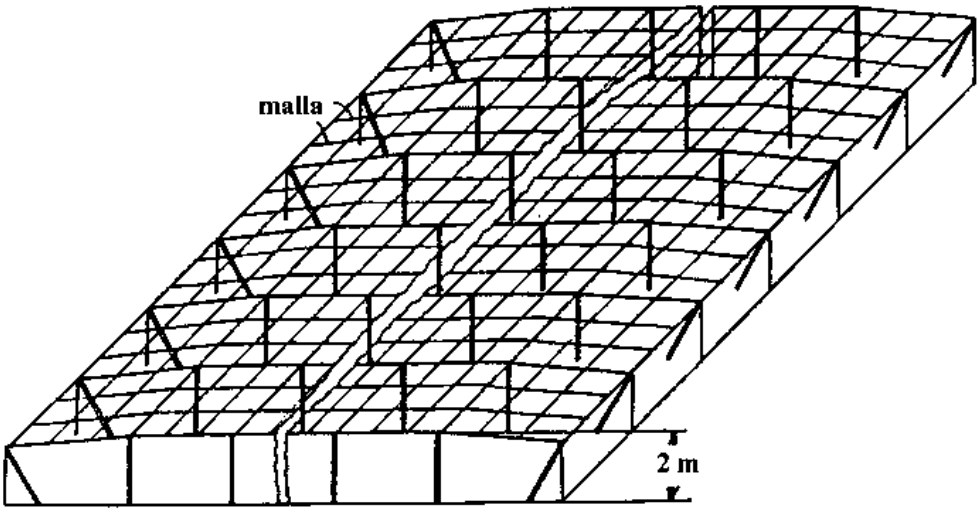
Correspondencia: Eduardo Garzón Garzón egarzon@ual.es

1. Introducción

El invernadero tipo “parral” es originario de la provincia de Almería (España) y consta, de rollizos de madera y alambres, denominado parral por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre (figura 1).

La estructura básica está hecha de postes de madera apoyados verticalmente en zapatas de cemento individuales y unidos unos a otros por medio de alambres de tensión que corren a lo largo de su parte superior. En el perímetro se sitúan pilares inclinados hacia afuera que dan estabilidad al conjunto. Los alambres de tensión también sirven como soportes de las dos redes de alambre entre las que se sitúa el film a modo de sandwich. La red inferior es de alambre (de 30 por 30 o de 20 por 40 cm. de separación) y la red superior puede ser de cuerda plástica (40 por 40 cm. de separación). Una vez se ha instalado el film se sujetan las dos redes de alambre a los cables de tensión por medio de alambres pequeños que perforan la lámina y que es preciso cortarlos cuando se tiene que cambiar la película plástica (FAO, 2002).

Figura 1: Invernadero tipo “parral” o Almería



En el conjunto de invernaderos mediterráneos la madera es el elemento estructural más extendido, y la película de polietileno de distintas propiedades ópticas y mecánicas es el material de cubierta por excelencia. El invernadero parral y sus versiones derivadas del diseño original plano es el ejemplo más extendido de invernadero autóctono. Sólo en Almería hay aproximadamente 27.000 del tipo parral y de su variante de “raspa y amagado” (EFSA, 2009). Sus características constructivas pueden consultarse en diversas fuentes bibliográficas (Pérez, 1998). Desde que en 1961 se cubrieran con plástico los primeros parrales, este invernadero ha tenido un impacto enorme en el desarrollo socio-económico de Almería, así como también en muchos otros países del mundo. El parral ha alcanzado un balance positivo en términos de coste beneficio y ha permitido la creación de pequeñas empresas familiares (que poco a poco han ido creciendo) debido a la baja inversión inicial (Montero, 2012).

Comúnmente su estructura ha sido construida con madera, aunque con el paso del tiempo cada vez más ésta se construye con tubos galvanizados. Con esta propuesta se pretende hacer un estudio experimental-comparativo de construir dicha estructura invernada con bambú, en concreto con la especie *Guadua Angustifolia Kunth* (figura 2). Al no existir una

institucionalización de la Guadua como material a nivel internacional, en tanto no hay condiciones óptimas y adecuadas que contribuyan a la producción, legislación, comercialización e industrialización de esta materia prima, con este trabajo se busca estudiar el empleo de cañas de Guadua como material estructural en una construcción especifica de un invernadero tipo parral.

Figura 2. Cañas Guadua Angustifolia Kunth

Aunque a día de hoy, todavía no existe ningún código ni normalización que permita la estandarización a nivel internacional del material; ya se hicieron durante más de 30 años numerosos ensayos que nos permiten determinar las propiedades físicas y mecánicas del bambú *"Guadua Angustifolia"*. Para la caracterización del presente material es de primordial importancia evaluar los esfuerzos que es capaz de resistir; ya que de ello depende en gran medida los diseños de invernaderos que se puedan proyectar con el mismo.

La mayor parte de las principales investigaciones publicadas, se realizaron en Colombia al ser esta especie autóctona de allí, estos estudios datan desde la década de 1970 con los trabajos de Merino *et al.* (1972), Hidalgo (1978), Carvajal *et al*. (1981), Trujillo y Peláez (1983), entre otros, pero los valores obtenidos por ellos no pueden ser comparados y analizados estadísticamente debido a que en esa época no existían procedimientos normalizados para la ejecución de los ensayos. Más tarde INBAR (1999), publicó un manual para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del bambú que sirvió de base para la realización de investigaciones posteriores con el objeto de determinar la resistencia a la compresión paralela a la fibra (Uribe & Durán, 2002; Prada & Zambrano, 2003), la resistencia al corte paralelo a la fibra (Acuña & Pantoja, 2005), y el módulo de elasticidad a compresión (González, 2006).

Las propiedades físico-mecánicas de la Guadua son la expresión de su comportamiento bajo la acción de fuerzas externas; este comportamiento depende de la clase de fuerza aplicada y de la estructura de la misma. En general, estas propiedades son las que determinan la aptitud de la madera para su uso en construcción y en innumerables aplicaciones, como artesanías, entre otros (Giraldo & Sabodal, 1999).

Como punto de partida para el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de esta especie vegetal, se realizan pruebas en las que se toman las condiciones de ensayo de las normas colombianas sobre maderas establecidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, y las normas de la American Society for Testing and Materials ASTM.

2. Resultados

Para la caracterización técnico-mecánica de la Guadua se han recogido los resultados de los ensayos realizados por: Arboleda *et al*. (1997), Aricapa *et al*. (1999), González (2005) como son: ensayo de compresión axial, ensayo de compresión perpendicular a la fibra, ensayo de tracción paralela a la fibra, ensayo de flexión, y ensayo de cizallamiento paralelo a la fibra. En las figuras 3, 4, 5, 6, 7 se pueden observar las disposiciones y dimensiones de las probetas para la realización de los distintos ensayos mencionados.

Figura 3. Ensayo de compresión axial (González, 2005)

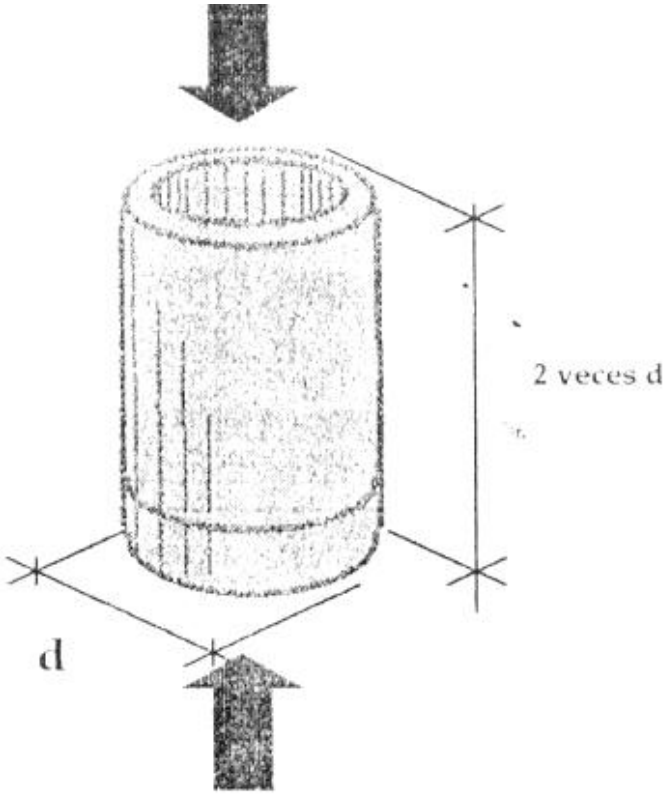


Figura 4. Ensayo compresión perpendicular (González, 2005)

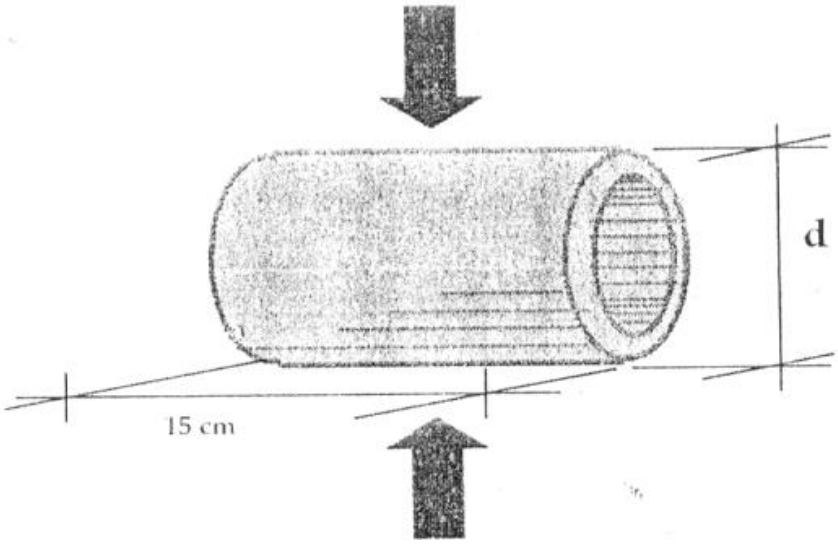


Figura 5. Ensayo de tracción paralela a la fibra (González, 2005)

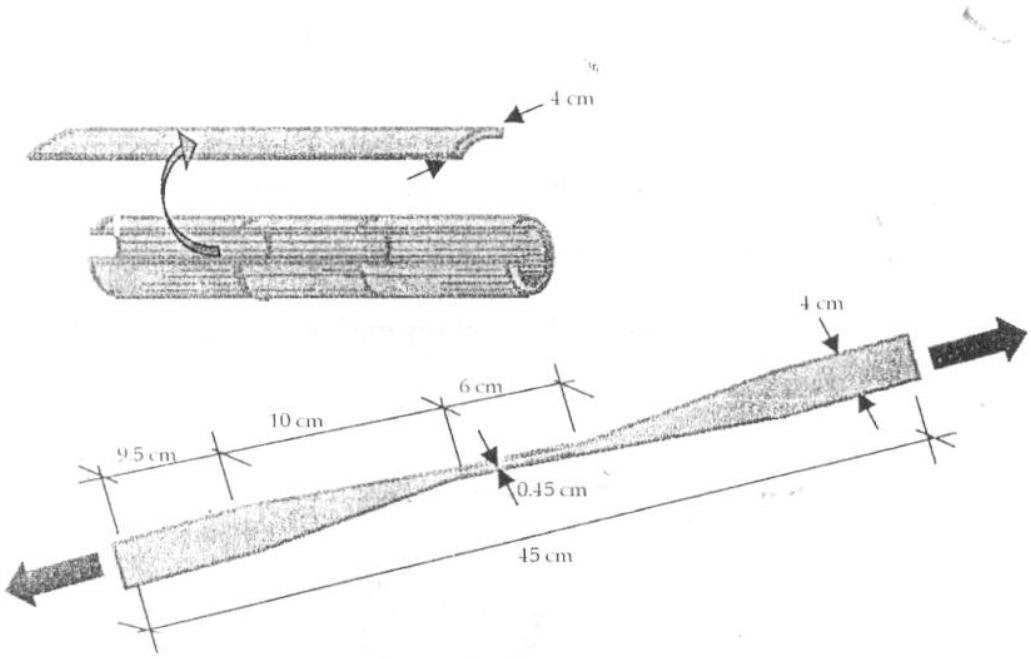


Figura 6. Configuración de las probetas del ensayo a flexión (González, 2005)

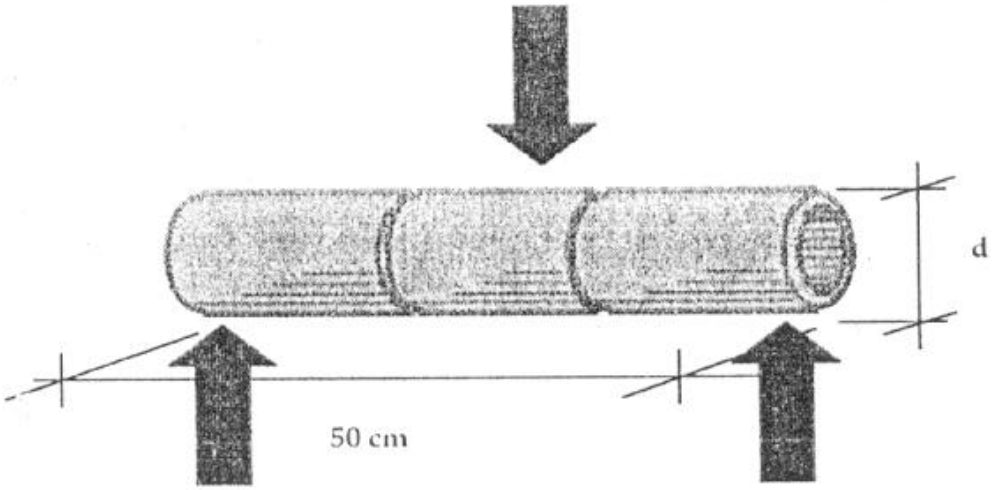
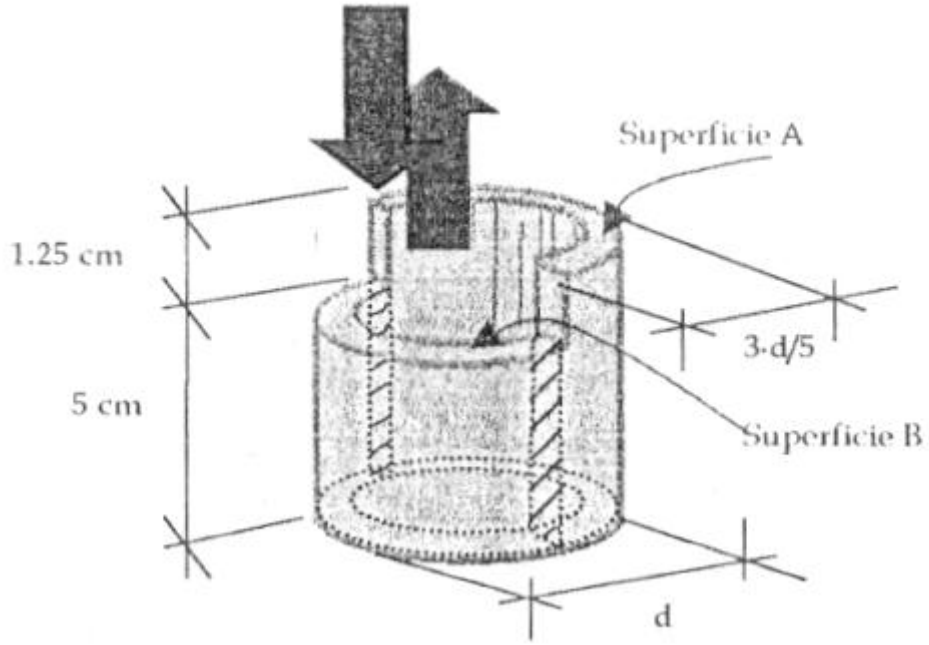


Figura 7. Ensayo de cizallamiento (González, 2005)



Se recomienda evaluar los métodos de tratamiento de la Guadua (secado, impermeabilización, preservación), de tal forma que se puedan determinar si estos métodos conducen a una alteración de las propiedades mecánicas. En este sentido Viitaniemi (1997), Gohar y Guyonnet (1998), Jämsä y Viitaniemi (2000), Rapp y Sailer, (2000) afirmaron que los cambios en las propiedades mecánicas son las más importantes desventajas causadas por los procesos de tratamiento con calor.

Además Moreno *et al*. (2006) determinaron con un estudio de las propiedades de los haces de fibra de la Guadua Angustifolia (mediante ensayos de tensión), que los valores obtenidos presentaban una apreciable variabilidad, especialmente en la resistencia a la tensión, debido a que se trata de un material orgánico cuya resistencia se puede ver afectada por: condiciones de crecimiento, proceso de extracción y aspectos climatológicos. González (2005); planteo la realización de un diseño conservador, considerando los menores valores obtenidos en los últimos cincuenta y cinco años, como valores de resistencia última mínima. Se proponen los valores mostrados en la tabla 1.

Estos valores de la tabla 1 habría que aplicarle los siguientes factores de reducción (tabla 2); de acuerdo con Arboleda *et al*. (1997), y Aricapa *et al*. (1999). Ya que al utilizar la Guadua como material estructural, se debe trabajar con los valores de esfuerzos últimos modificados por factores de seguridad, porque a pesar de ser un material homogéneo colapsa sin alcanzar su punto de fluencia. La junta del acuerdo de Cartagena (JUNAC) (1984), estableció los valores que se muestran en la tabla 2, como factores de reducción.

Tabla 1. Resultados de resistencia última mínima. (Tomada y adaptada de González, 2005)

Esfuerzo	Esfuerzo último mínimo (MPa)
Compresión perpendicular (Fp)	0.23
Compresión paralela (Fc)	17
Flexión (Fb)	7
Cortante paralela (Fv)	1.8
Tensión perpendicular (Ftp)	0.18
Tensión paralela (Ft)	50
Módulo de elasticidad a tensión (MPa)	1500

Tabla 2. Factores de reducción de la resistencia última mínima. Unidades en Mpa (Tomada y adaptada de González, 2005)

Esfuerzo	FC	FT	FS	FDC	CM
Compresión perpendicular (Fp)	1.0	1.00	1.60	1.00	1.00
Compresión paralela (Fc)	1.00	1.00	1.60	1.25	1.00
Flexión (Fb)	0.80	0.90	2.00	1.25	1.00
Cortante paralela (Fv)	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00

Finalmente se obtendrá el esfuerzo admisible mediante la siguiente expresión:

$$\sigma adm = [(FC \times FT \times CM) / (FS \times FDC)] \times \sigma i \quad (1)$$

Donde: σadm= Esfuerzo admisible (Mpa) / σi= Esfuerzo último (Mpa), FC: Factor de reducción por calidad (adimensional), FS: Factor de servicio y seguridad (adimensional), FT: Factor de reducción por tamaño (adimensional), FDC: Factor de duración de la carga (adimensional), CM: Factor de corrección por humedad (adimensional)

Laude y Obermann (2003), en base a los trabajos de Martin *et al*. (1981), García y Martínez (1992), González y Díaz (1992), López y Trujillo (2000), Lindemman y Steffens (2000) y teniendo en cuentas las diferentes especificaciones y valores en las muestras tomadas, (ya que una caña de guadua presenta distintas características físico-mecánicas según la zona de donde se haya extraído) finalizaron su investigación con un promedio de resistencias mínimas de todos los resultados consultados.

En relación a ese promedio, y para tener una idea de cómo se comporta la Guadua en comparación con la madera o el acero, realizaron un estudio con barras de los 3 materiales, cada una de 2.5 m de longitud, de secciones comunes y con un peso aproximado de 8.7 Kg, y estando sometidas todas ellas compresión, llegaron a los siguientes resultados que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Comparación Madera - Guadua – Acero (Tomada y adaptada de Laude y Obermann, 2003)

Compresión a una barra de 2.5 m y 8.7 kg de materiales distintos	Madera tipo B		Guadua		Acero, A36	
	EC5	S10/MS10	EC5		EC3	S235
Densidad g/cm³	0.55		0.7		7.8	
E-Modul KN/cm²	740		600		21000	
Fuerza adm. KN/cm² a compresión	1.1		1.5		23.5	
Seccíon						
	D=9cm		D=12cm d=9cm		D=5.1cm d=4.5cm	
Area A cm²	63.6		49.5		4.4	
Inertia I cm^4	322.1		695.8		12.7	
Esbeltez $\underline{\lambda}$	111.1		66.7		147.2	
Peso kg	8.7		8.7		8.7	
Fuerza max adm. KN	15.1		25.6		27.6	
Precio / metro € Colombia/Alemania	2	5	1	3	4	8

En la tabla 3 se puede observar que a un elemento de Guadua (D=12 cm; d=9 cm) con una longitud de 2.5 m; se le puede aplicar una carga máxima de compresión de 25 KN, lo que nos hace pensar que a tracción podría aplicarse aproximadamente una carga hasta 100 KN. Observando además que la Guadua resiste mucho más que la madera, y en cuanto a la relación entre fuerza máxima y peso presenta un valor interesante, ya que se aproxima al acero. Se podría aumentar la sección del acero, pero se aumentaría igualmente el peso y el precio.

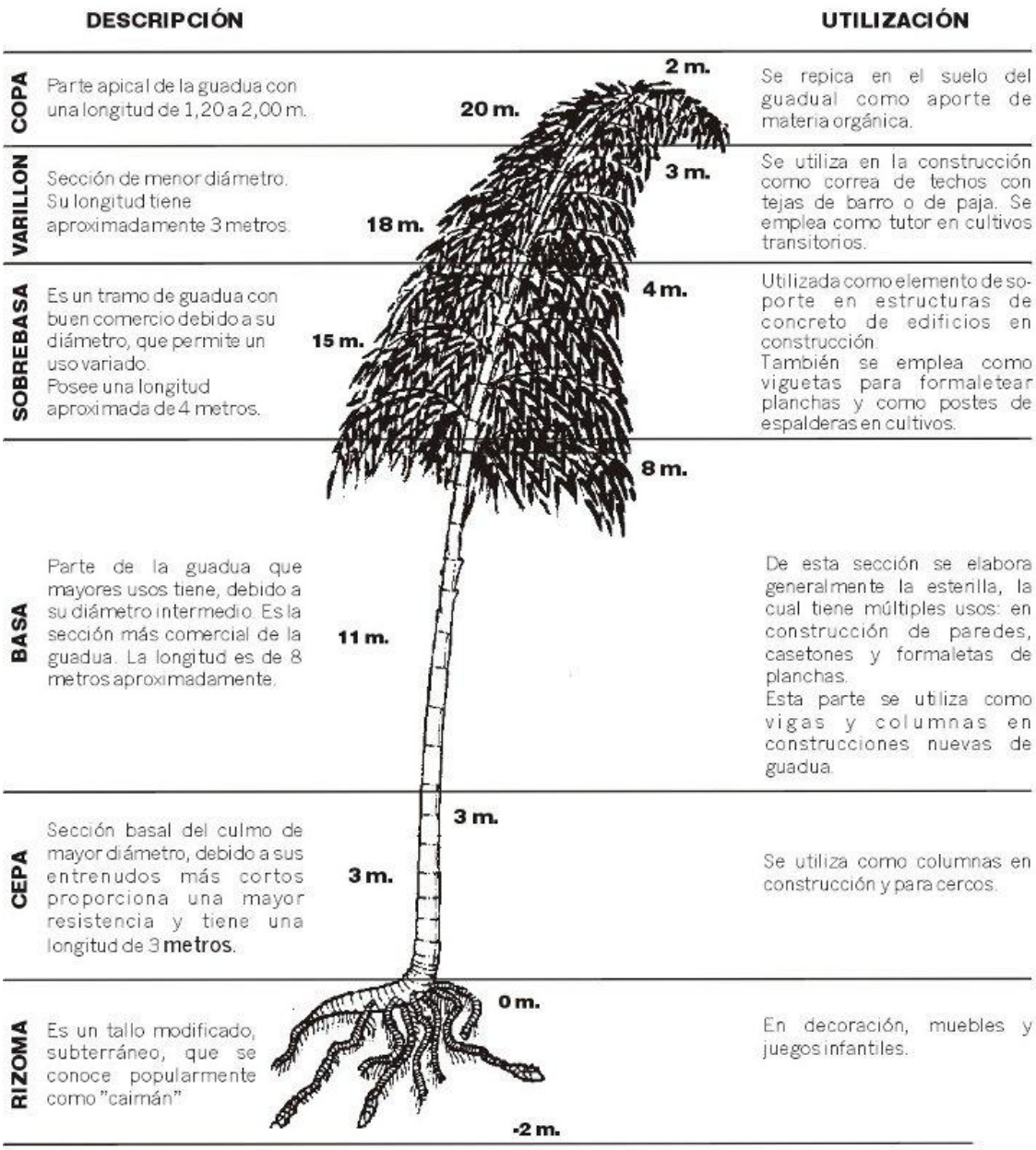
Lo interesante de esta comparativa es observar que con un módulo de elasticidad de 600 KN/cm^2 para la Guadua, unas treinta veces inferior al del acero, este material ofrece una fuerza máxima admisible de 25,6 KN, muy próxima a los 27,6 KN para el acero.

Asimismo el bambú ofrece una gran esbeltez gracias a su forma tubular y un óptimo rendimiento dado por esa sección, idónea para esfuerzos de compresión que evitan el

pandeo de los elementos, respecto a las secciones de los otros materiales, a la vez que es la que mejor coste económico-ecológico ofrece.

Finalmente la investigación más reciente en materia de caracterización de la Guadua, y que se utilizó como material base para del Capítulo G.12 del nuevo Reglamento de Diseño NSR-10, es la llevada a cabo por Luna *et al*. (2011). Para la determinación de los esfuerzos admisibles fueron realizados ensayos a compresión, tracción, corte, flexión y compresión perpendicular en probetas de la cepa, basa y sobrebasa (figura 8), provenientes de guaduas de tres zonas diferentes de Colombia.

Figura 8. Partes de la Guadua y usos potenciales (UTP) (Proyecto UTP-GTZ)



Es decir en la mencionada publicación se describe la metodología de diseño por el método de los esfuerzos admisibles; que está basada en la mecánica estructural, en la norma ISO 22156 Bamboo Structural Design, y en diferentes investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional. Describe el procedimiento desde la codificación y marcación de cada culmo de bambú Guadua de edades entre los 3 y 5 años, pasando por el proceso de medida y corte de ellos, la digitalización de datos y el ensayo de las probetas. Como resultado de esta investigación se recomendaron los esfuerzos admisibles de la Guadua para tres casos de cargas diferentes (tabla 4).

Tabla 4: Esfuerzos admisibles de la Guadua. Unidades en MPa (Tomada y adaptada de Luna et al., 2011)

	Flexión Fb	Tensión II Ft	Compresión II FC	Tensión ⊥ Fp	Corte II Fv
A	8.3	9.0	4.5	0.4	0.8
B	10.4	11.3	5.6	0.5	1.0
C	12.5	13.6	6.8	0.6	1.2

Nota: A = Carga muerta, B = Carga muerta + viva, C = Carga muerta + viva + viento o sismo), Fb = Esfuerzo admisible a flexión, Ft = Esfuerzo admisible a tensión paralela a la fibra, Fc = Esfuerzo admisible de compresión paralela a la fibra, Fp = Esfuerzo admisible a compresión perpendicular a la fibra, Fv = Corte paralelo a la fibra

En la tabla 5 se muestran los valores del módulo de elasticidad. El valor usado para el análisis de los elementos estructurales debe ser E0.5; en el caso de tener condiciones de servicio críticas o que requieran un nivel de seguridad superior, las deflexiones deben ser calculadas usando el E0.05. En todo caso, según Luna *et al*. (2011), la elección del módulo de elasticidad adecuado dependerá del criterio del ingeniero calculista, y deberá corresponder a alguno de los valores mostrados en la tabla 5.

Tabla 5: Módulo de elasticidad de la Guadua. Unidades en MPa (Tomada y adaptada de Luna et al., 2011)

Módulo promedio E0.5	Módulo percentil 5 E0.05	Módulo mínimo Emin
13900	7800	3000

3. Conclusiones

La consecución de los objetivos específicos planteados en este trabajo de investigación está dentro de los temas que, en estos últimos años, están suscitando más interés científico-técnico dentro de la comunidad internacional y en específico en el campo de los materiales y el diseño sostenible. Se pretende concebir un diseño-técnico completamente adaptado a los paradigmas del presente, para los que se exigen diseños cada vez más ligeros, con más eficiencia energética, y respetuosos con el medio ambiente.

Se confirma que este material natural es a la vez; resistente, duradero, flexible, ecológico, renovable y sostenible, apto para la construcción eficiente de invernaderos tipo “parral”. Ya que la Guadua ofrece una gran esbeltez gracias a su forma tubular y un óptimo rendimiento dado por esa sección, idónea para esfuerzos de compresión que evitan el pandeo, lo cual lo hacen un material muy acto para construcciones sismorresistentes.

El desarrollo del trabajo, con la aportación de una metodología y el desarrollado de un diseño estructural a partir de un material natural, supondrá un nuevo clúster en la industria de construcción de invernaderos de la zona mediterránea, y en particular en Almería, mediante la aplicación directa en el desarrollo de nuevas estructuras.

4. Referencias

Acuña, F., & Pantoja, N. (2005). Resistencia al corte paralelo a la fibra de la guadua angustifolia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Arboleda, M.C., Dávila, P., & García, J.A. (1997). Manual de diseño para construcción en guadua macana. Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías. Santiago de Cali.

Aricapa, F.L., Quijano, A., & Vergara, I.M. (1999). Manual para el diseño en guadua cebolla, basado en el aprovechamiento de las propiedades físico – mecánicas. Universidad del Valle, Facultad de Ingenierías. Santiago de Cali.

Carvajal, W., Ortegón, W., & Romero C. (1981). Elementos estructurales en bambú. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

EFSA (2009). EFSA-PPR project on "Data-collection of existing data on protected crop systems (greenhouses and crops grown under cover) in Southern European EU Member States". Ed. N. Sigrimis. Agricultural University of Athens

FAO (2002). El cultivo protegido en clima mediterráneo. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.

García, O., & Martínez, C., (1992). Memorias del Evento. En I Congreso Mundial de Bambu / Guadua. Pereira, Colombia.

Giraldo, E., & Sabogal, A. (1999). La Guadua una alternativa sostenible. Publicación de la corporación autónoma regional del Quindío, CRQ. Quindío.

Gohar, P., & Guyonnet, R. (1998). Development of Wood retification process at the industrial stage. In Intern. Res. Group on Wood Pres. Proceedings of the 4th International Symposium The Callenge Safety and Environment in Wood Preservation (pp. 173-183). 2-3 Feb. Cannes Mandelieu / France.

González, & C. (2006). Resistencia a la compresión paralela a la fibra y determinación del módulo de elasticidad. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

González, E., & Díaz, J.F. (1992). Propiedades físicas y mecánicas de la guadua angustifolia kunth. Universidad Nacional de Colombia.

González, L.O. (2005). Elementos para la caracterización mecánica de la Guadua. Angustifolia Kunth.

Hidalgo, O. (1978). Nuevas técnicas de construcción con bambú y concreto reforzado con cables de bambú. CIBAM. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

INBAR, (1999). Laboratory manual on testing methods for determination of physical and mechanical properties of bamboo. International Network on Bamboo and Rattan.

Jämsä, & Viitaniemi, P. (2000). Heat treatment of wood Better durability without chemicals. In Nordic Wood, Nordic Wood Seminar om varmebehandlet tre (pp. 59-63). Lorenskog.

JUNAC, (1984). Manual de diseño para maderas del grupo Andino. Lima, Perú.

Laude, R., & Obermann T.M. (2003). Bambú: recurso sostenible para estructuras espaciales. Universidad nacional de Colombia, sede Medellín.

Lindemann, J., & Steffens K. (2000). Test results of Forschungs und Materialprüfungsanstalt Stuttgart (FMPA). In Der Bambus Pavillion zur EXPO 2000 in Hannover. Germany.

López, L.F., & Trujillo, D. (2000). Diseño de uniones y elementos en estructuras de guadua. Universidad Nacional de Colombia.

Luna, P., Takeuchi, C., Granados, G., Lamus, F., & Lozano, J. (2011). Metodología de diseño de estructuras en guadua angustifolia como material estructural por el método de esfuerzos admisibles. Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Martín, B., Lelio, R, & Mateus, T. (1981). Determinación de la resistencia a la compresión paralela a la fibra de la Guada Castilla. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá.

Merino, F., Rodríguez, G., & Vallejo, J. (1972). Elementos de concreto reforzado con guadua. Bogotá. Trabajo de grado. Escuela de ingeniería de Antioquia, Medellín.

Montero, J.I. (2012). Desarrollo de estructuras para invernaderos. Cuadernos de Estudios Agroalimentarios. CEA. Vol. 3.

Moreno, L.E., Osorio, L.R., & Trujillo, E. (2006). Estudio de las propiedades mecánicas de haces de fibra de Guadua angustifolia. Ingeniería y desarrollo, nº 20.

Pérez, J. (1998). Invernadero Parral Almería y su evolución. Tecnología de Invernaderos II. FIAPA, Caja Rural de Almería.

Prada, J., & Zambrano, J. (2003). Estudio de elementos en guadua, solicitados a ompresión, con perforación para el relleno de mortero. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Proyecto UTP-GTZ, (2002). Guía para la construcción de puentes. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales.

Rapp, A. O., & Sailer, M. (2000). Heat treatment in Germany state of the art. In Nordic Wood, Nordic Wood Seminar om varmebehandlet tre (pp. 81-95). Lorenskog.

Trujillo, M., & Peláez, J. (1983). Construcción con guadua. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Medellín.

Uribe, M., & Durán, A. (2002). Estudio de elementos solicitados a compresión armados con dos o más guaduas. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Viitaniemi, & P. (1997). Thermowood Modified wood for improved performance. In Trätek Rapport No. 9709084. Proceedings of the 4th Eurowood Symposium Wood The ecological materia (pp. 67-69). 22-23. September, Stockholm / Sweden.

06-011

ANALYSIS OF THE SOCIO-DEMOGRAPHIC AND ECONOMIC DYNAMICS OF THE REGION OF GUADIX: A MUNICIPAL APPROACH.

Álvarez Lorente, Tamara; Entrena Durán, Francisco
Universidad de Granada

This work is the result of an investigation, where we have analyzed the evolution of the socio-demographic and economic dynamics of the region of Guadix (Granada), as well as studied the internal territorial imbalances between the municipalities. The methodology is quantitative, based on the analysis of secondary data obtained from various official sources as Institute of Statistics and Cartography of Andalusia (IEA), State public employment service (SEPE), National Institute of statistics (INE), etc. I have used variables relating to the physical environment, population, education, social infrastructure, economy, etc. The analysis methods used include the analysis factor and analysis cluster, commonly used techniques to analyze the territorial disparities. The studied region presents strong territorial imbalances between the different municipalities. Thus, demographic and economic characteristics that possess each municipality, must be seen in context, in adapting and implementing rural development policies. Over the past years despite the implementation of public policies aimed at improving the regional development, demographic losses are still significant, especially of the younger population, and this is reflecting the serious situation to the demographic and economic sustainability of this rural area in decline.

Keywords: *"rural development"; "emptying demographic"; "emigration"; "social and demographic sustainability"*

ANÁLISIS DE LAS DINÁMICAS SOCIO-DEMOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DE LA COMARCA DE GUADIX: UNA APROXIMACIÓN MUNICIPAL

Este trabajo es el resultado de una investigación, donde hemos analizado la evolución de las dinámicas socio-demográficas y económicas, de la Comarca de Guadix (Granada), así como estudiado los desequilibrios territoriales internos entre los municipios. La metodología utilizada, es de tipo cuantitativo, basada en el análisis de datos secundarios obtenidos de diversas fuentes oficiales como Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IEA), Servicio público de Empleo Estatal (SEPE), Instituto Nacional de Estadística (INE), etc. Se han utilizado variables referentes al entorno físico, la población, la educación, equipamientos sociales, economía, etc. Entre las técnicas de análisis empleadas destacar el análisis factorial y análisis cluster, técnicas frecuentemente utilizadas para analizar las disparidades territoriales. La comarca estudiada presenta fuertes desequilibrios territoriales entre los diferentes municipios. Así, las particularidades demográficas y económicas que poseen cada municipio, deben contemplarse, a la hora de adaptar y aplicar políticas de desarrollo rural. Durante los últimos años a pesar de la implementación de acciones encaminadas a mejorar el desarrollo comarcal, las pérdidas demográficas siguen siendo significativas, sobre todo de los efectivos poblacionales más jóvenes, y esto es reflejo de la grave situación para la sostenibilidad demográfica y económica de esta zona rural en declive.

Palabras clave: *"desarrollo rural"; "vaciamiento demográfico"; "emigración"; "sostenibilidad social y demográfica"*

Correspondencia: Tamara Álvarez Lorente tamara.a.lorente@gmail.com

I. Introducción

El objetivo fundamental de esta investigación, ha sido el estudio de la situación demográfica y económica de la Comarca de Guadix para entender su conceptualización, como comarca objeto del desarrollo rural. Entre las utilidades primordiales de este estudio destacan sobre todo el interés para la elaboración de políticas públicas de desarrollo local, enfocadas a la mejora del bienestar social de la población, y al fomento de un mayor dinamismo económico de las zonas más deprimidas.

La Comarca de Guadix, se encuentra dentro de uno de los territorios catalogados como zonas en declive con bajo nivel de dinamismo económico y bienestar social (Rodríguez Martínez & Zoido Naranjo, 2001). Además, su localización geográfica dentro de Andalucía, hace que forme parte de las áreas denominadas objetivo 1 de convergencia por parte de la Unión Europea. Áreas con un Producto Interior Bruto inferior al 75% de la media europea, donde se ejecutan políticas de desarrollo rural para fomentar el desarrollo, la cohesión social y el equilibrio con el resto de zonas territoriales.

Figura 1: Mapa contextual de la Comarca de Guadix

Fuente: Extraído de la Asociación para el desarrollo rural de la Comarca de Guadix (ADO).

Esta división territorial está compuesta por 32 municipios que cuenta con 46.458 habitantes, según cifras del Padrón municipal a 1 de enero del 2013. La Comarca tiene una densidad demográfica media de 35,34 hab/km^2, donde la mayoría de los municipios que la componen (68,75%) no llegan a los 1.000 habitantes lo que hace que se configure como un territorio claramente rural, atendiendo a los criterios establecidos por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. Por su baja densidad demográfica, junto con el aislamiento geográfico, bajos niveles de renta y alta significación de la actividad agraria, se encuentra dentro de un espacio que es particularmente necesario revitalizar, según el Consejo del Medio Rural para la aplicación del Primer Programa de Desarrollo Sostenible (2010-2014) en la ley 45/2007.

El estudio de la Comarca, como unidad territorial, a partir de una serie de indicadores sobre su realidad social, económica y demográfica, es un mecanismo muy empleado por diversas instituciones, a nivel comarcal como el Informe de Desarrollo Territorial de Andalucía (IDTA, 2010), autonómico como el Plan de Ordenación Territorial de Andalucía (POTA), nacional (INE) e internacional como son algunos informes de la OCDE (Chasco Yrigoyen et al. 2003).

Por lo tanto, creemos que es necesario este análisis pormenorizado de las unidades territoriales sobre todo al nivel municipal, ya que aunque estos se encuentren próximos ningún territorio es uniforme (Rodríguez Martínez & Zoido Naranjo, 2001).

II. Objetivos de la investigación

1. Objetivos

Objetivo General

Analizar la realidad sociodemográfica y económica de la Comarca de Guadix para identificar sus principales problemas, así como, realizar un análisis donde localizaremos las zonas con mayores problemas económicos y demográficos, identificando las posibles desigualdades existentes entre los municipios que la constituyen e investigar cuáles son los municipios claves en el dinamismo económico de la zona.

Objetivos específicos

1. Estudiar si las características de la Comarca de Guadix se corresponden con las características típicas de la evolución de la sociedad rural española.

2. Investigar las correlaciones de los diferentes indicadores económicos e índices demográficos analizados.

3. Comprobar y realizar, a partir del estudio de las interrelaciones observadas en el conjunto de las variables, la agrupación de las variables que expliquen la realidad socioeconómica de los municipios de la Comarca de Guadix.

4. Examinar y agrupar a los municipios que componen la Comarca atendiendo a las características que estos poseen.

III. Metodología

La población objeto de estudio, es la Comarca de Guadix compuesta por 32 municipios. Debido a que querremos analizar la estructura demográfica y la económica de estos municipios, y estudiar las posibles interrelaciones entre los indicadores creemos conveniente realizar esta investigación a través de datos cuantitativos, llevando a cabo un análisis de tipo descriptivo. Así, hemos trabajado con datos relativos al entorno físico, demográfico, económico y social de cada uno de los municipios, calculando algunos índices demográficos como el de juventud, vejez, infancia, etc. Los datos analizados han sido obtenidos de fuentes secundarias, como el Instituto Nacional de Estadística (INE), Servicio Público de Empleo Estatal (SEPE), y el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IEA) A continuación, hemos realizado un análisis estadístico con el Software informático Statistical Package for the Social Science (SPSS©) versión 20.0 (Hernández Sampieri et a. 2007).

Con el fin de analizar, si existe correlación entre los principales índices demográficos e indicadores económicos, hemos realizado un análisis bivariante mediante el estudio de las correlaciones y tablas de contingencia, calculando el coeficiente de correlación lineal de Pearson que oscila entre -1 y 1 si el valor del coeficiente es igual a cero esto significa que las dos variables no presentan una relación lineal.

Más tarde hemos realizado un análisis multivariante aplicando la técnica de Análisis Factorial, a todas las variables con el fin de identificar aquellos indicadores que están expresando un mismo aspecto latente (o no medido) de la realidad socioeconómica de los municipios de la comarca. A continuación, con los factores obtenidos hemos efectuado un Análisis Clúster para establecer una tipología de los municipios, agrupando aquellos

municipios más homogéneos. Ambas técnicas son complementarias y su combinación suele ser utilizada en el análisis de las disparidades entre los territorios (Hair et al., 2008: Pérez López, 2009).

IV. Resultados

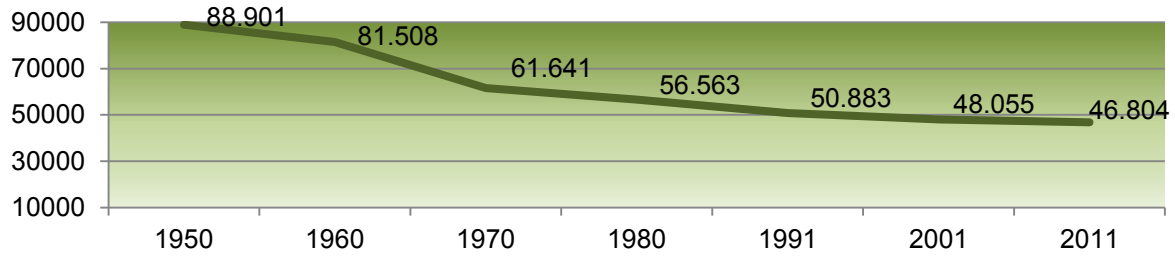
1. La Comarca de Guadix ¿una comarca rural?

Con el fin de corroborar si la Comarca de Guadix, se caracteriza por ser una comarca Rural, hemos analizado si cumple las grandes distorsiones demográficas de las zonas rurales, como vaciamiento demográfico, el estrangulamiento de la pirámide de edades, la profunda masculinización, y la descompensación del crecimiento vegetativo (García Sanz, 2002). A continuación, mostramos el análisis de cada uno de los procesos demográficos protagonizados por la Comarca de Guadix.

1.1 Evolución de la población: un vaciamiento demográfico

Al analizar la evolución de la población de la Comarca de Guadix, como se muestra en la figura 2, observamos que se han producido pérdidas de población considerable desde 1950 hasta 2011, suponiendo un 42,58% menos de habitantes en estos últimos años, esta cuestión tiene gran relevancia, debido a las repercusiones que conlleva, no sólo económicas, sino también sociales y claramente demográficas, como es el vaciamiento demográfico de la comarca. La evolución de la población comarcal, se encuentra dentro del modelo mediterráneo, de comportamiento demográfico, ya que sus pérdidas de población son importantes pero inferiores a 50%, y superiores a 25% (García Sanz, 2003).

Figura 2: Gráfico de la evolución de la población de la Comarca de Guadix según el Censo 1900-2011



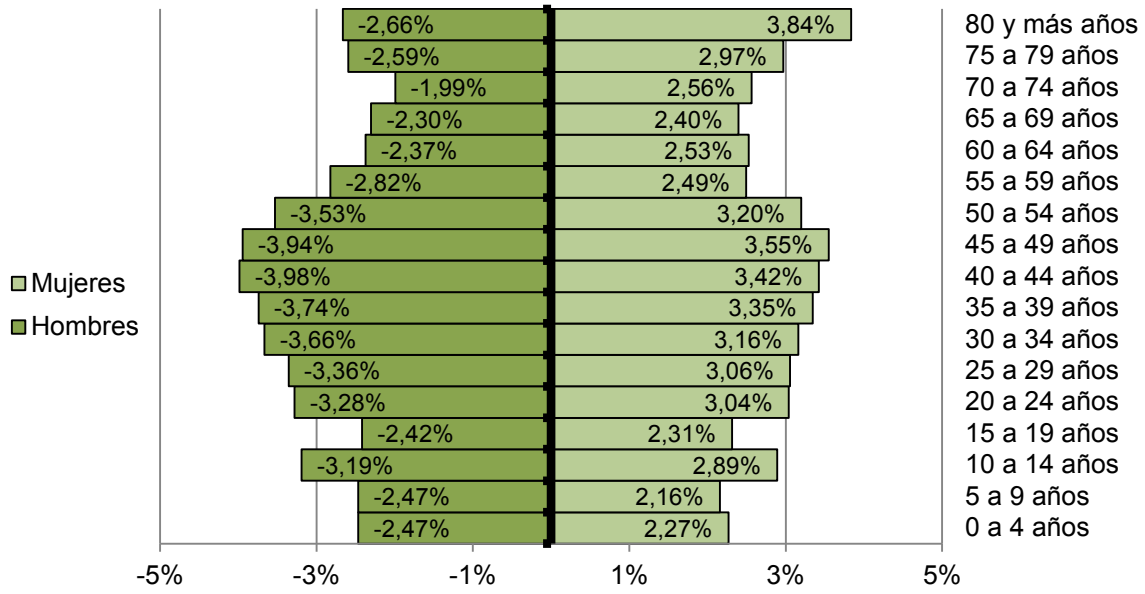
Fuente: Elaboración propia a partir del Instituto Nacional de Estadística (INE).

La pérdida de la población, en gran parte viene explicada, por los movimientos emigratorios, movimientos protagonizados en la mayoría de las ocasiones por la población en edad de trabajar, tal y como, por ejemplo, ocurrió en 2012 cuando el 71,03% de las personas que emigraron tenían edades comprendidas entre 16 y 64 años. Así, el problema del despoblamiento queda de manifiesto al analizar el coeficiente de crecimiento, en el periodo 2000-2013, donde hemos comprobado que mayoría de los municipios (87,5%) tienen pérdidas de población considerables. Destacar que sólo cuatro de ellos, Marchal, Benalúa de Guadix, Dólar, y Purrullena, aumenta levemente su población (entre 1 y 5,43 puntos porcentuales) y los municipios con mayor pérdida de población son Dehesas de Guadix, Gor y Alicún de Ortega. Esta situación supone un grave peligro de despoblamiento de estos municipios rurales, por lo que la acción para el desarrollo rural en este territorio, es clave.

1.2. Distorsión de la pirámide de edades y masculinización de la población

La estructura de edades de la Comarca presenta una forma regresiva, ya que, los tramos de la base son de menor tamaño que los superiores, debido a que cada vez son menos numerosas, las nuevas generaciones, como consecuencia de una menor tasa bruta de natalidad, y más elevada la población de 65 y más años. Ello provoca una distorsión en la pirámide poblacional y todo apunta a que el problema irá en aumento como consecuencia de la existencia, cada vez menor, de mujeres edad fértil (de 15 a 49 años), grupo de población que ha disminuido notablemente en 1.352 efectivos entre 2000-2013, a la vez que el indicador coyuntural de fecundidad[1] para la Comarca está en 1,3 hijos por mujer; es decir, está claramente por debajo del 2,1 necesario para el reemplazo generacional.

Figura 3: Pirámide de la población Comarca de Guadix 2013



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Padrón Continuo de la población 2013 del Instituto de Estadística y Cartográfica de Andalucía (IEA)

El grupo de edad más importante, lo constituye la población adulta entre 40 y 55 años, grupo denominado generación "soporte" debido a su importancia a nivel numérico y como grupo importante para la dinamización socioeconómica de las áreas rurales, unido a su rol como cuidador de las personas potencialmente inactivas, como son los mayores y niños. Si esta generación no tuviese el peso que tiene en la pirámide poblacional, nos encontraríamos ante una pirámide invertida (Camarero Rioja et al., 2009)

Como consecuencia del progresivo envejecimiento de la estructura demográfica de la Comarca, en la que el 21,32% de las personas tiene 65 o más años, se ha producido un aumento del 1,94‰ en la tasa bruta de mortalidad, y es de esperar que esta tendencia continúe acentuándose, tal y como se corresponde con un índice de envejecimiento[2] en aumento, el cual era en 2000 de 101 y en 2013 es de 151 personas. En este contexto la población joven (es decir, entre 15 y 29 años) representaba escasamente un 18% de la población total en 2013. Todo ello, unido a las altas tasas de desempleo, dibuja un panorama nada favorable para la sostenibilidad socioeconómica y demográfica de la Comarca de Guadix.

[1] Indicador Coyuntural de Fecundidad: número promedio de hijos que una mujer hubiera tenido al final de su vida fértil (15 a 49 años), si la misma se hubiera ajustado a una tasa de fecundidad especifica de un periodo (Vinuesa Angulo, 1997).
[2] El índice de envejecimiento hace referencia al a relación entre la población mayor de 65 años y los menores de 16 años), en nuestra investigación lo hemos calculado sobre la población menor de 14 años, ya que nivel municipal los datos de la población no aparecen desglosados por edades simples sino por grupos de edades quinquenales.

Con estos indicadores la Comarca se encuentra al nivel de las comunidades autónomas más envejecidas como Castilla y León, Galicia y Asturias. Además estas cifras la sitúan, en un modelo de envejecimiento alto, caracterizado por formar parte de la España rural más agrícola y/o ganadera que apenas ha contado con recursos para hacer frente a la emigración, a su vez caracterizado por tasas de natalidad relativamente bajas. Además, los municipios más envejecidos suelen ser los que tienen menor densidad población, como es evidente el fenómeno de despoblamiento se hace más palpable en los municipios con mayor porcentaje de mayores respecto al total de la población.

El comportamiento del coeficiente de dependencia económica[3] contribuye a acentuar el pesimismo ante esta situación. Dicho coeficiente, que determina la relación porcentual entre la población económicamente activa y la inactiva, mide el grado de dependencia o carga promedio que tiene que soportar cada persona activa para la producción de bienes, a su vez se relaciona con el grado de desarrollo socioeconómico de una determina zona. En general, el valor de este coeficiente se prevé que aumente; sobre todo, debido a que las generaciones que entren en el periodo de edad laboral serán cada vez menos numerosas mientras que las que salgan de esta etapa, aumentarán en tamaño. En concreto, en la Comarca ese coeficiente era de 269 personas dependientes económicamente por cada 100 personas ocupadas en 2001[4] (INEC, 2007) y todo parece indicar que haya aumentado significativamente desde entonces hasta la actualidad.

La estructura poblacional se encuentra masculinizada, lo que ocurre es, que a pesar de que la proporción de población mayor de 65 años sea importante y el hecho de que, en este tramo poblacional, exista una mayor presencia de mujeres que de hombres debido a la mortalidad diferencial entre ambos géneros (más tardía entre las mujeres por lo general), se observa un marcado proceso de masculinización demográfica, de tal modo que en el año 2013 había 103 hombres por cada 100 mujeres. Tenemos aquí la manifestación de ese comportamiento demográfico, que ha estado y está bastante extendido en muchas áreas rurales, el cual ya fuera puesto de manifiesto por la teoría del continuo rural-urbano elaborada por los sociólogos Sorokin y Zimmerman (1929), quienes mantenían la tesis de que las estructuras poblacionales de los medios rurales se masculinizan debido a la migración selectiva de mujeres. Específicamente, en la Comarca, según la Estadística de Variaciones Residenciales que registra las altas y bajas patronales en cada municipio, en 2012 de los 1.878 movimientos que se producen fuera de la Comarca 948 se corresponden con movimientos de mujeres, siendo el 49,47% de estas emigraciones plena edad activa de 16-39 años. (Camarero Rioja et al., 2009).

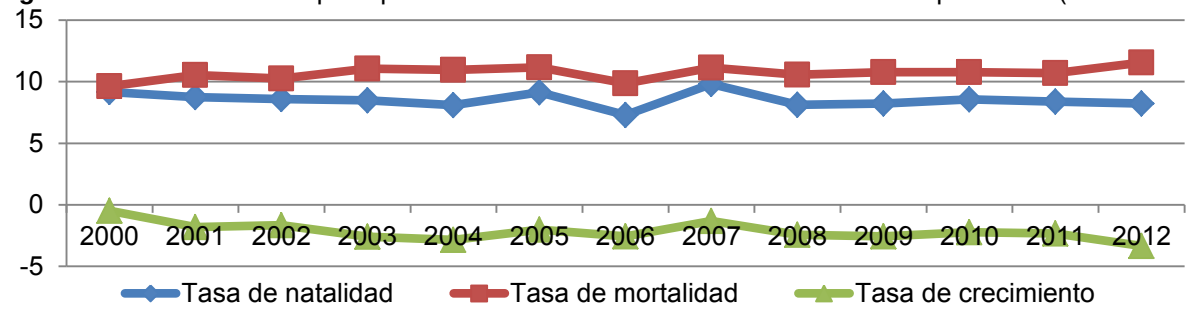
Por otro lado, la antedicha tendencia refleja desigualdades producidas en el mercado laboral, en cuanto a la ocupación se refiere, ya que los municipios más masculinizados suelen ser los que tienen mayor porcentaje de población empleada en la agricultura tienen. Esto tiene que ver con la circunstancia de que muchos de los trabajos relacionados tradicionalmente con la agricultura han estado vinculados a roles masculinos, lo que está en línea con la tesis sostenida por la economista danesa Ester Boserup (1970) (en Camarero Rioja et al., 2009). En el caso estudiado aquí, los municipios con mayores proporciones de población masculina y mayor porcentaje dedicado a la agricultura son Villanueva de las Torres, Cogollos de Guadix, Aldeire y Fonelas. Esto nos muestra como determinadas relaciones sociales dan explicación a procesos demográficos.

[3] Coeficiente de dependencia económica = ((Población municipal con menos de 16 años + población parada +población inactiva)/población ocupada)*100). Se trata de una relación de dependencia potencial ya que no todas las personas menores de 15 años o mayores de 65 años están fuera del mercado laboral, ni todas las de 15-64 son activa, es una variación de la tasa de dependencia que utiliza el Instituto Nacional de Estadística, que se suele utilizar en países latinoamericanos (INEC, 2007).
[4] Fecha última en la que se conocen datos referidos a la población ocupada e inactiva a nivel municipal

1.4. Descompensación del crecimiento vegetativo

En la figura 4, aparece la evolución de las tasas de natalidad, mortalidad[5] y el crecimiento vegetativo (diferencia entre defunciones y nacimientos) en el periodo entre 2000-2012, en consecuencia de un mayor número de defunciones que de nacimientos el crecimiento vegetativo es negativo durante todo el periodo. Y es que algo característico del mundo rural a diferencia del urbano, es que mientras en el segundo, tasas de mortalidad y natalidad han llegado a un equilibrio, en el mundo rural las tasas de natalidad se caracterizan a menudo por ser inferiores a las de la mortalidad, causando consecuentemente un crecimiento vegetativo negativo (García Sanz & España, 1997).

Figura 4: Evolución de los principales indicadores del movimiento natural de la población (2000-2012)



Fuente: Elaboración propia a partir del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IEA). Movimiento Natural de la Población.

La evolución de la tasa de natalidad de la Comarca de Guadix ha sufrido altibajos a lo largo de estos 13 años, en general la tasa bruta de natalidad ha disminuido un 0,92‰ aunque no ha sido un gran declive si tenemos que señalar, que este puede aumentar ya que el número de mujeres en edad fértil ha disminuido, como hemos comentando. Principalmente, el crecimiento vegetativo negativo de la comarca se explica debido al aumento de la tasa de mortalidad en un 1,93‰, como consecuencia del aumento del número de personas de 65 o más años.

1.5. El nivel de instrucción de la población, ocupación y desempleo

En general la población rural, se caracteriza por niveles de escolarización bajos, ocasionados, en muchas ocasiones, por la distancia de los hogares a los centros educativos[6], las presiones para incorporarse a la empresa familiar y la falta de recursos económicos, hacen que se produzca una salida anticipada del sistema escolar. Se explica así, que se observen en la Comarca preocupantes persistencias de esa lacra social que constituye el analfabetismo, de tal forma que un 31,19% de la población de la zona de 16 y más años de edad no tiene estudios o son analfabetos, mientras que la proporción de personas, de este tramo de edad, que tienen estudios superiores (diplomatura o licenciatura) no supera el 10%. Y es que parece ser, que en el medio rural no se percibe de manera clara la funcionalidad de cursar estudios superiores, contemplándose como un medio para abandonar el pueblo. Por eso las personas que no tienen intención de hacerlo, lo más probable es que no realicen estudios superiores. Asimismo, no podemos olvidar que los

[5] Tasa bruta de mortalidad: número de defunciones por cada mil habitantes. En este caso al ser la tasa bruta de mortalidad de la totalidad de la Comarca de Guadix, si la hemos expresado en tanto por mil, que es como se calcula, pero debemos advertir que en la tasa brutas de mortalidad específicas para cada municipio la hemos calculado en tantos por cien.

[6] Sólo siete municipios de la Comarca (Alquife, Calahorra (La), Dehesas de Guadix, Guadix, Huéneja, Purrullena y Valle del Zalabí) cuenta con Centros de Educación Secundaria Obligatoria, y con centros de bachillerato o ciclos de formación profesional sólo Guadix.

datos se encuentran influidos por la mayor presencia de mayores, de los cuales alrededor del 70% son analfabetos o sin estudios (Camarero Rioja et al., 2009; García Sanz, 2003).

En la Comarca, se ha producido un proceso de desagrarización y subsiguiente terciarización de la población activa, que observamos en el porcentaje de la población dedicada al sector servicios, suponiendo más de la mitad de la población total ocupada, el 58%. A pesar de esto, los niveles de renta de los susodichos municipios están íntimamente vinculados con el número de personas ocupadas en la agricultura, ya que aquellos municipios que tienen mayores niveles de rentas son aquellos que también tienen un mayor número de personas dedicadas a la agricultura. Destacar el papel de Villanueva de las Torres, que está caracterizado por ser agrario, ya que el porcentaje de población ocupada que lo hace en la agricultura destaca por encima del resto de sectores suponiendo el 46,15% del total de ocupación. El peso del sector industrial es poco importante a nivel comarcal, aunque sí se configura como segundo sector ocupacional más importante en los municipios de Benalúa y Purullena, caracterizados, a su vez, por su importante dinamización económica y demográfica en la Comarca. Sin embargo, el peso del sector de la construcción en la población ocupada si ha sido importante, sobre todo antes de la crisis económica.

Al estudiar el mercado de trabajo, observamos que el desempleo registrado en la zona de estudio, según datos del Servicio Público de Empleo Estatal y del Servicio Andaluz de Empleo para la media anual del 2013, alcanza 4.962 personas desempleadas. En la Comarca el desempleo ha afectado sobre todo al colectivo de edad entre 30-44 años, dentro de la población en edad laboral, representando el 38,35% del paro registrado, y el desempleo juvenil supone el 25,57% del total, esto provoca que muchos de los jóvenes terminen emigrando y abandonado sus municipios de origen, ante la falta de oportunidades laborales, provocando pérdidas de efectivos poblacionales.

Los bajos niveles de instrucción, junto con una alta tasa de desempleo (16,54% en 2013) y las ocupaciones preferentemente de poca cualificación, revelan la fragilidad del mercado laboral de la Comarca. En ésta, además, en consonancia con las disparidades demográficas de los municipios que la integran, el desarrollo económico se manifiesta de manera desequilibrada en el territorio, observándose fuerzas centrípetas, según las que todo parece girar fundamentalmente en torno al centro neurálgico de Guadix y sus alrededores, en contraste con aquellos otros territorios más distanciados y/o aislados del centro, como Dehesas de Guadix y Alicún de Ortega, caracterizados por el ocaso económico y demográfico con graves repercusiones para la sostenibilidad social y ambiental del medio (Herrero Prieto et al. 2006).

3. La interrelación demográfica-económica en la Comarca

Antes de realizar el análisis de correlaciones, hemos realizado un análisis descriptivo previo, donde hemos examinado el coeficiente de variación de las variables[7], en general todas las variables presentan coeficientes de variación muy heterogéneos, y esto significa que existe más distancia entre los municipios, en cuanto a valor medio de las variables se refiere. Las variables, que presentan mayores dispersiones respecto al valor medio municipal, son las referentes a los equipamientos educativos (565,68%) y sanitarios (315,87%), indicadores económicos como la Renta Total (298,98%), etc. Respecto a los coeficientes de variación menos heterogéneos destacan los referidos a la estructura de la población como son el índice de infancia (34,22%), vejez (19,51%), juventud (17,03%), e

[7] Este coeficiente mide la dispersión existente entre los datos en términos de porcentaje, señala la distancia existente entre la desviación estándar (típica) respecto al promedio (media) del conjunto de datos(Hair et al., 2008).

índice de dependencia (15,91%), y es que parece, que los municipios mantienen tendencias parecidas pero existen diferencias entre los extremos.

Como apreciamos en la tabla 1, en la zona estudiada vemos una relación entre el nivel de renta procedente de las actividades empresariales por habitante y el nivel de instrucción de la población. Ya que, el nivel de renta de las actividades empresariales parece estar íntimamente vinculado con la tasa de analfabetismo, existiendo mayores rentas originarias de actividades empresariales en aquellos municipios con mayor proporción de personas analfabetas. Esto se puede explicar principalmente, debido a que la rentas de las actividades empresariales son las procedentes de empresas dedicadas a la construcción, transporte de mercancías o relacionadas con trabajos manuales, en los que se necesitan menos formación académica para desempeñarlos y, con mayor frecuencia, son las ocupaciones peor remuneradas desempeñadas por las personas con bajos o ningún nivel de estudios.

Tabla 1: Tabla de contingencia tasa de analfabetismo en función de la Renta de actividades empresariales por habitante

Tasa de analfabetismo		Renta actividades empresariales por habitante (RAE)				Total
		Hasta 147€	Entre 148-231€	Entre 232-305€	Más de 306€	
Menos del 4%	% dentro RAE	50.0%	14.3%	22.2%	12.5%	25.0%
Entre el 4-6%	% dentro RAE	25.0%	57.1%	33.3%	25.0%	34.4%
Más del 6%	% dentro RAE	25.0%	28.6%	44.4%	62.5%	40.6%
Total	%dentro RAE	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia a partir de la matriz de datos sociodemográficos y económicos de la Comarca de Guadix (Chi-cuadrado 0,035).

En general, hemos comprobado como los indicadores relativos a la realidad demográfica y socioeconómica de la Comarca manifiestan tendencias paralelas y están estrechamente correlacionados entre sí. Así, se hace visible, que en esta zona rural en declive, cuatro aspectos se retroalimentan e influyen mutuamente. De esta forma, el bajo dinamismo socioeconómico se corresponde con las acentuadas tendencias al despoblamiento, el aislamiento de determinados municipios, su escasos niveles de educación y la escasa cualificación de la demanda laboral de los mercados de trabajo (Camarero et al. 2009).

Sostenemos aquí la conveniencia y necesidad de contemplar de manera conjunta e interrelacionada los cuatro aspectos antedichos; sobre todo, debido a que es problemático tratar de dilucidar si, por ejemplo, la explicación de los desequilibrios territoriales producidos en la Comarca responde en mayor medida a causas demográficas o socioeconómicas. Ante esta situación consideramos que esa visión conjunta e interrelacionada de tales aspectos, junto con la toma en consideración de la situación de crisis y declive rural que todo ello manifiesta, se correspondería con lo que Bernand Vachon (2001) denomina el círculo de la desvitalización local, a través del cual se explica como un determinado desequilibro demográfico conlleva un paralelo desequilibrio socioeconómico, cultural, laboral, etc., y a la inversa.

4. Agrupación de las distintas dimensiones analizadas

Para estudiar la realidad sociodemográfica y económica municipal, de la Comarca de Guadix, nos hemos basado en el comportamiento conjunto de 57 variables, más concretamente para realizar el Análisis Factorial de componentes principales (ACP), nos

hemos quedado con 29 variables de las contempladas para realizar el análisis debido a su representatividad estadística. Los factores obtenidos, son parecidos a los obtenidos para el nivel andaluz en el estudio *"Análisis estadístico de la realidad socioeconómica en Andalucía. Una aproximación a escala municipal"* aunque debemos advertir que muchas de las variables utilizadas en este estudio, no las hemos utilizado debido a que en nuestra zona concreta de estudio algunas de las variables no mostraban correlaciones estadísticamente significativas (Cruces et al., 2010; Hair et al., 2008; Pérez López, 2009).

- ***Factor 1.-*** Dimensión municipal. Este factor hace referencia a la población total del municipio, a la realidad socioeconómica, y a los equipamientos del mismo. Los valores altos o bajos del factor se corresponde con municipios con mayor o menor población, con mayores parados o contratos registrados como indefinidos, con mayores niveles de renta, mayores licencias de actividades económicas y mayores dotaciones educativas.
- ***Factor 2.-*** Dinamismo económico-demográfico. Las variables con las que están relacionado este factor, son con la densidad de la población, renta de actividades económicas y licencias actividades económicas por habitante, manteniendo correlaciones positivas entre las tres variables es decir, aquellos municipios con mayor densidad de la población tiene mayores licencias de actividades económicas y consecuentemente mayores rentas de actividades económicas por habitante.
- ***Factor 3.-*** Estructura de edades y núcleos familiares. Mayor puntuación en este factor son los municipios más envejecidos y con mayor porcentaje de población extranjera, existiendo un mayor número de viviendas familiares principales por cada 100 habitantes, y a su vez el porcentaje de la población menor de 20 años, será menor.
- ***Factor 4.-*** Incremento de la población en relación a los centros de salud y trabajadores eventuales subsidiarios. Los valores altos en este factor están asociados a municipios que han experimentado mayores incrementos relativos de la población (1999-2013), con menos centros de salud y consultorios por cada 100 habitantes y menos trabajadores agrarios subsidiarios.
- ***Factor 5.-*** Matrimonio-Natalidad. Los municipios con mayor puntuación en este factor son aquellos en los que se formalizan más matrimonios y se producen más nacimientos por cada 100 habitantes.
- ***Factor 6.-*** Oferta Turística relativa. Mayores puntuaciones en este factor los municipios tendrán más hostales y pensiones por cada 100 habitantes y consecuentemente más plazas en estos.

Debemos destacar que en general, los municipios de la Comarca muestran puntuaciones muy bajas e incluso negativas en casi todos los factores, y es que hay que recordar que se tratan de municipios con altas pérdidas de población y donde se están ejecutando programas de desarrollo rural para reavivar el dinamismo económico de la zona. Asimismo, estos pueblos no destacan por poseer altos niveles de equipamientos, ya que la mayoría de los habitantes de los pueblos que conforman la Comarca, acuden en la mayoría de las ocasiones al municipio cabecera Guadix, para realizar la mayoría de las actividades económicas-administrativas.

5. La agrupación del territorio

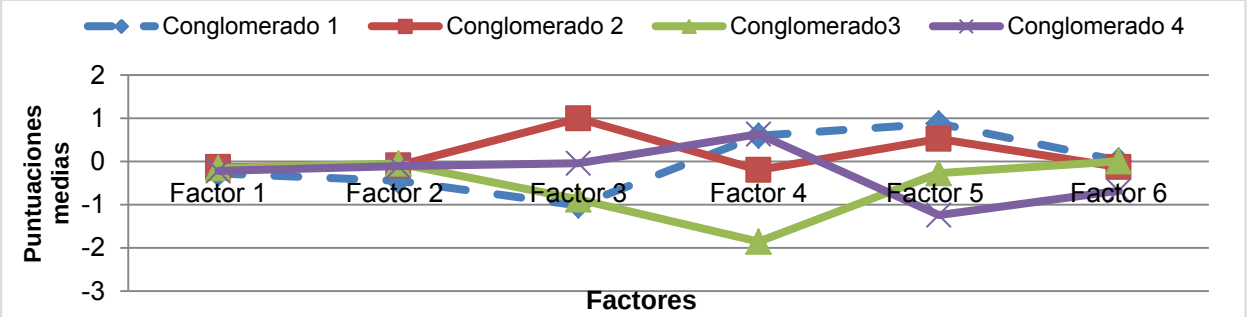
A continuación mostramos los resultados del análisis clúster. Se trata, de formar agrupaciones de los municipios, donde los grupos internamente se caracterizan por aspectos parecidos, y difieran de manera intergrupal (Pérez López, 2009). Los conglomerados extraídos en el análisis clúster, son los siguientes:

- El primer conglomerado está formado por seis municipios Darro, Diezma, Fonelas, Marchal, Peza (La) y Purrullena, estos municipios destacan por sus puntuaciones negativas en el factor que representa la estructura de edades y núcleos familiares. Las

puntuaciones son negativas, debido a que, el porcentaje de la población menor de 20 años, añade un valor negativo. Además, otro factor importante en la formación de este conglomerado es el factor referido al matrimonio-maternidad, y es que estos municipios se caracterizan por ser los más jóvenes y presentar las tasas de natalidad más altas de la Comarca.

- El segundo conglomerado, confluyen 11 municipios que son Aldeire, Dólar, Gor, Gorafe, Huéneja, Jerez del Marquesado, Lanteira, Lugros, Morelábor, Pedro Martínez y Valle del Zalabí. En este caso este conglomerado al igual que en anterior destaca por tener un mayor peso en el tercer factor, pero en la dirección puesta al anterior conglomerado, siendo su puntuación positiva. Estos municipios, son los más envejecidos ya que tienen mayor porcentaje de personas mayores de 65 años.
- El tercer conglomerado, se trata de un conglomerado que está fuertemente asociado al peso negativo del cuarto factor, que representa el incremento de la población en relación a los centros de salud y trabajadores eventuales agrarios subsidiarios. Este conglomerado está constituido por cuatro municipios que son Alicún de Ortega, Dehesas de Guadix, Huélago y Villanueva de las Torres. En el caso de la agrupación de estos municipios, sus puntuaciones negativas se atribuyen, al peso negativo de la variable trabajadores eventuales subsidiarios, ya que son, los municipios con más trabajadores dentro de este régimen.
- El cuarto conglomerado, viene representado por un total de siete municipios, que son Albuñán, Alquife, Beas de Guadix, Cogollos de Guadix, Ferreira, Gobernador y Polícar. Destacar el peso negativo del factor matrimonio-natalidad (-1,27) en este conglomerado, debido a que en estos municipios se caracterizan por tener pocos nacimientos y efectuarse pocos matrimonios.

Figura 5: Gráfico de las puntuaciones de cada factor en los conglomerados (1, 2, 3 y 4)



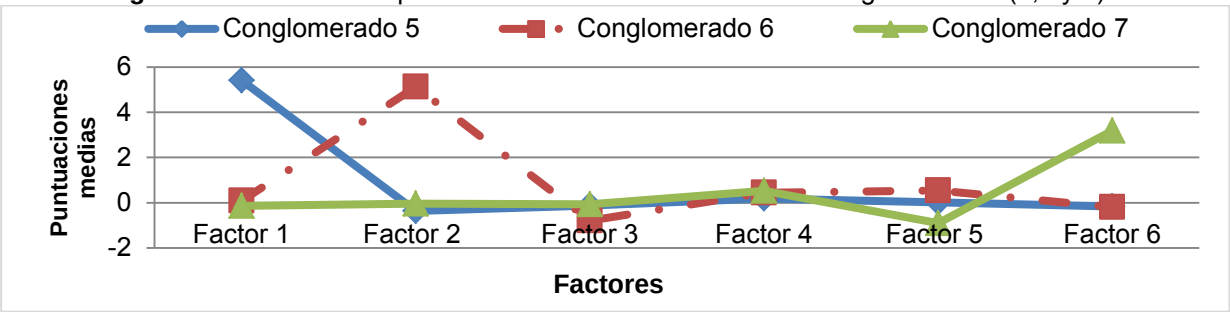
Fuente: Elaboración propia a partir de la matriz de datos sociodemográficos y económicos de la Comarca de Guadix

- El quinto conglomerado lo representa un solo municipio, Guadix que al ser el municipio cabecera de la comarca tiene mayores puntuaciones en el factor dimensión municipal (valor medio más alto 5,41), siendo el municipio más desarrollado en cuanto a equipamiento se refiere. Y es que Guadix se ha configurado como centro geográfico, administrativo y político de la comarca que históricamente ha gozado de un comercio dinámico y rentable. Pero en la actualidad, y a pesar de que cuente con mucha facilidad de comunicación con Granada, el comercio accitano en su conjunto ha dejado de ser próspero, de ahí su baja puntuación en el segundo factor incluso por debajo de otros municipios que cuentan con menos población (Haro Serrano, 1998).
- El sexto conglomerado está constituido, por Benalúa, obtiene una mayor puntuación en el segundo factor, referido al dinamismo económico-demográfico (5,13), presentando una puntuación en este factor, que sobre sale por encima del total de municipios de la Comarca de Guadix. Destacando por tener la densidad poblacional más alta de la Comarca, caracterizándose por tener la segunda posición, en cuanto a las rentas de

actividades empresariales por habitante se refiere después de Guadix, y que el primero en licencias de actividades empresariales por habitante. La importancia poblacional (segundo municipio de la comarca con más población) y económica de este municipio, para la totalidad de la Comarca, hace que este se configure como pieza fundamental para la dinamización económica y social de la zona.

- Por último, el séptimo conglomerado lo conforman los municipios de Calahorra (La) y Cortes y Graena, destacando por su oferta turística relativa importante, caracterizándose por un turismo básicamente rural y de categorías hoteleras inferiores como hostales y pensiones. El municipio de Cortes y Graena se sitúa entre los municipios andaluces con mayor puntuación en la oferta turística (Cruces et al., 2010).

Figura 6: Gráfico de las puntuaciones de cada factor en los conglomerados (5,6 y 7)



Fuente: Elaboración propia a partir de la matriz de datos sociodemográficos y económicos de la Comarca de Guadix

V. Conclusiones

La investigación realizada sobre la Comarca de Guadix, nos alerta de la grave situación de crisis demográfica que está padeciendo la generalidad de ese territorio y algunos de sus municipios en particular, como Dehesas de Guadix y Gor. Esta situación pone de manifiesto la dificultad a corto y medio plazo para que se produzca un desarrollo socioeconómico sostenible de este entorno.

La despoblación de la Comarca, su envejecimiento progresivo, la emigración selectiva de las mujeres y de los jóvenes, etc. hacen que sea especialmente necesario intervenir en ella, más intensamente de lo que se ha venido haciendo hasta ahora, con políticas sociales, económicas y demográficas. Así, es preciso cuestionarse las políticas de desarrollo rural implementadas hasta la fecha; sobre todo, debido a que el declive de la zona en el plano demográfico no se ha frenado pese al papel importante de las medidas ejecutadas por la Asociación para el Desarrollo rural de la Comarca de Guadix.

La situación de reducción progresiva de las cohortes más jóvenes y aumento consecuente de la población de mayor edad tiene graves repercusiones sociales, demográficas y económicas. Entre ellas destacamos el progresivo descenso de la población activa frente a la población jubilada, en los próximos años el colectivo de población jubilada aumentará debido a la entrada en esta etapa de generaciones más numerosas, que son ahora la generación “soporte” de la Comarca de Guadix, del mismo modo se sumaran generaciones más reducidas al mercado laboral.

Para conseguir un mayor éxito de las acciones de desarrollo rural sería preciso que los actores locales adquirieran un mayor grado de implicación y decisión en ellas; en especial, hay que fortalecer el papel de los agentes de desarrollo rural de la Comarca y de las asociaciones de ésta implicadas de una u otra forma en dicho desarrollo. Un objetivo clave debe ser el fomento de vías de desarrollo más participativo, integrado, subsidiario y endógeno, con el fin de propiciar un progreso propio protagonizado por los actores locales y

que tenga en cuenta los recursos socio-culturales y medioambientes de los que dispone la zona (Entrena-Durán, 2013; Giner et al. 2006).

VI. Referencias

- Camarero Rioja, L. A., Cruz, F., González, M., Del Pino, A., Oliva, J., & Sampedro, R. (2009). La población rural de España: De los desequilibrios a la sostenibilidad social (1st ed.) Barcelona: Fundación La Caixa.
- Chasco Yrigoyen, C., Cano Torres, T., & Hernández Asensio, I. (2003). Medición del bienestar social provincial a través de indicadores objetivos. Anales de economía aplicada (1st ed.,) Asociación Española de Economía Aplicada, ASEPELT.
- Cruces, E., de Haro, J., & Sarrión, M. D. (2010). Análisis estadístico de la realidad socioeconómica en Andalucía. Una aproximación a escala municipal. Investigaciones Regionales, (18), 107-140.
- Entrena Durán, F. Imaginarios idealizados de lo rural construidos por los urbanos. Texto de la ponencia presentada en el XI Congreso de la Federación Española de Sociología: 10-12 Julio 2013, Madrid.
- España. Ley Orgánica 45/2007, de 13 diciembre, para el Desarrollo Sostenible del Medio rural (LDSMR). Boletín Oficial del Estado, 14 de diciembre del 2007, núm. 299, pp. 51339-51349.
- García Sanz, B., & España. (1997). La sociedad rural ante el siglo XXI. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- García Sanz, B. (2002). Apuntes para un libro blanco para el desarrollo rural.
- García Sanz, B. (2003). Sociedad rural y desarrollo. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Giner, S., Torres, C., & Lamo de Espinosa, E. (2006). Diccionario de sociología (2º ed.). Madrid: Alianza Editorial.
- Hair, J. F., Gómez Suárez, M., Cano, D., & Frances Prentice, E. (2008). Análisis multivariante (5ª, reimp ed.). Madrid: Prentice Hall Iberia
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2007). Fundamentos de metodología de la investigación. Madrid: McGraw-Hill.
- Herrero Prieto, L. C., Figueroa Arcila, V. F., & Sanz Lara, J. A. (2006). Las disparidades territoriales en Castilla y León: Estudio de la convergencia económica a nivel municipal. Revista De Investigación Económica Y Social De Castilla Y León, (9), 15-170.
- Haro Serrano, M. d. (1998). Guadix 2020: Nuevas aportaciones al desarrollo económico de la Comarca. Boletín Del Instituto De Estudios "Pedro Suárez": Estudios Sobre Las Comarcas De Guadix, Baza Y Huéscar, (11), 9-24.
- Instituto de Estadística y Cartográfica de Andalucía (IEA) (2013).
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2013).
- Pérez López, C. (2009). Técnicas estadísticas multivariante con SPSS. Madrid: Garceta.
- República del Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2007). Nueva metodología y Cálculo de los Indicadores de la Encuesta de Empleo, Desempleo y Subempleo. Quito. INEC. Documento de trabajo.
- Rodríguez Martínez, F., & Zoido Naranjo, F. (2001). Desarrollo territorial y evaluación de la diversidad y la desigualdad intrarregional: Una aproximación desde Andalucía. Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles, (32), 113-125.
- Sorokin, P., & Zimmerman, C. (1929): Principles of rural-urban sociology. New York, Henry Holt, en: Camarero Rioja, L. A., Cruz, F., González, M., Del Pino, A., Oliva, J., & Sampedro, R. (2009). La población rural de España: De los desequilibrios a la sostenibilidad social (1st ed.) Barcelona: Fundación La Caixa, [2009].
- Vachon, B., Rodríguez, F., Pérez, L., & Coallier, F. (2001). El desarrollo local. Teoría y Práctica: reintroducir lo humano en la lógica de desarrollo. Gijón: Trea.

06-012

YOUTH PARTICIPATION IN DEVELOPMENT PLANNING: CASE STUDY OF SAYAUSÍ (RURAL PARISH) CUENCA - ECUADOR.

Garcia Baculima, Jorge; Sastre Merino, Susana
Universidad Politécnica de Madrid

Young people now represent the highest percentage of the world population. Soon, they will be seniors and they will take decisions for a more orderly and equitable world. For this reason, the participation of young people in development planning is very important and many countries are trying to promote it through various measures. This article analyzes the trajectory of youth participation in the Latin American region and specifically the profile of youth participation in Ecuador, country in which the Constitution recognizes the strategic role of youth in development. The case study of Sayausí rural parish in canton Cuenca is analyzed, through surveys, interviews and an Empowerment Evaluation workshop to young people and decentralized government. The results obtained allow to propose strategies to help improve the participation of youth in the community.

Keywords: *participation; youth; rural development; empowerment evaluation; decentralized government*

PARTICIPACIÓN DE LOS JÓVENES EN LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO: CASO DE SSAYAUSÍ (PARROQUIA RURAL) CUENCA - ECUADOR

Los jóvenes representan actualmente el porcentaje más alto de la población mundial, y dado que próximamente serán adultos mayores, tomarán decisiones para tener un mundo más ordenado y equitativo. Por este motivo, la participación de los jóvenes en la planificación del desarrollo es muy relevante y en muchos países se está tratando de fomentar con diversas medidas. El presente artículo analiza la trayectoria de la participación juvenil en el ámbito latinoamericano y concretamente el perfil de la participación juvenil en el ámbito de Ecuador, país en el que su Constitución reconoce el papel estratégico de los jóvenes en el desarrollo. Para ello se analiza el caso de estudio de la parroquia rural Sayausí del cantón Cuenca, mediante la aplicación de encuestas, entrevistas, y un taller de Empowerment Evaluation a los jóvenes y al gobierno descentralizado. Los resultados obtenidos permiten proponer estrategias que ayuden a mejorar la participación de los jóvenes en la comunidad.

Palabras clave: *participación; jóvenes; desarrollo rural; empowerment evaluation; gobierno descentralizado*

Correspondencia: Ing. Jorge Luis García B.(MBA)(DGM) jgarciab@ups.edu.ec Dra. Susana Sastre susanasastre@gmail.com

Agradecimientos: P. Javier Herrán, Dr. Adolfo Cazorla y Lic. Matín Lucero, en el apoyo de esta investigación.

1. Introducción

El año 2014 fue la primera vez que jóvenes y adolescentes llegaron a ser 1.800 millones en una población mundial de 7.300 millones de personas, lo que representa un cuarto de la población mundial y el 32% de los jóvenes viven en países menos adelantados, una categoría de Naciones Unidas que representa a 33 países de África Subsahariana, ocho de Asia, seis de Oceanía y Haití en el Caribe (FPNU, 2014). Estos países se caracterizan por estar expuestos a una serie de dificultades y factores de vulnerabilidad, como la escasa capacidad humana, institucional y productiva (ONU, 2001). Si los niveles de fertilidad y mortalidad en las regiones menos desarrolladas siguen descendiendo, el número mundial de adolescentes y jóvenes se mantendrá relativamente estable a lo largo de los próximos 35 años (ONU DAES, 2014).

Los jóvenes son poderosos agentes de cambio en la sociedad, sus habilidades, hábitos, comportamiento y ambiciones tanto en el trabajo, el ahorro, el gasto, la migración de las zonas rurales a las urbanas, como la migración internacional y la reproducción son temas a analizar (Bloom, 2012). El interés de que los jóvenes participen en el desarrollo de los pueblos es porque se considera que ellos están teniendo una desafección política y que existe una desvinculación de las decisiones políticas y la juventud, mostrando como ejemplo España (Benedicto, 2008). También se puede mencionar que muchos jóvenes se niegan a apoyar a un partido político cuando no sienten que se encuentran respaldados totalmente y temen que su opinión no se tome debidamente en cuenta (Spannring, 2008).

En el caso de América Latina también se ha reconocido que los jóvenes constituyen un recurso humano importante para el desarrollo y son agentes fundamentales del cambio social, el desarrollo económico y la innovación tecnológica. Es por ello que en Badajoz-España en octubre de 2005 se realizó la Convención Iberoamericana de Derechos de los Jóvenes, con el fin de desarrollar 44 artículos que benefician a los jóvenes. Aquí se menciona que los jóvenes tienen el derecho a la participación política, que los estados se comprometen a impulsar y fortalecer procesos sociales que generen formas y garantías que hagan efectiva la participación de jóvenes en todos los sectores de la sociedad (OIJ, 2005).

Con respecto a Ecuador, país en el que los jóvenes representan el 21% de la población (INEC, 2010), desde los años 1980 el gobierno ha realizado reformas e incorporado políticas que procuren beneficiar a los jóvenes, como la conformación de una comisión encargada de la celebración del Año Internacional de la Juventud en 1985, la creación de la Dirección Nacional de la juventud en 1988 con el fin de estructurar un organismo de atención a los jóvenes, en 1998 la Constitución Política de la República que establece la responsabilidad conjunta del Estado, la sociedad y la familia en garantizar los derechos de los niños, niñas y adolescentes, y posteriormente en el 2001 el desarrollo de una legislación dirigida a los jóvenes, como la Ley de la Juventud (Román P, 2011). Dicha Ley confirmaba la vigencia y garantía de deberes y derechos particulares para los jóvenes, así como la obligación del estado en la definición de políticas públicas para la juventud. Además proponía la no discriminación y eliminación de diferentes formas de maltrato, preveía la equidad social para el acceso a oportunidades y destrezas para el desarrollo, reconocía la interculturalidad y promovía la organización y participación.

Sin embargo, Velasco (2007) menciona que la Ley de la juventud no contaba con los instrumentos, ni definía los mecanismos directos para operativizar los derechos, e históricamente, la política social para la juventud por parte del Estado Ecuatoriano y con énfasis desde el gobierno central ha sido limitada, con escasas iniciativas que promuevan temas laborales, y aseguren el acceso a servicios públicos para los jóvenes. Y es por ello que en el año 2008, después de una

consulta popular en el Ecuador se decide establecer una nueva constitución (Diario El Universo. 20 de abril de 2007; 23 de abril de 2007; 20 de octubre de 2008), en la que se incluye el deber de garantizar los derechos de las jóvenes y los jóvenes, promover su efectivo ejercicio a través de políticas y programas, instituciones y recursos que aseguren y "mantengan de modo permanente su participación e inclusión en todos los ámbitos, en particular en los espacios del poder público". Además afirma que el Estado reconocerá a las jóvenes y los jóvenes como actores estratégicos del desarrollo del país, y les garantizará la educación, salud, vivienda, recreación, deporte, tiempo libre, libertad de expresión y asociación, fomentará su incorporación al trabajo en condiciones justas y dignas, con énfasis en la capacitación, la garantía de acceso al primer empleo y la promoción de sus habilidades de emprendimiento (Asamblea Nacional de la Republica de Ecuador, 2008).

Teniendo en cuenta lo anterior, en este estudio se plantean una serie de preguntas de investigación, con el objetivo de analizar y mejorar la participación juvenil en los espacios públicos de decisión: ¿Ha aumentado la participación de los jóvenes en la sociedad?, ¿Los jóvenes están teniendo una desafección política?, y ¿El gobierno necesita generar estrategias para que los jóvenes se sientan a gusto y participen más en sus comunidades y ambientes rurales? Para responder a estas preguntas se toma como caso de estudio la parroquia de Sayausí, que se encuentra ubicada en la parte Noreste del cantón Cuenca perteneciente a la Provincia de Azuay. Para el estudio se diseñó una encuesta que fue validada mediante una entrevista al presidente de la Junta Parroquia de Sayausí, un docente y tres jóvenes universitarios de la comunidad, posteriormente se aplicó a un subconjunto de la población joven con el fin de obtener un conocimiento profundo de la situación de los jóvenes. Una vez obtenido los resultados de la encuesta se realizó un taller de Empowerment Evaluation (Fetterman, 2001) a los líderes juveniles que colaboran en la pastoral de la comunidad y al gobierno descentralizado de Sayausí, que permitió generar estrategias que ayuden a mejorar la participación de los jóvenes en la comunidad y fortalecer su capacidad para participar en otros programas y actividades que les afecten (United Nations, 2005).

2. Metodología

2.1. Área de Estudio

La primera parte de la metodología comprendió la selección de un área que permita responder a las preguntas de investigación. El área de estudio seleccionada para la investigación fue la parroquia de Sayausí ubicada en el cantón Cuenca perteneciente a la Provincia de Azuay. Dentro del Cantón Cuenca, la parroquia de Sayausí se encuentra ubicada en la parte Noreste, limita al norte con la Parroquias de Molleturo, Chiquintad y parte de la Parroquia San Antonio de la Provincia del Cañar; al sur con la Parroquia San Joaquín y parte del área urbana de Cuenca; al este con la Parroquia Sinincay y al oeste con la Parroquia Molleturo. Tiene una superficie de 315,73 Km^2. Se encuentra a una distancia aproximada de 8 Km. desde la Ciudad de Cuenca,

colinda con el área urbana de la ciudad de Cuenca y parte de su territorio ha pasado a formar parte de esta (PDOT Sayausí, 2011).

2.2. Participantes

La segunda parte consistió en realizar una reunión con los Líderes Juveniles y el Presidente del Gobierno Parroquial de Sayausí, para informarles sobre la investigación, con el fin de determinar si después de la Constitución del 2008 los jóvenes aumentaron su participación e inclusión en todos los ámbitos, en particular en los espacios del poder público.

Para determinar la población joven de la localidad se acudió a la fuente bibliográfica del censo de población efectuado en el año 2010 en el Ecuador, y se observó que el total de la población de Sayausí era 8.392 habitantes con un crecimiento del 2,60% anual, la población joven se encontraba en 2.643 habitantes. Como los datos eran del 2010 se proyectó la población al 2015 con la tasa de crecimiento, para obtener una proyección total estimada de 3.005 jóvenes, de los cuales fueron 1.206 jóvenes de 15 a 19 años, 968 jóvenes de 20 a 24 años y 831 jóvenes de 25 a 29 años (Tabla 1).

Tabla 1: Población estimada de Jóvenes en el año 2015.

Año / Grupos de Edad	CENSO → Tasa de crecimiento anual 2,6% → Estimado					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
De 15 a 19 años	1061	1089	1117	1146	1176	1206
De 20 a 24 años	851	873	896	919	943	968
De 25 a 29 años	731	750	770	790	810	831
TOTAL	2643	2712	2782	2855	2929	3005

Nota: Los datos son provenientes del *CENSO 2010, INEC*. La proyección de la población joven realizada por el Autor.

2.3. Bibliografía y Variables a Investigar

La tercera parte de la metodología fue la revisión bibliográfica y documental que permitió tener una visión de los jóvenes en el mundo, en América Latina y la trayectoria de la política del Ecuador dedicada a los jóvenes. Al revisar la bibliográfica también se buscó encuestas que contengan preguntas que hayan sido aplicadas a los jóvenes y que se pudiera utilizar para obtener variables que sirvieran para analizar la investigación. Las encuestas que se encontraron más apegadas al contexto fueron: la sexta encuesta nacional de juventud del Instituto Nacional de la Juventud del Gobierno de Chile (INJUV, 2010) y una encuesta que mide el nivel de participación de los jóvenes en el presupuesto participativo de la Parroquia el Progreso en Ecuador (Rivas, Salinas, 2013), para ello se utilizaron preguntas de las dos encuestas y otras que se crearon. La encuesta fue estructurada en bloques y validada por el Presidente de la Junta Parroquial de Sayausí, por una docente universitaria y tres jóvenes universitarios de la comunidad.

2.4. Prueba Piloto y Muestra

Con el propósito de calcular la probabilidad de éxito y de fracaso para luego calcular el tamaño de la muestra se realizó una prueba piloto al 3% de la población. La metodología consistió en inferir propiedades de la totalidad de la población analizada, no se realizó un censo a una población estimada de 3005 jóvenes por el costo que significaba, así que se realizó un muestreo

aleatorio estratificado proporcional al tamaño de cada estrato. Para ello se usó la fórmula para calcular el tamaño de muestra con una seguridad del 95%, Zα = 1,96 y un 5,68% de error.

Figura 1: Fórmula del tamaño de la muestra cuando se conoce el tamaño de la población

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{((N-1) * E^2) + (z^2 * p * q)}$$

En donde,
N = tamaño de la población
Z = nivel de confianza,
P = probabilidad de éxito, o proporción esperada, basada en la variable de la prueba piloto "Participa usted en las reuniones de la Junta Parroquial"
Q = probabilidad de fracaso basada en la variable de la prueba piloto "Participa usted en las reuniones de la Junta Parroquial"
E = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

P y Q se obtuvieron de la pregunta aplicada en la prueba piloto: ¿Participa usted en las reuniones de la Junta Parroquial? Es por este motivo que los valores de P y Q son diferentes en cada grupo de edad. Realizada la fórmula de forma estratificada se obtuvo un muestra de 121 para jóvenes de 15 a 19 años; 104 para jóvenes de 20 a 24 años y 134 para jóvenes de 25 a 29 años (Tabla 2), obteniendo un total de 359 jóvenes que fueron encuestados al azar.

Tabla 2: Muestra de la Población Estimada

Jóvenes por edad	Población Estimada	p	q	Muestra
de 15 a 19 años	1206	13%	87%	121
de 20 a 24 años	968	11%	89%	104
de 25 a 29 años	831	16%	84%	134
Total:	3005			359

2.5 Encuestas y tabulación de Datos

El quinto paso de la metodología fue aplicar las encuestas en el área de estudio. Las encuestas duraron una semana, fueron realizadas por tres jóvenes que pertenecían a la comunidad y conocían la zona. Posteriormente se realizó la tabulación de los datos.

2.6 Empowerment evaluation

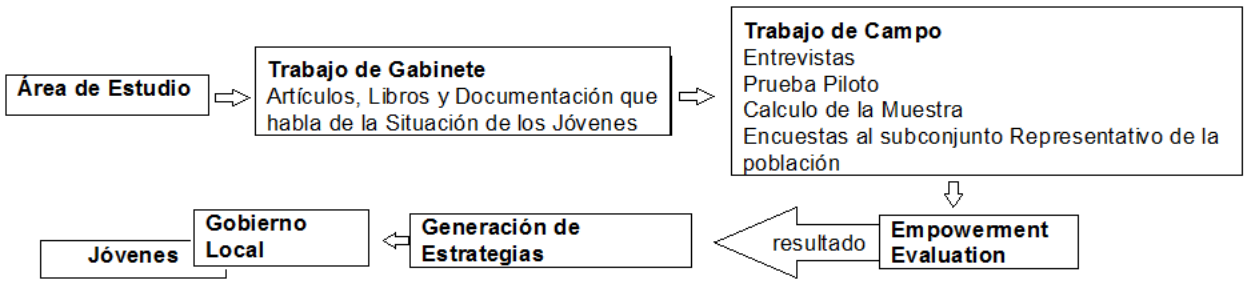
Conocidos los resultados de la encuesta que mostraban el grado de organización de los jóvenes en diferentes ámbitos, su percepción de los principales problemas de la comunidad y el interés

de los jóvenes en participar en la solución de los problemas conjuntamente con el gobierno local, se prepararon y desarrollaron dos talleres de Empowerment Evaluation, el primero con los jóvenes líderes que trabajaban en la pastoral de la comunidad y el segundo con los miembros del Gobierno descentralizado de Sayausí.

En el primer taller se convocó a los líderes juveniles, también se llamó a jóvenes con diferentes percepciones de la problemática de la Parroquia y con el interés de participar, esto fue gracias al número de teléfono que se les pidió en la encuesta, obteniendo un total de 28 jóvenes. El segundo taller se realizó con el objetivo de generar las estrategias que ayudaran al Gobierno Local a solucionar los problemas encontrados conjuntamente con los jóvenes de la comunidad.

El taller de Empowerment Evaluation se desarrolló en los tres pasos básicos para que los jóvenes pudieran evaluar su programa: 1) Indicarles los resultados de las encuestas y que se familiarizasen con la misión, 2) Inventariar y priorizar un conjunto de estrategias que ayudasen a solucionar la problemática de los jóvenes en la comunidad 3) Definir quienes se encargarían en dar seguimiento al cumplimiento de las estrategias generadas (Fetterman, 2001; Dorrego et al, 2007).

Figura 2: Esquema Metodológico



3. Resultados

3.1 Percepción de los jóvenes sobre la participación y sus problemas por grupo de edad

Terminadas las encuestas se tabularon los datos en el programa estadístico SPSS Statistics 20 de la empresa International Business Machines Corp. (IBM), con el cual se realizó un estudio bivariado que mostró el conocimiento e interés de cada una de las preguntas por cada grupo de edad. La tabla 2 muestra la distribución de la muestra por edad y sexo. La encuesta se realizó a un total de 359 jóvenes, de los cuales 181 eran hombres y 178 mujeres.

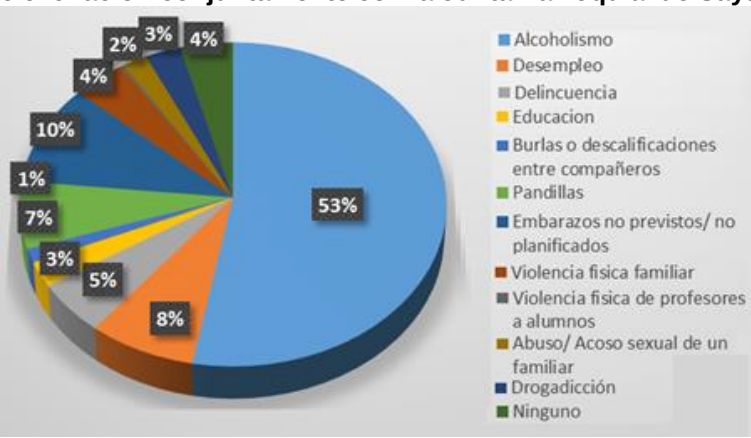
Un grupo de preguntas de la encuesta fueron creadas para identificar los principales problemas que estaban pasando los jóvenes en ese momento. Se observó que el 48,1% de los jóvenes de 20 a 24 años no se encontraban laborando y mucho más preocupante era que los jóvenes de 25 a 29 años quienes ya deben encontrase en inserción laboral, el 33,6% se encontraba desempleado.

Para el 48% de jóvenes la salud es el tema que debe resaltar en la parroquia, seguido de la educación con un 22% y un 11,7% los temas deportivos. Cuando se realizó la pregunta ¿Cuáles cree usted que son los tres principales problemas que afectan a los jóvenes en la parroquia? un

94,4% de todos los jóvenes respondieron que el alcoholismo era el problema principal en la parroquia, el 46,8% ve a la delincuencia como otro problema en la parroquia, el 43,2 ve a las pandillas como un problema que necesita atención, el 27,9% dice que los embarazos no deseados son otro problema para los jóvenes en la parroquia, 16,7% dice que la violencia física familiar es un problema en la parroquia, 1,9% de todos los jóvenes mencionaron el abuso o acoso sexual de un familiar, 0,8% jóvenes mencionaron el abuso o acoso sexual de un profesor, el 8,1% menciona que la drogadicción también es un problema en los jóvenes.

La pregunta que ayudó a identificar el interés de los jóvenes por colaborar en un plan de concientización para la solución de los problemas de la parroquia fue: ¿En cuál de los problemas que mencionó le gustaría participar en una campaña de concientización? Esta pregunta también nos ayudó a seleccionar a los jóvenes por su preferencia de ayuda en los diferentes problemas de la parroquia (Figura 3).

Figura 3. Preferencia de participación de los jóvenes para realizar una campaña de concientización conjuntamente con la Junta Parroquial de Sayausí



Otro grupo de preguntas se centró en caracterizar la percepción de los jóvenes sobre la participación en política y sociedad civil organizada. La pregunta: ¿Usted se encuentra afiliado a un partido político? midió el grado de participación directa de los jóvenes en la política, en este caso el 1,7% de todos los jóvenes se encontraban afiliados a un partido político, de los cuales uno pertenecía al partido del gobierno y los 5 restantes a un partido de la oposición.

La pregunta: ¿Usted pertenece a alguna Organización dentro de su Parroquia? mostró que el 12% de los jóvenes se encontraban involucrados con grupos organizados y a este porcentaje se les realizó otra pregunta: ¿A qué tipo de Organización pertenece?, con la respuesta a esta pregunta se observó el porcentaje de preferencia por grupo de edad a las diferentes organizaciones de la parroquia (Figura 4).

Figura 4: Preferencia de los jóvenes a las diferentes organizaciones de la parroquia

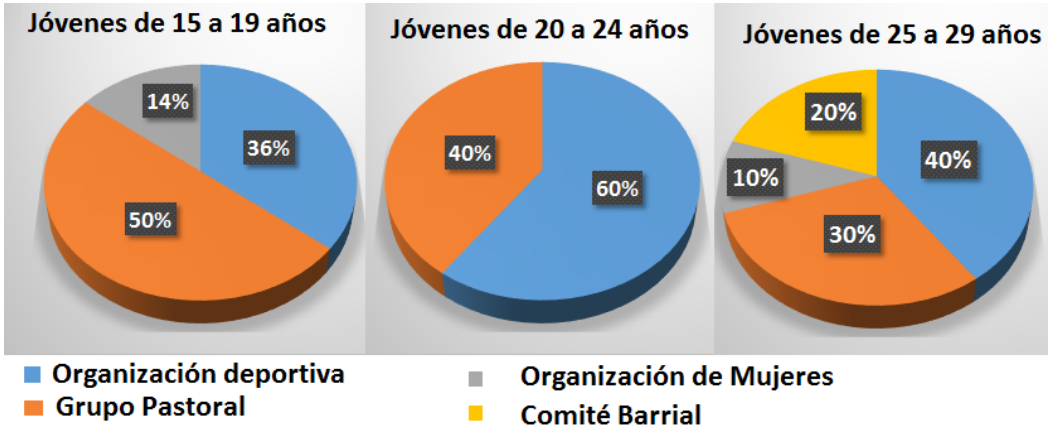
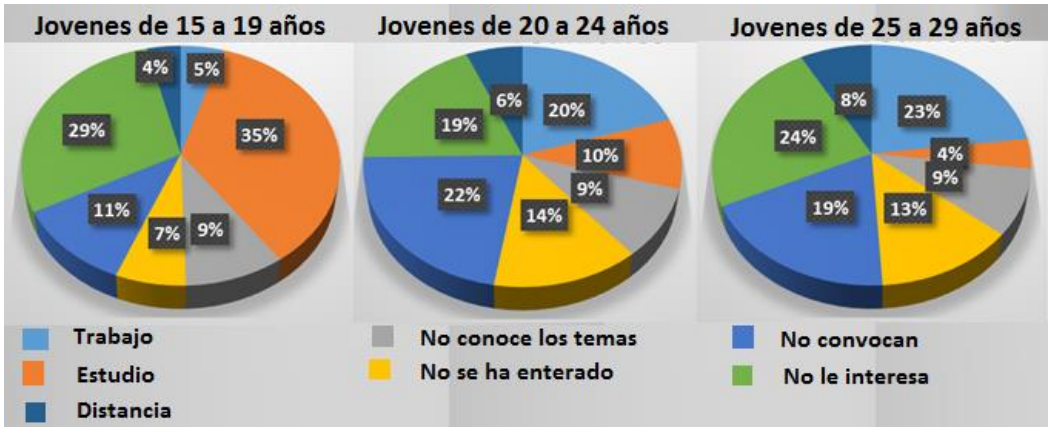


Figura 5. Causas de inasistencia de los jóvenes a las reuniones del Gobierno Parroquial



Se observó que el 85,2% de los jóvenes no participan en las reuniones del Gobierno Autónomo, por lo que concernió saber las causas principales, y para ello se hizo otra pregunta que contestó si los jóvenes realmente sufrían una desafección política o era porque no eran informados o porque no tenían tiempo de asistir. Aquí el resultado fue que el 20,3% de todos los jóvenes no les interesaba estas reuniones, el 14,5 de todos los jóvenes mencionaron que nos les convocan, el 9,2% no sabían que existían estas reuniones y se pudo ver las causas de inasistencia por grupo de edad (Figura 5).

El comité pro-mejoras es una corporación de derecho privado y está reglado en las disposiciones del título XXIX del Libro I del Código Civil, está orientado a alcanzar el progreso y desarrollo en todos sus niveles: social, económico, educativo y de su convivencia a favor de los moradores del barrio y con respecto a este tema a los jóvenes se les preguntó si conocían qué es el Comité Pro-mejoras y apenas el 4,7% de todos los jóvenes conocían de este tema y solo 4 jóvenes de los 359 encuestados habían participado en estas reuniones.

En cuanto al presupuesto participativo que es un proceso democrático y voluntario, en el que la población puede discutir y decidir sobre el presupuesto público de la comunidad (Genro& De Souza, 1998). A los jóvenes se les realizó la pregunta: ¿Sabe usted que es el presupuesto

participativo? La respuesta que obtuvo fue que el 94,4% de todos los jóvenes encuestados no conocían qué era el presupuesto participativo.

3.2 Generación de estrategias usando la metodología del Empowerment Evaluation

Una vez identificados los problemas y la percepción de los jóvenes, se realizó una reunión con 28 jóvenes voluntarios que ayudaron en la elaboración de estrategias para mitigar los problemas de la comunidad y disminuir la desafección participativa de los jóvenes en los temas sociales y políticos de la comunidad.

Figura 6: Desarrollo de un taller de Empowerment Evaluation con jóvenes de la Parroquia de Sayausí.

El taller se realizó en tres pasos básicos para que los jóvenes pudieran evaluar su programa:

1) En el primer paso se realizó la presentación de los datos tabulados de la encuesta para que se familiarizasen con la problemática que sufrían los jóvenes e identificar conjuntamente con ellos la misión y el propósito de unificarse para solucionar los problemas de la comunidad.

2) El segundo paso consistió en inventariar un conjunto de estrategias que luego serían presentadas a la Junta Parroquial de Sayausí, las estrategias generadas fueron: 1) Aumentar los programas sociales para jóvenes en la comunidad**,** 2) Crear una línea telefónica para denunciar la delincuencia y la venta de sustancias psicotrópicas a los jóvenes, 3) Aumentar el control donde existe mayor frecuencia de jóvenes, 4) Promocionar las reuniones de la Junta parroquial de Sayausí, 5) Crear una escuela para padres para mejorar las relaciones familiares y los problemas que sufren los jóvenes, 6) Crear brigadas de seguridad con los jóvenes, 7) Crear redes sociales para jóvenes de la comunidad, 8) Aumentar el control en el colegio ya que ahí es donde los jóvenes se forman y son más vulnerables, 9) Campaña de concientización a los negocios del sector para disminuir la venta de alcohol a los jóvenes. Posteriormente en un segundo subpaso se realizó una calificación a las estrategias para escoger las tres con mayor prioridad, estas fueron: 1) Aumentar los programas sociales en la comunidad, 2) Promocionar las reuniones de la Junta Parroquial, 3) Crear una escuela para padres para mejorar las relaciones familiares y los problemas que sufren los jóvenes.

3) El tercer paso consistió en establecer los plazos y las personas que nos ayudarían en el monitoreo de las estrategias adoptadas por el Gobierno Descentralizado de la Parroquia. Los cuales también coordinarían en el seguimiento de la implementación de estas estrategias.

Después de tabular los datos, ver la problemática de los jóvenes y desarrollar un taller de Empowerment Evaluation con los jóvenes, se realizó otro taller con el Gobierno Descentralizado de la Parroquia, con el objetivo de generar más estrategias y que se comprometieran con la implementación de alguna de las estrategias generadas por los jóvenes, promocionando más la participación política y social. La estrategia de los jóvenes que la Junta Parroquial decidió escoger fue: Aumentar los programas sociales para jóvenes en la comunidad. La segunda estrategia para aumentar la participación de los jóvenes fue enfocarse en la base de datos que se generó de las encuestas aplicadas en esta investigación para identificar a los jóvenes por preferencia en las campañas de concientización conjuntamente con la Junta Parroquial para posteriormente realizar un taller conjunto con los jóvenes y continuar con la mejora continua de la parroquia.

4. Conclusiones

En este caso de la parroquia de Sayausí, luego de que el Gobierno Ecuatoriano incluyese en la constitución del 2008 la participación e inclusión de los jóvenes en todos los ámbitos, en particular en los espacios del poder público, se ha observado que no es suficiente solo mencionarlo, si no que se debe comunicar de una forma más eficiente para que llegue a los oídos de los jóvenes, con el fin de que ellos se enteren que tienen los derecho y los espacios necesarios para participar.

Analizando los resultados de la encuesta de esta investigación, apenas el 20,30% de jóvenes muestran una desafección política, es por ello que se debe "incentivar y buscar los espacios necesarios" para que el 79,70% de los jóvenes que sí les gustaría participar con el gobierno en el desarrollo de su comunidad, tengan la oportunidad de brindar sus ideas y aporten con su energía en el trabajo conjunto para mejorar su parroquia.

Al observar la participación de los jóvenes, si no ha aumentado es debido a que no son convocados y no se coordina con ellos las reuniones que pueden existir en su comunidad y para que los jóvenes se involucren más en la participación, se los debe hacer partícipes y vincularlos para que ellos sientan que son tomados en cuenta dentro de la generación de ideas, estrategias, proyectos, planes y programas que el gobierno puede desarrollar.

Realizar una encuesta a una muestra representativa previa al Empowerment Evaluation e indicarles los resultados facilita a los jóvenes tener una visión global de sus problemas, lo que a su vez les permite enfocarse de una mejor manera en la generación de estrategias para solucionar estos problemas. Al mostrarle al Gobierno Descentralizado el inventario de estas estrategias y los resultados de las encuestas, éste tuvo un enfoque más amplio de los problemas que estaban teniendo los jóvenes, lo cual facilitó la toma de decisión y el compromiso de ejecutar las estrategias desarrolladas por ellos.

Con el fin de mejorar el desarrollo, la participación y mitigar los problemas de los jóvenes se recomienda al Gobierno Descentralizado de Sayausí que tome en consideración los siguientes puntos:

- Mantener el compromiso en la aplicación de las estrategias generadas por los jóvenes. Ya que ellos sentirán que son escuchados y verán que sus estrategias están siendo aplicadas.
- Aumentar los programas sociales e involucrar a los jóvenes por sus preferencias de ayuda, permitirá que los jóvenes colaboren de mejor manera en el área que mayor afinidad tienen.
- Crear redes sociales para jóvenes, permitirá la integración, mejorara la comunicación de las diferentes actividades que realice la junta parroquial y los jóvenes se enteraran de las reuniones que la junta parroquial realiza.
- Coordinar con las autoridades educativas en la identificación, mitigación y prevención de pandillas.
- Brindar acompañamiento sicológico y terapéutico tanto a los jóvenes como a los familiares identificados con problemas de drogadicción, alcoholismo, pandillas, maltrato o abuso sexual.
- Fomentar el deporte, el arte y la cultura en los jóvenes de la comunidad.
- Invitar a los líderes juveniles a las reuniones de la Junta Parroquial para que ellos se involucren y comenten al resto de jóvenes sobre los diferentes temas que se están tratando en la comunidad.
- Realizar talleres de emprendimiento y convenios institucionales con el fin de mejorar la inserción laboral de los jóvenes.
- Monitorear cada año las estrategias implementadas, con el fin de conocer las fortalezas, debilidades y problemas que se vayan presentado al trabajar conjuntamente gobierno y jóvenes en la solución de sus problemas.

5. Bibliografía

Asamblea Nacional de la Republica de Ecuador (2008). *Constitución de la Reública del Ecuador.* Articulo 39*.* Publicada en el Registro Oficial No. 449 20 de octubre de 2008.

Benedicto, J. (2008) *Young people and politics: disconnected, sceptical, an alternative, or all of it at the same time?*. Departament of Sociology II. UNED. Retrieved from www.injuve.es/sites/default/files/1.pdf

Bloom, D.E. 2012*. "Youth in the balance."* Finance & Development, March 2012, Vol. 49, No. Retrieved from www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2012/03/bloom.htm

Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (2000), *Juventud, Población y Desarrollo en América Latina y el Caribe. Síntesis y Conclusiones* (LC/L.1339). Retrieved from www.cepal.org/publicaciones/xml/9/4299/lcg2084e.pdf

Convención Iberoamericana de Derechos De Los Jóvenes (octubre 2005). *Acta Final*. Artículo 21. Retrieved from www.unicef.org/lac/CIDJpdf%283%29.pdf

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas (2014). *La situación demográfica en el mundo 2014*, *informe conciso* (publication number ST/ESA/SER.A/354). Nueva York: U.S. Prographics, Inc.

Diario El Universo (20 de abril de 2007). *TSE comunicó resultados de consulta popular*. Retrieved from

www.eluniverso.com/2007/04/20/0001/8/98B624B6DCCE4030B8D0BD71E8A1C142.html

Diario El Universo (20 de octubre de 2008). *Nueva Constitución está en vigencia desde hoy*. Retrieved from http://www.eluniverso.com/2008/10/20/0001/8/DBAB1D98B82446409E49D43C45FC1DA4.html

Diario El Universo (23 de abril de 2007). *TSE ratificó resultados de la consulta popular*. Retrieved from www.eluniverso.com/2007/04/23/0001/8/29BAF69FC53840CEA60B676218FF786F.html

Dorrego A, Cazorla A, de los Ríos I., Moranchel M, (2007). *La Metodología Empowerment Evaluation en la Planificación de un Proyecto de Desarrollo para la Mujer en Comunidades Rurales de Puno (Peru).* Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos Lugo, 26-28 Septiembre, 2007

Fetterman D.M.(2001), "*Foundations of Empowerment Evaluation*", Sage Publications, London.

Fondo de Población de las Naciones Unidas (2014). *El poder de 1.800 millones los adolescentes, los jóvenes y la transformación del futuro.* ISBN: 978-0-89714-972-3. Nueva York: U.S. Prographics, Inc.

Genro, Tarso y De Souza, Ubiratan. (1998) (b): Presupuesto participativo: la experiencia de Porto Alegre. CTA; EUDEBA, Buenos Aires, 123p.

INEC. (2010) *Censo de Población y Vivienda 2010*, Datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos. Retrieved from www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=23%3Alos-jovenes-representan-el-13-de-la-poblacion-ecuatoriana-dia-internacional-de-la-juventud-&catid=63%3Anoticias-general&lang=es

INJUV (2010). Sexta Encuesta Nacional de Juventud Instituto Nacional de la Juventud, Gobierno de Chile. Retrieved from: www.injuv.gob.cl/portal/wp-content/files_mf/sextaencuestanacionaldejuventud.pdf

Naciones Unidas. 2001. *Programa de acción en favor de los países menos adelantados para el decenio 2001-2010*. Aprobado por la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Países Menos Adelantados en Bruselas el 20 de mayo de 2001. GE.01-51737(S).

PDOT Sayausí, 2011. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Sayausí, Cuenca-Ecuador Retrieved from: app.sni.gob.ec/snilink/sni/%23recycle/PDyOTs%202014/0160027120001/PDyOT/08022013_161807_0%20Generalidades.pdf

Rivas, M., Salinas, J. (2013). *Análisis de la ausencia de participación de los jóvenes en la toma de decisiones en la distribución del presupuesto participativo en la parroquia El Progreso*. Tesis previa a Licenciado no publicado en Gestión para el Desarrollo Local Sostenible. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

Román P. (2011). Políticas públicas sobre juventud en Ecuador desde 1980, Procesos, Revista ecuatoriana de Historia**,** *Revista Ecuatoriana de Historia, II semestre 2011*. Pag. 125 – 144. Quito ISSN: 1390-0099, Universidad Autónoma de Barcelona.

Spannring, R. (2008) *We vote and then we suffer." Survey results in the light of young people's views on participation* University of Innsbruck (Austria). This chapter is a summary of two chapters of the book "Youth and Politics in Europe", Young People's Studies Magazine.

United Nations. (1996, March 13).Programa de Acción Mundial para los Jóvenes hasta el año 2000 y años subsiguientes *La resolución 59/81*. Retrieved from www.cinu.mx/eventos/pmaccion2000beyond.pdf

United Nations (2014). *Framework of Actions for the Follow-up to the Programme of Action of the International Conference on Population and Development Beyond 2014* (A/6926, ISBN: 978-1-61800-020-0). New York, Report of the Secretary-General, United Nations. Prographics, Inc.

United Nations. 2005. *World Youth Report 2005: Young People Today and in 2015*. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs.(ST/ESA/301 ISBN 92-1-130244-7) Retrieved from http://www.un.org/esa/socdev/unyin/documents/wyr05book.pdf

Velasco, Y. (2007). Desarrollo Social y Sociedad Civil de la Región de América Latina y el Caribe del Banco Mundial, *La Juventud en Ecuador - El Desarrollo y La Nueva Generación. Quito.* Retrieved from: siteresources.worldbank.org/INTECUADORINSPANISH/Resources/500730-1199408105832/EcuadorDesarrolloNuevaGeneracion.pdf

06-016

CHALLENGES AND STRATEGIES FOR NETWORKING TRANSDISCIPLINARY RESEARCH OF APPLIED TO RURAL SECTOR

Cadena Iñiguez, Jorge [1]; Morales Flores, Francisco Javier [1]; Trejo Téllez, Brenda Inocencia [1]; de los Ríos Carmenado, Ignacio [2]

[1] Colegio de Postgraduados, [2] Universidad Politécnica de Madrid

They estimate that the Mexican population (117.4 million) , 24.6 million are located in rural areas, and although they have abundant local resources (RL) have high degrees of marginalization and very high. Documented separation between the actors of science and technology to productive activities, noting that productivity requires access to biotech results, organization and financing of innovation projects for rural competitiveness. Ascending training of local organizations , innovation, public- private financing, management of a national sample of agrarian communities with social , economic, productive-ecological diversity located in six states of Mexico, using action research methods (territorial approach intervened support, integrated, systemic and cooperation networks) approach. The intervention and work was carried out by research teams (ETI) following a single integrated project whose research activities of four years formed national export production networks, designing new products, specialized by territory extensionism, training of human talent, technological developments new approaches to use for RL, technical publications, scientific, patent and plant variety registration, and strengthen transdisciplinary scientific groups, noting that networking responds to local needs for social, technical and scientific development as a profitable strategy for use public and private funding.

Keywords: *"Project engineering"; "systems approach" ; "rural competitiveness"*

RETOS Y ESTRATEGIAS PARA LA FORMACIÓN DE REDES DE INVESTIGACIÓN TRANSDISCIPLINARIAS APLICADAS AL SECTOR RURAL

Se estiman que de la población mexicana (117.4 millones), 24.6 millones se ubican en área rural, y aunque poseen abundantes recursos locales (RL) tienen grados de marginación alto a muy alto. Se ha documentado desvinculación entre los actores de la ciencia y tecnología con las actividades productivas, resaltando que la productividad, requiere acceso a resultados biotecnológicos, organización y financiamiento de proyectos con innovación para la competitividad rural. Se intervino una muestra nacional de núcleos agrarios con diversidad social, económica, productiva-ecológica ubicados en seis estados de México, aplicando métodos de investigación-acción (enfoque territorial; ascendente; formación de organizaciones locales; innovación; financiamiento público-privado, gestión de apoyos, enfoque integrado, sistémico y redes de cooperación). La intervención y trabajos se realizó mediante equipos de investigación (ETI) siguiendo un único proyecto integrador cuyas actividades de investigación de cuatro años formaron redes nacionales de producción-exportación, diseño de nuevos productos, extensionismo especializado por territorio, formación de talentos humanos, desarrollos tecnológicos, nuevos enfoques de uso para RL, publicaciones técnicas, científicas, patentes y registro de variedades vegetales, además de consolidar grupos científicos transdisciplinarios, resaltando que el trabajo en red responde a necesidades locales de desarrollo social, técnico y científico como estrategia rentable para el uso del financiamiento público y privado.

Palabras clave: *"Ingeniería de proyectos"; "enfoque sistémico"; "competitividad rural"*

Correspondencia: Jorge Cadena Iñiguez jocadena@gmail.com

Agradecimientos: Línea Prioritaria de Investigación 13: Comunidades Rurales Agrarias, Ejidos y Conocimiento Local del Colegio de Postgraduados.

1. Introducción

Actualmente, los ejidos y comunidades agrarias (propiedad social) en México, abarcan según el INEGI (2001), una superficie de poco más de 105 millones de hectáreas, de las cuales, las *tierras de uso común* (TUC), representan 66 %. De acuerdo a la información del PROCEDE, de los 61 millones de hectáreas certificadas en ejidos y comunidades, 68 % (casi 41.2 millones (M) corresponde a TUC, 31.7 % a parcelas individuales, de grupo y con destino específico; el resto, a solares urbanos. De los ejidos que tienen TUC se puede diferenciar entre aquellos que sólo tienen este tipo de tierras (11.3 %), los que además de uso común cuentan con áreas parceladas (56.4 %) y los que sólo tienen parcelas (31.7 %) (Pérez Martín, 2004). En la mayoría de los estados de la república predominan los ejidos con tierras de uso común, excepto Veracruz, Tabasco y Chiapas, en donde son más los núcleos que no disponen de este tipo de tierras. También destaca que, en la zona norte del país es donde hay mayor número de ejidos regularizados, que disponen de TUC y que esa proporción disminuye notablemente en los estados del centro. Según los indicadores estadísticos del Ejido Tipo, la superficie promedio de los ejidos que sólo tienen TUC, es de casi 5 mil ha^{-1}, a diferencia de aquellos que sólo tienen tierras parceladas, que es de 779 ha^{-1}, y los que disponen de los dos tipos de tierras, alcanzan 2,664 ha^{-1}. De manera inversa, el número de ejidatarios es menor en los primeros, 68; mientras que en los parcelados es de 77 y, en los que tienen parcelas y uso común, es de 92. Estos datos permiten apreciar que la densidad y presión demográfica son mayores en aquellos núcleos que tienen áreas parceladas, a diferencia de los ejidos que sólo cuentan con TUC. De manera consecuente, los promedios de superficie de uso común por sujeto agrario son: en aquellos ejidos que sólo tienen TUC, 60 ha; y en los que también tienen parcelas, 20 ha. De acuerdo al Instituto Nacional de Desarrollo Agrario (INEGI, 2007), los recursos naturales existentes en los poco más de 29 mil núcleos agrarios, ocho de cada 10, cuenta con, al menos, un recurso natural con posibilidades de explotación: 58% tiene pastos; 39%, materiales para la construcción (piedra, cantera, grava, arena); 23%, bosques; 5.4%, recursos para la acuacultura; 3.3%, selvas; 3.3%, minerales no metálicos y, 2.5%, cuenta con posibilidades para el desarrollo turístico; sin embargo, los datos de pobreza, migración y desuso de los medios de producción del colectivo en la propiedad social indican que probablemente las formas de organización, producción, nivel tecnológico, manejo y conservación de los recursos naturales no está siendo eficiente. Para construir el conocimiento de la realidad con enfoque sistémico, se requiere analizar aspectos físicos, químicos, biológicos, sociales, económicos, técnicos, psicológicos y culturales, que permitan definir y abordar un objeto de estudio, el cual generalmente es complejo, como por ejemplo el ejido; y dada la complejidad del problema, las disciplinas científicas aisladas son insuficientes, caras, tardadas y de bajo impacto, de tal forma que mediante un enfoque transdisciplinario, considerado como una familia de métodos para relacionar el conocimiento científico, la experiencia extra científica y la práctica de la resolución de problemas, orientados hacia el mundo real más allá del debate científico, operado como una red transdisciplinaria, puede tener mayor viabilidad y ser resolutivo en sus propuesta y obtención de productos.

2. Objetivos

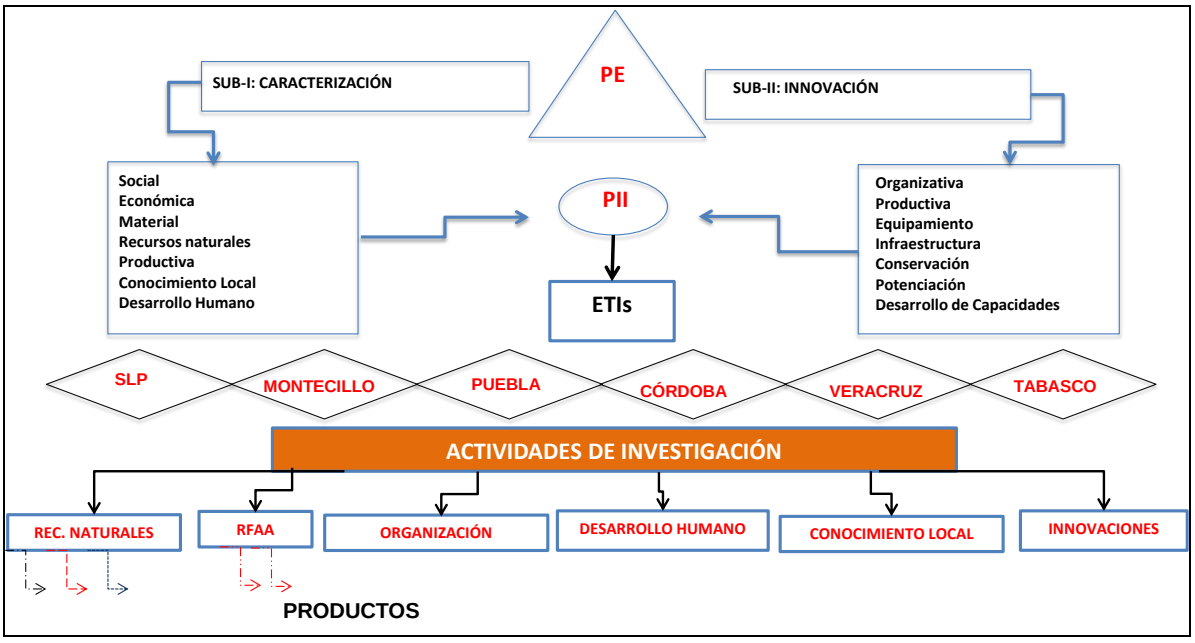
Con base en lo anterior, se intervino una muestra nacional de núcleos agrarios con diversidad social, económica, productiva-ecológica ubicados en seis estados de México, aplicando métodos de investigación-acción con enfoque transdisciplinario como red de especialistas, con el fin de inducir innovaciones tecnológicas y no tecnológicas como mecanismos de apoyo al progreso intergeneracional, sugerir diversificación del empleo rural,

revalorar recursos locales, que faciliten la integración de actores en iniciativas individuales y colectivas que promuevan el desarrollo.

3. Metodología: caso de estudio

Se intervino una muestra nacional de 155 núcleos agrarios ubicados en los estados de San Luis Potosí, Puebla, Veracruz (dos áreas), Tabasco y Estado de México, aplicando métodos de investigación-acción (enfoque territorial; ascendente; formación de organizaciones locales; innovación; financiamiento público, gestión de apoyos, enfoque integrado, sistémico y redes de cooperación) (Schejtman & Berdegué, 2003). La intervención se realizó mediante equipos de investigación (ETI) siguiendo un único proyecto integrador de investigación (PII) por cuatro años, aplicando una metodología común para todos los núcleos agrarios (SLP, Montecillo, Puebla, Córdoba, Veracruz y Tabasco), los cuales (ejidos) incluyeron diversidad social, económica, productiva, ecológica y política, por estar ubicados en ambientes semiárido, valles altos, selva mediana perennifolia, selva baja caducifolia y trópico húmedo, así como, cultura, grado de tecnificación y desplazamiento a polos de desarrollo. Los ejes evaluados fueron Caracterización e Innovación, considerando variables socioeconómicas para la primera y de organización, productiva, equipos, infraestructura, conservación, potenciación y desarrollo humano para la segunda (Figura 1).

Figura 1. Modelo transdisciplinario de investigación-intervención en ejidos



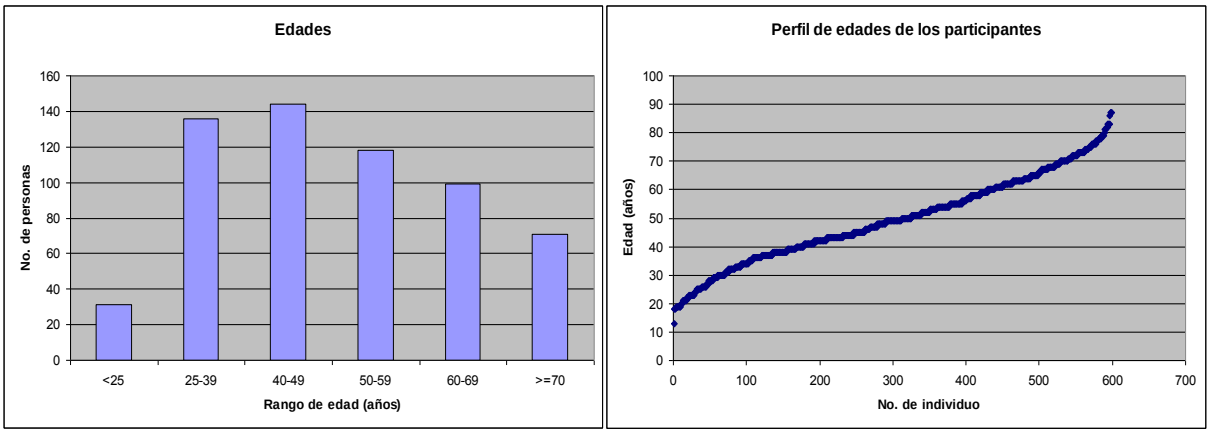
La Figura 1, muestra cómo se estructuró un plan estratégico (PE) que derivó a su vez un proyecto integrado de investigador (PII) sobre el cual los ETIs, formados por 39 profesionales de diferentes áreas del conocimiento, abordaron al ejido y sus componentes como el objeto de estudio con un marco teórico conceptual único de interacción entre las diversas disciplinas, y un paradigma de investigación común

considerando la teoría de capitales (humano, físico, social, político, ambiental, cultural y económico (McClennghan, 2000; Green & Haines, 2008), cuyas variables e indicadores puestas en marcha como actividades de investigación determinaron los productos y consolidación de Redes. Siempre se mantuvo como eje de intervención social, al enfoque transdisciplinario, considerado como una familia de métodos para relacionar el conocimiento científico, la experiencia extra científica y la práctica de resolución de problemas orientados hacia el mundo real, más allá del debate científico. Se aplicó una encuesta (censo agropecuario y ejidal) de 132 reactivos diseñada por el INEGI (2007) además de implementar plenos agrarios; foros participativos; sistematización y análisis de información; discusión participativa de resultados; desarrollo de propuestas; implementación de acciones, inducción de innovaciones; seguimiento y evaluación de las acciones; formación de talentos humanos aplicación de métodos para generar casos de éxito y empleo local. El tamaño de muestra se obtuvo a partir de Snedecor y Cochran (1967), dónde: Z= nivel de confianza, d= nivel de precisión, pn= proporción de la población que pertenecen al grupo de interés, q= (1-pn), N= tamaño de la población, n= tamaño de la muestra, la cual fue de n= 155 actores. La difusión de resultados fue a través de artículos, libros, capítulos, folletos y capacitación focalizada.

4. Resultados

Los resultados de intervención en la muestra de núcleos agrarios, indicaron que la edad de la población económicamente activa es de entre 18-89 años de edad, y que no existe una estrategia para el relevo generacional en las actividades económicas (Figura 2).

Figura 2.Rango de edad de la población económicamente activa y escala posible generacional de habitantes de una muestra de núcleos agrarios en México.



El escenario anterior dificultó la inducción de tecnologías, debido a que aunado a que la mayoría de personas cuentan con bajo nivel de escolaridad, sin embargo, se aprovechó el conocimiento local que las personas de mayor edad tienen acerca de los recursos locales para realizar estudios de bioprospección y generar nuevas redes de valor, mediante la revalorización y reorientación de los mismos, sin embargo, a través de diplomados se regularizó el lenguaje y objetivos comunes. Los foros participativos permitieron conocer las iniciativas individuales y colectivas en las localidades rurales intervenidas facilitando la formación de asociaciones, las cuales dieron origen a través de la gestión de proyectos puntuales, las empresas rurales.

Existen numerosos antecedentes de participación gubernamental con el fin de consolidar programas para el desarrollo integral en comunidades rurales, sin embargo, no ha existido un diálogo y concertación de acciones permanente con la población beneficiaria, generando desinterés. Recientemente esta óptica ha venido cambiando, debido a los fracasos anteriores, de tal forma que, se ha establecido como premisa fundamental, que para que el desarrollo comunitario en áreas rurales tenga un impacto sostenible, se debe partir de que éste debe ser definido **en** y **con** las comunidades, a través de la participación de los actores locales que incluya a la autoridad tradicional, comunidad (jóvenes, adultos en correspondencia a género) y gobierno, de tal forma que se tomen las decisiones **desde abajo o de forma ascendente**, (Del Rey Poveda, 2002; Durston, 1998) considerando la inclusión de los jóvenes rurales para reactivar o en su caso iniciar un esquema de apoyo al progreso intergeneracional, mediante la combinación de efectos de corto y largo plazo de los mecanismos para el combate a la pobreza, que favorezcan la movilidad social de los individuos en la escala social (Cadena-Iñiguez *et al*., 2010). La Figura 3, muestra el proceso de acercamiento y sensibilización hacia los actores que facilitó el proceso de empoderamiento y toma de decisiones hacia iniciativas con mayor coincidencia de intereses (Figura 4) y formar la asociación empresarial con objetivos tales como, la reorientación de una parcela ejidal de 0.5 ha, cultivada con maíz-calabaza, y avena en invierno, hacia producción intensiva de siete variedades de rosa que agrupa como sociedad de producción rural a 24 familias, con ingresos anuales superiores a $1,120,000 (Figura 5) .

Figura 3. Foros participativos para acercamiento, sensibilización y concertación con autoridades locales y jóvenes.

Figura 4. Iniciativas aglutinantes por mayor coincidencia de intereses entre actores.

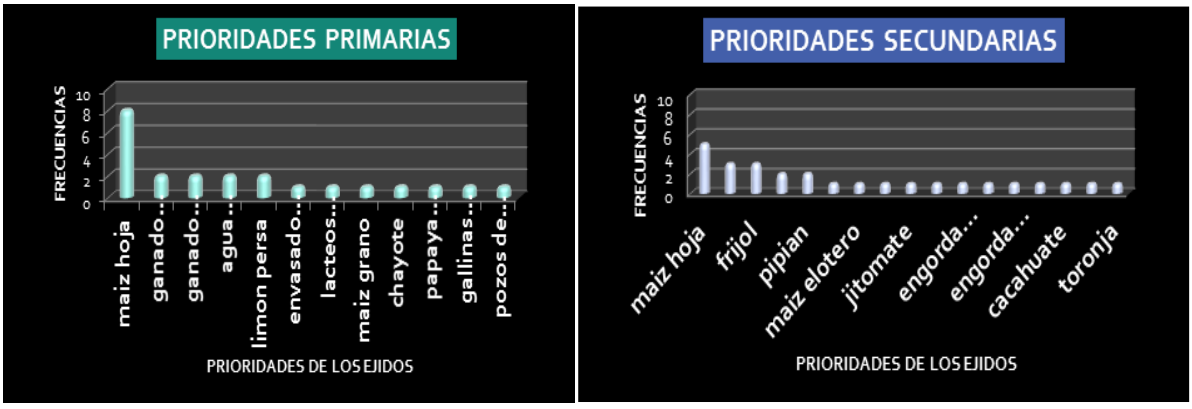


Figura 5. Asociación empresarial de 24 familias con reorientación de sus medios de producción

La acción-participativa

A través de la acción participativa con enfoque transdisciplinario, se formaron grupos de Gestores Locales mediante diplomados (70% práctico 30% teórico) capacitando la población rural joven con educación media y superior, con el fin de detectar necesidades de desarrollo local y formular los proyectos necesarios una vez que la red de investigación se retirara. Lo anterior permitió formar un Programa de Innovación Rural en los ejidos considerados como un territorio, vinculado a recursos y prioridades locales, a través de la gestión oportuna con alianzas territoriales, recursos técnicos y financieros que integren y promuevan la asociación de la población rural joven a nuevos proyectos (Durston & Espíndola, 2010). Dentro del principal producto, fue la formación y orientación disciplinada de asociaciones rurales, para facilitar la focalización de recursos públicos con mayor seguridad de recuperación crediticia y permanencia de sus impactos locales, como lo indican la Figura 6, que aglutinó a 1256 ejidatarios agrupados para producción de Litchi; o bien, la transformación de recursos locales en productos no tradicionales de exportación de alto impacto como la explotación de 38 ha^{-1}, que generan 5168 t ha^{-1} al año, divisas y cerca de 27,768 empleos locales (jornales) (Figura 7), y otros, tales como, hoja de plátano, yuca, hoja de maíz para exportación e intercambio de lecciones aprendidas entre productores (Figura 8).

Figura 6. La red de investigación acompaña en la acción autogestora para la obtención de financiamiento público y privado.

Figura 7. Transformación de recursos locales en productos no tradicionales de exportación.

Figura 8. Intercambio de lecciones aprendidas entre productores, y revaloración de recursos locales para nuevas redes de valor: hoja de plátano, maíz y raíz de yuca para exportación.

Productos técnico-científicos

Además de las empresas rurales, se obtuvieron como resultado de la investigación-intervención, artículos, libros, manuales, participaciones en congresos, desarrollos tecnológicos, trípticos, impartición de diplomados, formación de talentos humanos en el tema de EyCA, acciones de rescate, caracterización y registro de variedades vegetales, a las cuales se les realizaron estudios de bioprospección que a la postre generaron patentes. En el tema de equipamiento, se realizaron diseños de líneas para empaque postcosecha (Tabla 1). Un elemento de éxito para el trabajo, fue la alianza con autoridades comunitarias (Comisarios Ejidales), su acercamiento y sensibilización al método de intervención, y la inclusión de las instituciones de educación media y superior del territorio en el proceso de inducción de innovaciones. Las iniciativas identificadas en los foros participativos se agruparonn por sectores agrícola, pecuario, pesca, equipamiento para la producción, infraestructura, comercio, talleres, infraestructura social, y educación entre otros principales. Un resultado relevante para la productividad institucional y personal de los participantes de la red de investigación, fue la formación de nuevos grupos de trabajo (ETI), nuevos enfoques de investigación y consolidación a través de interactuar bajo un mismo objeto social de estudio con un mismo enfoque metodológico (Bercovitz & Feldman, 2011). La Figura 9, muestra la geometría de interacción para publicación de artículos científicos a partir de las actividades de investigación y liderazgo de la red académica, así como, la consolidación horizontal como red de investigación transdisciplinaria (Figura 10) en el mediano plazo 3 año, y su interacción final al término del PII (Figura 11) bajo el esquema de enfoque sistémico en ejidos y comunidades rurales de México.

Tabla 1. Productos científicos, tecnológicos y sociales obtenidos por la red de investigación

PRODUCTO	PROYECTADO	OBTENIDO	PRODUCTO	PROYECTADO	OBTENIDO
Libros/manual	9	29	Rescate de RFAA (colección de campo)	1	2
Artículos	14	37	Proyectos exitosos	5	17
Congresos	6	68	Asociaciones rurales formadas	5	47
Reporte técnico	1	7	Evento transdisciplinario	5	6
Trípticos	3	6	empleo local rural generado (jornales)	0	697,151.4
Proyectos científicos	4	7	Videos	1	3
Convenios	2	4	Patentes	1	2
Estancias	11	11	Diseños y equipos (IMPI)	1	1
Tesis	12	15	Estándar norma institucional	1	1
Estudiantes	12	20	Registro de marca	1	3
Diplomados	2	4	Proyectos tecnológicos gestionados	5	49
Resumen congreso	6	14	Patentes vegetales	3	15

Figura 9. Geometría de interacción inicial a partir de actividades de investigación y liderazgo.

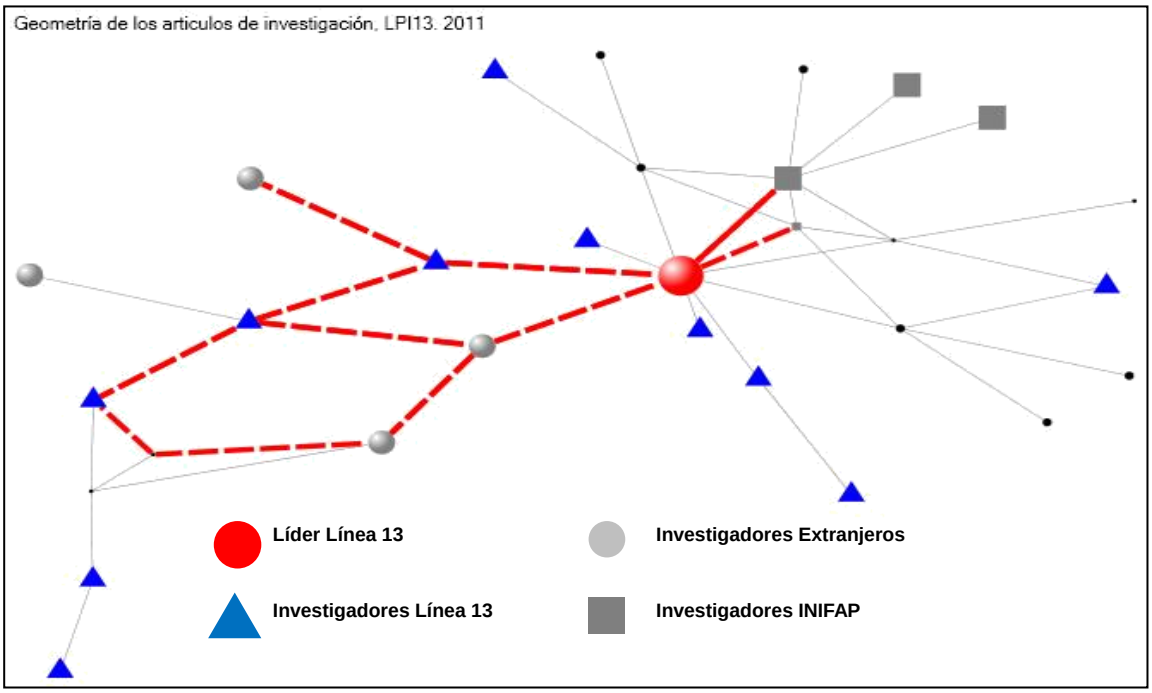


Figura 10. Consolidación horizontal de mediano plazo, como red de investigación transdisciplinaria.

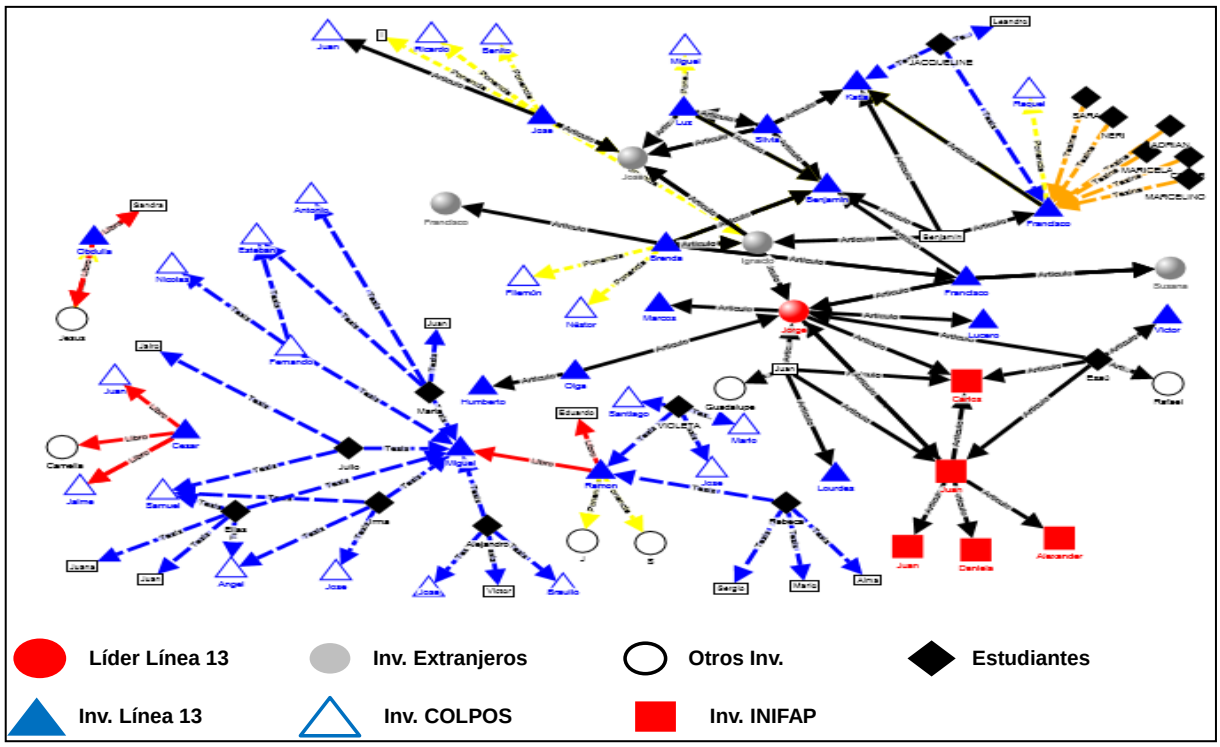
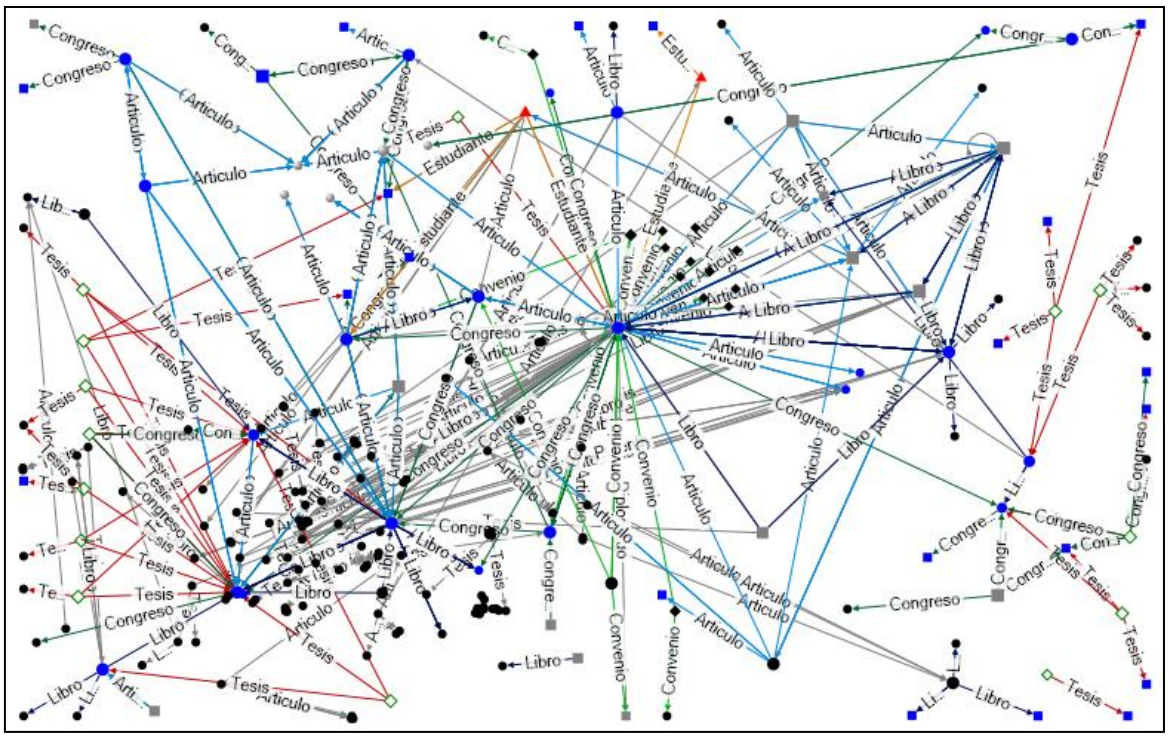


Figura 11. Consolidación final de la red de investigación transdisciplinaria bajo el esquema de enfoque sistémico en ejidos y comunidades rurales de México.



5. Conclusiones

El trabajo en red, forma y consolida grupos de investigación transdisciplinaria que facilita desarrollar estrategias para abordar con enfoque sistémico un objeto social de estudio. Mediante el acercamiento, sensibilización y empoderamiento de los actores rurales, se facilita el consenso de iniciativas de desarrollo. A través de resultados de investigación se facilita la elaboración de propuestas tecnológicas y asociativas para inducir innovaciones. La investigación en red transdisciplinaria permite que los mecanismos de trasferencia del conocimiento desde el ámbito público y académico hacia la estructura productiva, sean eficientes y sus resultados más allá de los estrictamente científicos, generen soluciones a problemas del mundo real, tales como, creación, financiamiento y consolidación de empresas sociales con impacto en indicadores de políticas públicas, como empleos, ingresos, exportaciones y profesionalización de actores entre otros principales.

Los resultados de esta caracterización permitirán sugerir el diseño, reorientación, diversificación y focalización desde el ámbito institucional las políticas públicas de intervención, que promuevan el desarrollo rural con enfoque territorial de los núcleos agrarios del país, tales como, el enfoque territorial; ascendente; formación de organizaciones locales; innovación; financiamiento público-privado, gestión de apoyos, enfoque integrado, sistémico y redes de cooperación, como lo sugieren, De los Ríos *et al*. (2011).

Dentro de los aspectos temáticos de las actividades de investigación desarrolladas por los ETIs, se generó una agricultura innovadora de especialidad y proximidad, para la diversificación productiva, considerando la educación técnica como actor relevante para el desarrollo socioeconómico y cultural de la comunidad (Profesionalización) (UNDAF, 2007), con acciones incluyentes hacia los jóvenes para favorecer relevo intergeneracional.

La formación de redes de investigación (Luukkonena & Nedevab, 2010), puede mejorar las economías locales, mediante la aplicación de modelos de desarrollo rural, renovar la economía rural, apostando a la asociación local, concertación, movilización y organización autogestora. Colabora eficientemente en la vinculación academia-usuario, forma empresariado colectivo, y puede contribuir a la radicación de los jóvenes en sus localidades en el mediano plazo en función de la consolidación de las nuevas empresas.

Referencias

Bercovitz, J. & Feldman M. (2011). The mechanisms of collaboration in inventive teams: Composition, social networks, and geography. Research Policy 40 (2011) 81–93

Cadena-Iñiguez, J., & Cruz-Alcalá, A., & Zarate-Valdés, J.L., & Martínez-Becerra, A., & Figueroa-Rodríguez, O.L., & Sánchez-Velázquez, P. (2010). Formación de gestores locales como estrategia para favorecer el relevo intergeneracional en ejidos. Agroproductividad Volumen 3, 6-14

De los Ríos-Carmenado, I., & Díaz–Puente, J.M., & Cadena-Iñiguez, J. (2011). La iniciativa leader como modelo de desarrollo rural: aplicación a algunos territorios de México. Agrociencia 45: 609-624. 2011.

Del Rey-Poveda, L.A. (2002). El nuevo marco de relaciones intergeneracionales en las familias ejidales: migración y herencia en el sur de Veracruz. Procuraduría Agraria. *Estudios Agrarios*, 151-193

Durston J. (1998). Juventud y Desarrollo Rural, marco conceptual y contextual. Naciones Unidas: Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Série Políticas Sociales,* (28) 1-41

Durston, J., & Espíndola, D. (2010). Tierras para la Juventud Rural, Lecciones de cuatro experiencias en América Latina. Lecciones aprendidas y recomendaciones, Fidamérica fase IV 29 p. http://www.fidamerica.org

Green, G.P. & A. Haines. (2008). Asset Building & Community Development, USA: Sage Publications.

INEGI. (2001). XII Censo General de Población y Vivienda, México, 2000. Aguascalientes, México. (Consulta vía Internet) www.inegi.gob.mx

INEGI. (2007). http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/agro/default.aspx

Luukkonena, T. & Nedevab, M. (2010). Research Towards understanding integration in research and research policy. Policy 39 (2010) 674–686

McClennghan, P. (2000). Social capital: exploring the theoretical foundations of community development education, British Educational Research Journal, vol.26, no.5, 565-582.

Pérez-Martin, Del C. M. A. (2004). Las Tierras de Uso Común en Ejidos Certificados. The Commons in an Age of Global Transition: Challenges, Risks and Opportunities. The Tenth Conference of the International Association for the Study of Common Property, Oaxaca, Mexico, August 9-13.

Schejtman, A. & J. Berdegué. (2003). Desarrollo Territorial Rural. Taller de Desarrollo Rural del BID y RIMISP, Marzo del 2003. Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola y el Fondo de Desarrollo Sostenible del Banco Interamericano de Desarrollo. Milán Italia. 63 p.

Snedecor, W.G. & Cochran, G.W. (1967). Métodos Estadísticos. Décima impresión, 1984. CECSA. México, D.F. pp. 625-630.

UNDAF. (2007). Marco de Cooperación de las Naciones Unidas para el Desarrollo 2008-2012.

06-017

SOCIOECONOMIC CHARACTERISTICS AND PRODUCTION OF RURAL COMMUNITIES IN VERACRUZ, MEXICO.

Aguirre Cadena, Juan Francisco [1]; Cadena Iñiguez, Jorge [1]; Ramírez Valverde, Benito [1]; Trejo Téllez, Brenda Inocencia [1]; Morals Flores, Francisco Javier [1]; de los Ríos Carmenado, Ignacio [2]; Díaz Puente, José María [2]

[1] Colegio de Postgraduados, [2] Universidad Politécnica de Madrid

The socio economic profile of people in 14 rural communities (Veracruz , Mexico) was characterized to identify their condition, local resources , management and identification of links of value through participatory forums to generate projects and induce innovations. The age range of the sample was 51 years, and only 44% of the total was between 15-49 years. The outgoing population of productive activities (56%) was higher compared with that can generationally relieve migration and aging communities is transforming its population dynamics and impact on family heads. The elementary school level is not associated for work and marketed through intermediaries and involved 30% gender; the main activity is to cultivate coffee they consider bad business. Was designed as innovation reorientation-revaluation of endogenous resources (ER) are not imported from another territory as cut flowers, foliage green extraction for food industry and banana leaf for export, generating new value networks and local employment decreased the risk of abandonment of the association. Technological innovations and application induced value added was not available to residents diversifying the economy and reducing migration.

Keywords: *"Endogenous resource"; "coffee"; "foliage"; "innovation".*

CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y PRODUCTIVA DE COMUNIDADES RURALES EN VERACRUZ, MÉXICO

Se caracterizó el perfil socioeconómico-productivo de habitantes de 14 comunidades rurales (Veracruz, México), para identificar su condición, recursos locales, manejo e identificación de eslabones de valor mediante foros participativos para generar proyectos e inducir innovaciones. El rango de edades de la muestra fue de 51 años, y solo 44% del total tuvo entre 15 a 49 años. La población saliente de las actividades productivas (56%) fue mayor en comparación con la que puede relevar generacionalmente La migración y envejecimiento en las comunidades está transformando su dinámica demográfica y repercute en los jefes familiares. El nivel escolar es elemental, no se asocian para el trabajo y comercializan a través de intermediarios y participa 30% de género; la actividad principal es cultivar café que consideran mal negocio. Se diseñó como innovación la reorientación-revalorización de recursos endógenos (RE) que no se importan de otro territorio, como flores de corte, follajes para extracción de color verde para industria alimentaria, y velillo de plátano para exportación, generando nuevas redes de valor y empleo local que disminuyó el riesgo de abandono de la asociación. La aplicación tecnológica indujo innovaciones y valor agregado que no estaba al alcance de los habitantes diversificando la economía y reduciendo migración.

Palabras clave: *"Recurso endógeno"; "café cereza"; "follajes"; "innovación"*

Correspondencia: Jorge Cadena Iñiguez jocadena@gmail.com

Agradecimientos: LÍNEA PRIORITARIA DE INVESTIGACION 13: COMUNIDADES RURALES AGRARIAS, EJIDOS Y CONOCIMIENTO LOCAL DEL COLEGIO DE POSTGRADUADOS, MÉXICO.

1. Introducción

La producción de café (*Coffea arabica* L.), junto con el maíz (*Zea mays* L.) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), son cultivos muy importantes en el estado de Veracruz, México, sin embargo, la oscilación del precio internacional del primero se ha reflejado en la pérdida significativa del poder adquisitivo de pequeños productores, y ha propiciado el abandono parcial o total de muchas áreas de producción, promoviendo flujos de emigración y cambio de actividad. Lo anterior no parece ser suficiente para mantener el nivel de vida de los actores rurales, sobre todo los ubicados en el minifundio ejidal en condiciones de pobreza moderada y extrema (INEGI, 2010; SEFIPLAN, 2011). Estudios sociales del sector rural presentan tendencias de procesos de modernización y reestructuración social, y abordan cambios en diferentes niveles de la ruralidad (Bendini, 2006), sin embargo, el caso del pequeño productor, bajo el contexto del capitalismo subdesarrollado, resulta ser una de las formas con más sobrepoblación en el campo. La subsistencia de la familia campesina no depende solamente de lo que ella sea capaz de producir, no puede limitarse a la reposición de los bienes consumidos y está obligado a mejorar su productividad para mantenerse (Figueroa, 2005); en otras palabras, su subsistencia o permanencia productiva exige la generación de excedentes, amén de mantener la identidad histórica, en sus formas de organización y cultura distintiva (Cadena-Iñiguez, Figueroa-Sandoval & Avendaño-Arrazate, 2008). Existen numerosos antecedentes de participación gubernamental con el fin de consolidar programas para el desarrollo integral en comunidades rurales, sin embargo, no ha existido un diálogo y concertación de acciones permanentes con la población beneficiaria, generando desinterés (De los Ríos-Carmenado, Díaz-Puente y Cadena-Iñiguez, 2011; Cazorla, De los Ríos y Díaz-Puente, 2005; Cadena-Iñiguez, Cruz-Alcalá, Zárate-Valdéz, Martínez-Becerra y Figueroa-Rodríguez, 2010). Según Fetterman (2005), Cadena-Iñiguez *et al.* (2008) y Cadena-Iñiguez *et al.* (2010) es posible a través del empoderamiento de los actores, lograr la definición de iniciativas individuales y colectivas de desarrollo local, y facilitar la toma de decisiones con base en el interés conciliado de los participantes, que permita posteriormente su gestión financiera. Un dato relevante es que en Amatlán de los Reyes, Veracruz, los terrenos que ocupan las parcelas dedicadas al cafeto se encuentran entre 300 y 1000 m de altitud; y de acuerdo a la clasificación que se hace de tierras agrícolas dedicadas al café (Scartt, 1997), se encuentran en zona baja, calificadas como marginales o fuera del entorno más adecuado para su producción y no se logran niveles rentables, lo cual aunado a la volatilidad de precios del café, se generan problemas económicos a las familias.

2. Objetivos

Con base en lo anterior, se consideró relevante y oportuno, caracterizar la situación socioeconómica, productiva y recursos locales de una muestra de núcleos agrarios de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, con el fin de actualizar la información y generar nuevas propuestas de intervención social, considerando como hipótesis que el conocimiento tradicional que los actores rurales tienen acerca de sus recursos, les puede permitir mejorar su economía formando nuevas redes de valor.

3. Metodología

Se intervinieron socialmente 14 núcleos agrarios del municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz México, ubicados en 18° 51´00´´ N, y 96° 54´53´´ O y 740 m de altitud. La actividad

principal es la agricultura en la que predomina el cafeto, con excepción de una zona comprendida del centro al sureste del territorio que presenta selva mediana subperennifolia y vegetación secundaria, que cultiva caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), maíz (*Zea mays*) y actividad ganadera en baja escala (INEGI, 2010). El criterio de selección de núcleos fue con base en el régimen de propiedad social (ejido) y tener a la agricultura como actividad principal (Tabla 1).

Tabla 1. Comunidades rurales y actividad económica principal de la muestra de núcleos agrarios caracterizada en Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

Comunidad	Comunidad	Actividad económica
Amatlán cabecera	Atoyaquillo	Café cereza
Trapiche viejo	Fraternidad	Café cereza
Cruz de los Naranjos	San José de Gracia	Café cereza
Rio Seco	Torresillos	Café cereza
Cacahuatal	Ejido ojo de agua grande	Café cereza
Manuel León	Ejido ojo de agua chico	Café cereza
Miguel Hidalgo	Cañada Blanca	Café cereza

Fuente: Elaboración propia

El método de intervención social (MIS) hacia las comunidades fue a través de un proceso de acercamiento, sensibilización, levantamiento de información primaria y foros participativos en diferentes comunidades. Los núcleos agrarios seleccionados en la muestra se caracterizaron por las variables enunciadas en la Tabla 2. Además de lo anterior, a través de una encuesta tipo informativa, estructurada con 547 variables de tipo X (cuantitativas), y 1130 variables del tipo Y (cualitativas) considerando características del informante, tales como, sexo, edad, estudios, estado civil, grado máximo de estudios, e ingreso económico por familia que no es obtenido por la actividad agrícola. Un segundo tipo de variable consideró el sistema de producción general, superficie total, hectáreas en posesión, tipo(s) de cultivo(s), actividades productivas agropecuarias e insumos utilizados; así como, características de los cultivos principales, los cuales con base en referencias obtenidas en los foros participativos realizados en cada comunidad, fueron: café (*Coffea arabica*), plátano para velillo (*Musa paradisiaca*), flores tropicales (*Heliconia* spp.; *Zingiber* spp.) y follajes (*Dracaena* spp.; *Chamaedorea elegans*; *Chamaedorea tepejilote*) principalmente. Para cada cultivo se pregunto acerca de variantes biológicas, asociación de cultivos, actividades realizadas, insumos, sistema de producción, presencia y control de enfermedades, insectos, tipos de herramienta, jornales contratados, empaque, asesoría técnica, apoyos a la producción, infraestructura, comercialización, organización, saberes locales, trabajo extra finca y pobreza. Las preguntas de la encuesta se codificaron de tal forma que las respuestas pudieran ser capturadas en una hoja de cálculo en el programa Excel y realizar el análisis estadístico.se consideró la proporción de género, edad, actividad(es), escolaridad, participación en programas de apoyo gubernamental, recursos locales, superficie cultivada, tipo de cultivo, tipo de asociación actual, así como, la percepción del estado de pobreza del actor rural participante. El tamaño de muestra se estimó a partir de Snedecor y Cochran (1967) y Rojas (1979) Dónde: Z= Nivel de Confianza, d= Nivel de precisión, pn= Proporción de la población que pertenecen al grupo de interés, q= (1-pn), N= Tamaño de la Población, n= Tamaño de la Muestra, la cual fue de n= 239 actores. Las respuestas de los foros se analizaron mediante el uso de tablas dinámicas y gráficas.

Tabla 2. Variables y características abordadas en los foros participativos comunitarios

Variable	Descripción
Problemática	Breve descripción de las condiciones socioeconómicas, políticas, productivas, históricas, culturales y ambientales.
Recurso disponible	Identificación de los recursos con que cuentan los núcleos agrarios involucrados en el estudio y definir su potencial.
Estatus del recurso	Las condiciones en que se encuentran los recursos: conflicto, abandono, tecnificación deficiente, organización, gestión, patrones productivos inadecuados o en disposición de emprendimiento.
Prioridades	Iniciativas de desarrollo que la comunidad ha elegido como prioritarias, a través de jerarquizar sus problemas y oportunidades conciliando intereses y potencialidad de los recursos seleccionados.
Acciones	Implementación de alternativas que promuevan el desarrollo de los núcleos agrarios en estudio.

4. Resultados y discusión

La mayor superficie agrícola está sembrada con café (*Coffea arabica*) seguido de follajes (*Chamaedorea* spp., *Dracaena* spp.) y flores (*Heliconia* spp., *Zingiber* spp. *Anthurium* spp., *Etlingera elatior*). Aun cuando existe plátano (*Musa* spp.) como sombra del cafeto, su presencia disminuyó por reducción de sombra, y a decir de los actores rurales, el plátano morado (*Musa acuminata*) fue el cultivado mayormente (Tabla 3).

El sistema de producción de esta región tiene la característica de la diversificación de especies, y este esquema podría estar influenciado por las fluctuaciones de los precios del café, además de que la región es considerada como zona marginal para producir café de altura. Lo anterior es probable que influyera en los productores para el desarrollo de nuevas opciones para ingresos económicos. Las alteraciones socioeconómicas e incluso culturales ocurridas en zonas cafetaleras, como consecuencia de las crisis de precios, han motivado reacciones distintas en los actores vinculados de forma directa o indirecta con café cereza, de tal forma que el productor ha relegado al cultivo y su manejo, como producto de recolección sin atención agronómica, teniendo como consecuencia la disminución en la productividad y calidad del producto. Un rasgo importante es que los actores rurales de la muestra establecieron la asociación de especies con el café para incrementar la cantidad y frecuencia de ingresos económicos, rompiendo con ello la estacionalidad que ofrece el cultivo principal, ya que la mayor frecuencia de respuestas de los actores vinculados con el cultivo de café estuvo enmarcada en el aspecto de comercialización, además de que para ellos es importante un incremento del precio y disponer de créditos para la cosecha, aunque en general, consideran al café como actividad poco rentable (Tabla 4).

Tabla 3. Principales recursos locales que sustentan las actividades económicas en 14 núcleos agrarios de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

Tipo de café	Nombre	ha^{-1}	Café asociado	ha^{-1}
Criollo	*Coffea arabica*	15.00	Frutales	2.50
Robusta	*Coffea canephora*	8.15	Anturio	2.00
Maya oro	*Coffea arabica*	21.00	Palma Camedor	1.05
Otro		11.50	Otro	4.70
Subtotal		55.65	Subtotal	9.80
Tipo de follaje			Follaje asociado	
Palma Camedor	*Chamaedorea elegans*	18.65	Café	12.50
Palma Tepejilote	*Chamaedorea tepejilote*	13.25	Flores	5.00
Maiceras	*Dracaena spp.*	0.25	Palma Camedor	0.45
Otros		0.70	Otros	37.70
Subtotal		32.85	Subtotal	55.65
Tipo de flor			Flores asociadas	
Heliconias	*Heliconias spp.*	8.10	Café	3.50
Maracas	*Zingiber spp.*	7.20	Palma Camedor	0.05
Hawaianas	*Alpinia spp.*	4.50	Otro	2.00
Bastones	*Etlingera elatior*	2.00		
Otros		2.10		
Subtotal		23.40	Subtotal	5.55
Tipo de plátano			Velillo asociado	
Plátano morado	*Musa acuminata*	0.20	Palma Camedor	0.10
Plátano dominico	*Musa cavendishii*	0.10		
Subtotal		0.30	Subtotal	0.10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Opinión de los actores vinculados con el cultivo de café cereza en Amatlán de los Reyes, Veracruz, México (n=239).

Variable	Productor de café (%)	Variable	Productor de café (%)
Producir con calidad	9.80	Muy buen negocio	24.53
Combatir plagas	8.82	Buen negocio	3.77
Comercializar bien	20.59	Regular	13.21
Créditos para cosecha	15.69	Mal negocio	54.72
Organizarse	10.78	Muy mal negocio	3.77
Incrementar el precio	17.65		
Otros	16.67		
Total	100.0		100.0

Fuente: Elaboración propia

Este aspecto puede estar relacionado con algunas consideraciones de los programas sociales y políticas gubernamentales como lo señalan Marcos-Martínez & Fernández-Sánchez (2007), tales como, falta de atención a las características estructurales de la crisis del sector,

fomentar el consumo interno del café y ofrecer opciones de reconversión de la producción. A este respecto, no se tiene registro de acciones que fomenten la diversificación de áreas minifundistas y/o marginales dedicadas al café, y en consecuencia, los productores utilizan sus recursos locales con los cuales han convivido y poseen conocimiento tradicional acerca de sus usos. La explotación actual de flores, follajes y plátanos en forma asociada en primera instancia, y como monocultivo en los últimos tiempos, sugiere la revalorización para mejorar los ingresos económicos sin realizar grandes inversiones financieras. La trasmisión del conocimiento de padres a hijos ha sido el método tradicional más utilizado para el desarrollo de la actividad de los follajes y flores. En general, la obtención de la semilla es en la comunidad, con la posible limitante de que sea la misma fuente genética del recurso, y con el tiempo pueda generar limitantes sanitarias o competencia por la venta del mismo producto (Tabla 5).

Tabla 5. Obtención del conocimiento y origen de semilla de follajes para iniciar el cultivo como alternativa o asociado al café cereza (n=239).

Quien le enseño a cultivar follajes	Productores (%)	Donde obtiene semilla para su cultivo	Productores (%)
Abuelos-padres	10.5	Productor de la comunidad	64.71
Padres-hijos	36.8	Misma parcela	11.76
Técnico	5.30	Proveedores otro estado	11.76
Otro	47.4	Otros	11.76
Total	100.0	Total	100.0

Fuente: Elaboración propia

El uso del recurso económico por los actores rurales es para la alimentación y mantenimiento de la familia, y respecto a esquemas asociativos la población que lo está, es mínima (Tabla 6). Es probable que al estar Asociados pudieran disminuir los impactos de la crisis, consolidando volumen o creando mayores oportunidades, sin embargo, lo anterior no fue reflejado, además de que a decir de los mismos actores, se consideran en estado de pobreza y por ello participan en programas asistenciales como el de "*Oportunidades*", y destinan de éste 25% al pago de deudas, 25% ropa y necesidades, 39% alimentación, 7% mejoramiento de vivienda y 4% a otros. Respecto a la organización u asociación, únicamente seis actores participan en una cooperativa. Los productos como flores y follajes se comercializan mediante intermediarios externos (Tabla 6), lo cual evidencia la falta de organización entre productores.

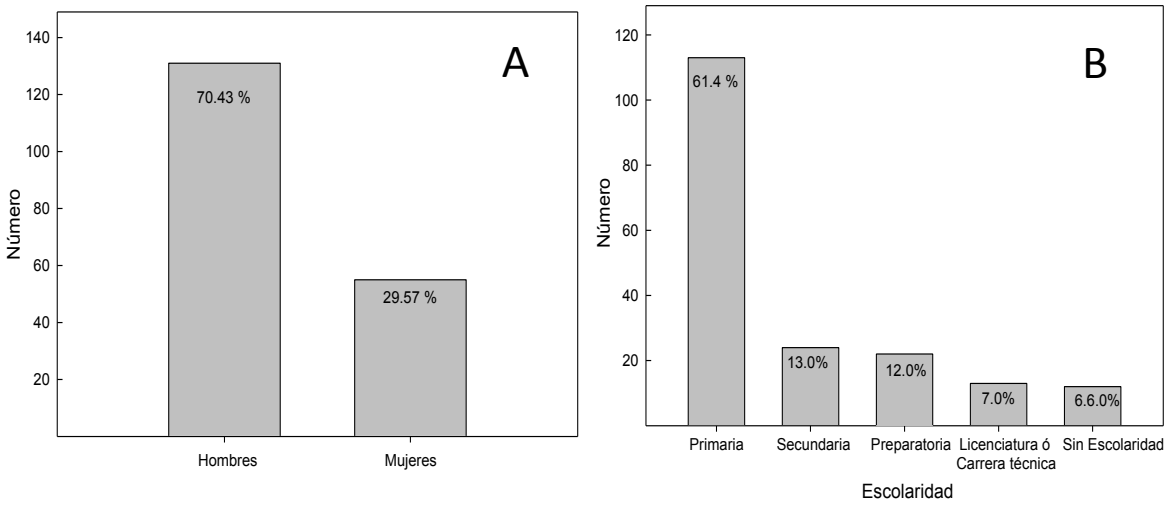
Tabla 6. Forma de comercialización de follajes y flores por los actores de la muestra de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México (n=239).

Comercialización	Número de productores Follajes	Flores
En la comunidad [1]	47	48
Acopiador interno [2]	24	47
Acopiador externo [3]	48	73
Intermediario [4]	120	71
Total	239	239

Fuente: Elaboración propia. **[1]**: Lo vende a un vecino que a su vez lo lleva al mercado de Córdoba, Veracruz; **[2]**: Lo vende a un vecino que actúa como acopiador de un intermediario; **[3]**: Es una persona de otro municipio o estado (La Perla, Orizaba, Veracruz o estado de Puebla); [4]: Vecino de otra comunidad o ejido de Amatlán de los Reyes, Veracruz que lo revende

La participación de género en la toma de decisiones de las iniciativas económicas es muy baja con una relación de 70:30 (Figura 2 A), y referente a la escolaridad, el perfil registrado (Figura 2 B), indicó que 61% de los actores tiene estudios de primaria (la mayoría cursó tres años de seis obligatorios), y 25% sumando secundaria y preparatoria, lo cual indica bajo porcentaje de jóvenes capacitados para empleos diferentes al rural.

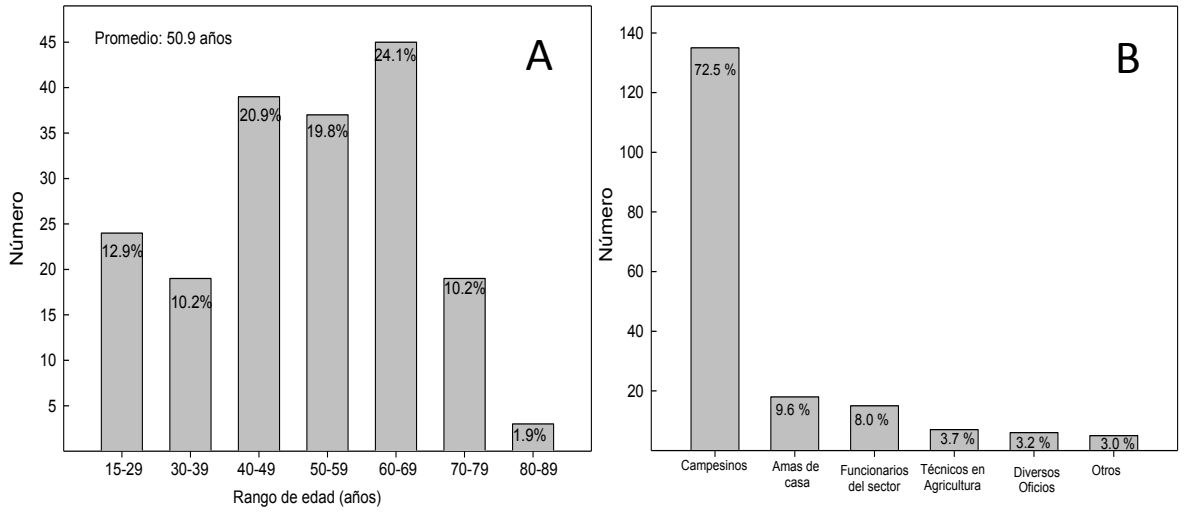
Figura 2. Proporción de género y perfil de escolaridad de actores rurales de 14 núcleos agrarios de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.



La UNESCO (2013) recomienda que para alcanzar la Igualdad de género es necesario un doble enfoque que involucre el desarrollo de capacidades y la elaboración de programas centrados en el empoderamiento social, político y económico de mujeres y hombres, y los bajos niveles de educación disminuyen la posibilidad de superación de limitantes. A este respecto, la Organización de Estados Iberoamericanos (2008) citado por UNESCO (2013), menciona a la educación como factor clave en el desarrollo humano y superación de la pobreza. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2006) completar al menos 12 años de escolaridad (primaria y secundaria) en la mayor parte de los países de la región, constituye el capital educativo mínimo para alcanzar el bienestar y asociarlo a una probabilidad mayor al 80% de conseguir un empleo con un mejor ingreso.

La educación secundaria también es clave para acceder a la enseñanza terciaria que asegura las oportunidades laborales, y aumenta la probabilidad de permanecer por encima de la línea de la pobreza. Un indicador importante del progreso en un país es el nivel educativo de su población, y de acuerdo a la UNESCO (2013) el mayor nivel alcanzado se presenta en la población de 25 años de edad en países de América y el Caribe. A este respecto, el rango de edades de actores de la muestra caracterizada fue cercana a 51 años, y solo 44% del total se ubicó entre 15 y 49 años (Figura 3 A). La población de salida (56%) de las actividades productivas es mayor en comparación con las que hace el relevo. La mayoría de los actores son campesinos (Figura 3 B), y es semejante a la cantidad de actores que cursaron únicamente educación primaria. La UNESCO (2013), señala que la migración y el envejecimiento de la población están transformando la dinámica demográfica en todas las regiones y tienen repercusiones en el desempleo de los jóvenes y el número de familiares a cargo. De acuerdo a UNDAF (2007) la población rural de México enfrenta un envejecimiento demográfico cada vez más evidente.

Figura 3: Rango de edades y actividad principal de actores rurales de la muestra de núcleos agrarios de Amatlán de los Reyes, Veracruz.



La salida de los jóvenes de estos sistemas de producción puede limitar su contribución hacia la adopción de innovaciones, sobre todo cuando tienen niveles de educación más altos que los de generaciones anteriores. Aun cuando existen organismos especializados con experiencia de trabajo con y para jóvenes rurales, son pocos los proyectos generales de desarrollo rural que toman en cuenta a jóvenes y sus aportes al desarrollo (Del Rey-Poveda, 2002). La población rural joven, continua ausente dentro del marco conceptual, estrategias y objetivos de proyectos, y más aún, si no están capacitados en el tema, es difícil proponer actividades estratégicas para incorporarlos en el desarrollo rural (Durston y Espíndola, 2010; Cadena-Iñiguez *et al*., 2010). Además de café cereza, otras especies han sido revalorizadas en las comunidades, tanto a nivel de traspatio, como en la reorientación al sistema productivo del café en la parcela (Tabla 7) de las cuales sobresalen las flores y follajes. La producción de follajes de diferentes especies requiere condiciones de "sol" (irradiación) y se realiza en áreas periféricas de las parcelas de café, bordes de caminos y en algunos casos, en sustitución de áreas marginales de caña de azúcar. La producción anual y valor estimado de un grupo de trabajo identificado, al momento de acopiar su volumen y realizar un solo evento de comercialización, se presenta en la Tabla 8, relacionada con la hoja maicera (*D. fragans*) que se comercializa en promedio a $120.00 el millar (US$10.00).

La frecuencia de corte de (*D. fragans*) se obtiene de cosechar cinco hojas "buenas" (primera calidad) cada dos meses por planta; con estos datos y conociendo el número de plantas del grupo que asciende a 38,700, se obtiene un total de 193,500 hojas bimestralmente, equivalentes a 193.5 millares. Esta cantidad de hojas genera un ingreso de $24000.00 cada dos meses. El recurso obtenido se distribuye en función del volumen aportado por cada miembro del grupo. Una de las ventajas de este recurso local es que en ocho tareas (4000 m^2) se establecen 10000 plantas de *D. fragans* y el rendimiento es muy superior al que se obtiene de café cereza en la misma superficie. En el caso de los follajes de palma camedor (*C. elegans*) y palma tepejiolte (*C. tepejilote*), la producción está asociada al cafeto y se cosecha cada cuatro meses. Se comercializan en atados denominados "gruesas" de 144 hojas a $17.00 cada una. Para el grupo de trabajo del ejido Cruz de los Naranjos, la asociación de follajes de camedor y tepejilote representa en cada corte $200,600.00, valor muy superior al ingreso obtenido por café cereza una vez al año en la misma superficie (Tabla 9).

Tabla 7. Recursos locales con uso actual y potencial identificados como importantes por los actores rurales de Amatlán de los Reyes, Veracruz.

Recurso local	Nombre común	Producto	En uso
Coffea arabica	Cafeto	Café cereza	Si
Chamaedorea elegans	Palma camedor	Follaje	Si
Chamaedorea tepejilote	Palma tepejilote	Follaje	Si
Musa acuminata	Plátano morado	Velillo (hoja)	Si
Musa cavendishii	Plátano dominico	Fruta	Si
Dracaena spp.	Maiceras	Follaje	Si
Bambusa spp.	Bambú	Poste	Si*
Rumohra adiantiformis	Helecho leather	Follaje	Si
Anthurium andreanum	Anturio	Flor en maceta	Si
Theobroma cacao	Cacao	Fruto	Si*
Averrhoa carambola	Carambolo	Fruto	Si*
Zingiber spectabile	*Maraca*	Flor	Si
Heliconia rostrata	*Heliconia*	Flor	Si
Heliconia stricta	*heliconia*	Flor	Si
Cordyline Australis	Listoncillo	Follaje	Si
Dracaena deremensis	Listoncillo	Follaje	Si
Cordyline terminalis	Listoncillo	Follaje	Si
Dracaena massangeana	Maicera	Follaje	Si
Dracaena fragans	Maicera	Follaje	Si
Strelitzia reginae	*Ave del paraíso*	Flor	Si
Alpinia purpurata	*hawaiana*	Flor	Si
Heliconia latispatha	*Heliconia*	Flor	Si
Macadamia integrifolia	Macadamia	Nuez	Si

*.- En condiciones de traspatio, Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Volumen de follaje de maicera (*Dracaena fragans*) y valor estimado al comercio de un grupo de trabajo de Amatlán de los Reyes, Veracruz.

Productor	Número de plantas	Volumen anual (hojas)	Valor anual (Pesos $)*
Joaquín	1000	30000	3600.00
Jaime	8000	240000	28800.00
José	1500	45000	5400.00
Araceli	5000	150000	18000.00
Dulce	2000	60000	7200.00
Flavio	10000	300000	36000.00
Gelasio	500	15000	1800.00
Alfredo	200	6000	720.00
Alberto	10000	300000	36000.00
Ángel	500	15000	1800.00
Total	38,700	1´161,000	139,320.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Producción de follaje de palma camedor (*Chamaedorea elegans*), palma tepejiolte (*Chamaedorea tepejilote*) y valor estimado en Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

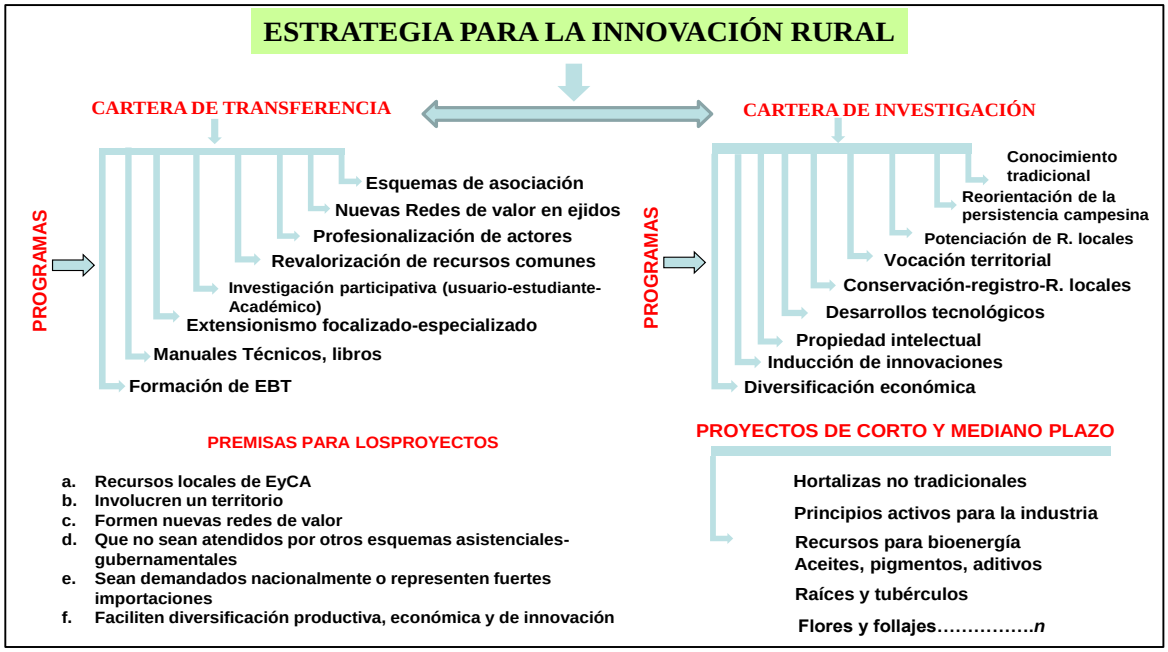
Productor	Camedor	Valor ($)*	Tepejilote	Valor ($)*
Pedro Román S.	600	10200.00	300	5100.00
María Eugenia S.	300	5100.00	150	2550.00
Fulgencio Luna S.	300	5100.00	200	3400.00
Norma A. Ventura	200	3400.00	200	3400.00
León Valencia R.	800	13600.00	200	3400.00
Leonor Soto L.	200	3400.00	200	3400.00
Samuel González	1000	17000.00	1000	17000.00
Luis Valencia S.	400	6800.00	400	6800.00
María E. Duran J.	100	1700.00	100	1700.00
Carlos Román S.	400	6800.00	600	10200.00
Dionisio López G.	250	4250.00	300	5100.00
Pablo Sánchez G.	800	13600.00	600	10200.00
Macario López S.	300	5100.00	-	-
Yolanda Sánchez M.	600	10200.00	-	-
María López S.	400	6800.00	-	-
Lorenzo Valencia S.	150	2250.00	150	2550.00
Jonathan López	300	5100.00	300	5100.00
Total	7100	120,700.00	4700	79,900.00

*.- Valor cada cuatro meses. Fuente: Elaboración propia

La discusión participativa de los resultados permitió obtener premisas respecto a que recurso priorizar para su revalorización (Figura 3) indicando las fases para lograrlo, tales como, crear las asociaciones, capacitación, gestión de proyectos, necesidades de equipo e infraestructura para dar valor agregado, etc. Con base en la experiencia obtenida y descrita en la Figura 3, se diseñó una ruta metodológica para replicarlo susceptible de replicar en otras comunidades considerando siempre los recursos locales, así como, su agrupación en carteras, programas y proyectos (Figura 4), tomado como base estratégica la inclusión de los jóvenes a través de capacitación en dirección de proyectos, identificando en los participantes, competencias, y transfiriendo otrasde tal forma que los eventos de intervención sean siempre disciplinados, con costos, plazos y productos entregables definidos (AEIPRO, 2009).

Figura 3. Acciones para revalorizar un recurso local para crear cadenas de valor

Figura 4. Estrategia para la innovación en comunidades rurales con enfoque de carteras, programas y proyectos.



5. Conclusiones

Los actores rurales de la muestra caracterizada, en su mayoría son personas que rebasan 50 años de edad, tienen bajo nivel escolar, no consideran importante asociarse con otros productores y el esquema de comercialización de sus productos lo hacen a través de figuras intermediarias. No se identificó un esquema de relevo generacional, la población joven (15-29 años) no supera el 15% y la relación de género es muy baja para la mujer. El 100% de actores de la muestra se considera en condición de pobreza, acude a programas asistenciales de gobierno, y el apoyo económico recibido lo destinan para compra de alimentos, pago de deudas y adquirir vestido. La actividad económica principal es el cultivo de café cereza, que ha sido sustituido en algunos casos, y asociado en otros con especies que representan ingresos económicos con mayor frecuencia que el café, el cual, más del 70% lo considera de negocio regular a muy mal negocio, atribuido a la crisis del precio internacional que impacta en inadecuada comercialización, como un precio bajo local y falta de créditos para la cosecha. Los actores usan diferentes recursos locales para generar ingresos económicos y saben de sus usos debido al conocimiento transmitido en forma oral de abuelos a padres y de éstos a los hijos. De los principales cultivos alternativos que han permitido la persistencia campesina son los follajes, flores y velillo de plátano. Existe un conocimiento sólido de muchos recursos locales que conviven en el ámbito parcelario dedicado históricamente al café cereza, que están siendo revalorizados y reorientados por los actores rurales y que pueden generar nuevas redes de valor, siempre que se fortalezcan los eslabones necesarios de la misma.

6. Bibliografía

AEIPRO. (2009). NCB. Bases parala competencia en dirección de proyectos versión 3.1.Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. Edit. UPVValencia España. P 31-35

Bendini, M. 2006. Modernización y persistencias en el campo latinoamericano. *Revista ALASRU.* Nueva Época No. 4 Universidad Autónoma Chapingo. México. 9 p.

Cadena-Iñiguez, J., & Figueroa-Sandoval, B., & Avendaño-Arrazate, C.H. (2007). Experiencias con microempresas que apoyan el desarrollo sustentable de los agroecosistemas: adaptación de Leader. En O. Ruiz R. (ed), Coloquio Nacional en Agroecosistemas: de la teoría a la acción, en el En el marco del IX Simposio Internacional, IV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible y XX Reunión Científica-Tecnologica Forestal y Agropecuaria Veracruz 2007. (ed.). pp (60-67). Boca del Río, Veracruz, México. Colegio de Postgraduados

Cadena-Iñiguez, J. (2008). Modelo de intervención social (MIS) en ejidos de Cunduacán, Tabasco. Documento presentado en: Coloquio Nacional Saberes locales y diálogo de saberes sobre Medio ambiente, Salud y Alimentación. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias UNAM Cuernavaca, Morelos, México.

Cadena-Iñiguez, J., & Cruz-Alcalá, A., & Zarate-Valdés, J.L., & Martínez-Becerra, A., & Figueroa-Rodríguez, O.L., % Sánchez-Velázquez, P. (2010). Formación de gestores locales como estrategia para favorecer el relevo generacional en ejidos. *Revista Agroproductividad*. (3)14-22.

Cadena-Iñiguez, J., & Martínez-Becerra, A., & López-Romero, G., & Trejo-Téllez, B.I., & Figueroa-Rodríguez, K.A., & Talavera-Magaña, D., & Hernández-Rosas, F. (2010). El proceso de investigación-vinculación (*I+V*) para la asociación empresarial en núcleos agrarios de México. *Revista Agroproductividad*. (3)23-30.

Cazorla, A.; & De los Ríos, I.; & Díaz-Puente, J. (2005). The Leader community initiative as rural development model: application in the capital region of Spain. *Scientific Journal Agrociencia*, vol. 39, núm. 6 , 697-708.

CEPAL. (2006). *Panorama social de América latina. División de desarrollo social y división de estadística y proyecciones económicas de la CEPAL*. Naciones Unidas. ISSN impreso: 1020–5152/ ISSN Santiago de Chile. 430 p.

CONAPO. (2008) *Situación demográfica de México*. Recuperado el 12 de mayo de año 2013 de http://www. Conapo.gob.mx.

De los Ríos-Carmenado, I., & Díaz-Puente, J.M., & Cadena-Iñiguez, J. (2011). La iniciativa leader como modelo de desarrollo rural: Aplicación a algunos territorios de México, *Revista Agrociencia*, (6) 609-624.

Del Rey-Poveda L.A. (2002). El Nuevo marco de relaciones intergeneracionales en las familias ejidales: migración y herencia en el sur de Veracruz. *Estudios agrarios:revista de la Procuraduría Agraria*, (28)151-193.

Durston J. & Espíndola, D. (2010). Tierras para La juventud rural, lecciones de cuatro experiencias en américa latina. *Lecciones Aprendidas y Recomendaciones*, Fidamérica Fase IV en Veracruz, México. 29 p.

Fetterman D. 2005. Empowerment and ethnographic evaluation: Hewlett-Packard's $15 million digital divide project (a case example). NAPA Bulletin Stanford University 24 p.

Figueroa, V.M. (2005). América Latina: descomposición y persistencia de lo campesino. Problemas del Desarrollo; Revista Latinoamericana de Economía. Vol. 36, Núm. 142, 27-50

INEGI. (2010). Censo general de población y vivienda, México. Aguascalientes, México. www.inegi.gob.mx

Marcos-Martínez, R. & Fernández-Sánchez, M. (2007). Alternativas para el componente de cafeticultura en las fincas diversificadas del proyecto. Evolución de precios en el mercado internacional del café (septiembre 1972 a Mayo 2007) 3 p.

Rojas S.R. (1979). Guía para realizar investigaciones sociales. Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. Universidad Autónoma de México. México, D.F. 271 p.

Scartt. (1997). Problemática en la producción de café de la Cooperativa Tosepan Titataniske. La producción de café. *Revista Vinculando*. Recuperado el 10 junio del año 2013 de http://vinculando.org/documentos/cuetzalan/proyectos_tosepan.html.

SEFIPLAN (2011). Sistema de Información Municipal Cuadernillos Municipales 2013. Subsecretaria de Planeación. Secretaría de Finanzas y Planeación del Estado de Veracruz. SEFIPLAN. Gobierno del Estado de Veracruz, Méx. 10 p.

Snedecor W.G. & Cochran G.W. (1967). *Métodos Estadísticos*. Décima impresión, 1984. CECSA. México, D.F. pp. 625-630.

UNDAF-México 2008-2012. (2007). Marco de Cooperación de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Documento de trabajo Cd. De México el 8 de junio del 2007. 117 p.

UNESCO. (2013). Proyecto de estrategia a plazo medio, mediano y largo plazo 37C/ 2014-2021. 7, Place de Fontenoy, 75352 PARÍS 07 SP. Impreso in Francia. 56 p.

06-018

PRELIMINARY STUDY ON THE LOCALIZED IRRIGATION PROJECT FOR THE "COMUNIDAD GENERAL DE REGANTES Y USUARIOS DE CALLOSA D'EN SARRIÀ"

Torregrosa Soler, Juan Bautista; Ferrer Gisbert, Pablo S.; Redón Santafé, Miguel; Sánchez Romero, Francisco Javier; Ferrer Gisbert, Andrés; Perez Sánchez, , Modesto; Ferrer Gisbert, Carlos M.; Ferrán Gozálvez, José Javier

Universitat Politècnica de València

The "Comunidad General de Regantes y Usuarios de Callosa d'En Sarrià (CGRIU) supplies an area of about 1,850 hectares irrigation grouped in different communities and irrigation entities. A community that also includes the City of said municipality in the province of Alicante (Spain), sharing resources and water infrastructure. The main crop is the medlar although there are also citrus and avocado recent implementation. Currently, about 1,200 hectares are in spate irrigation and the rest in drip irrigation. Existing facilities are quite obsolete leading to a malfunction in a massive loss and breakage. Moreover, one of the guarantees of drinking water in the region of "La Marina Baja" constitute some wells of that community, so that the solution of the problem of irrigation has to be seen in the broader context of management and release of water resources. The purpose of this paper is to summarize broadly and in a first approximation, works and facilities necessary for the implementation of drip irrigation in CGRIU as well as rationalization of resource use.

Keywords: *localized irrigation; water resources; preliminary study*

ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE EL PROYECTO DE RIEGO LOCALIZADO PARA LA COMUNIDAD GENERAL DE REGANTES Y USUARIOS DE CALLOSA D'EN SARRIÀ

La Comunidad General de Regantes y Usuarios de Callosa d'En Sarrià (CGRIU) abastece una superficie de riego de unas 1.850 hectáreas agrupadas en distintas comunidades y entidades de riegos. A dicha comunidad también pertenece el Ayuntamiento de dicho municipio de la provincia de Alicante, compartiendo los recursos e infraestructuras hidráulicas. El cultivo predominante es el níspero aunque también existen cítricos y una reciente implantación del aguacate. En la actualidad, unas 1.200 hectáreas se encuentran en riego por inundación y el resto en riego por goteo. Las instalaciones existentes se encuentran bastante obsoletas dando lugar a un funcionamiento deficiente con numerosas pérdidas y roturas. Por otra parte, una de las garantías del abastecimiento de agua potable de la comarca de "La Marina Baja" la constituyen unos pozos de la referida comunidad, por lo que la solución de la problemática del regadío ha de verse en el marco más amplio de la ordenación y liberación de recursos hídricos. El objeto del presente trabajo consiste en resumir, a grandes rasgos y en una primera aproximación, las obras e instalaciones necesarias para la implantación del riego por goteo en la CGRIU, así como para la racionalización del uso del recurso.

Palabras clave: *riego localizado; recursos hídricos; estudio preliminar*

Correspondencia: Juan Bautista Torregrosa Soler jbtorreg@fis.upv.es

1. Antecedentes

La Comunidad General de Regantes y Usuarios de Callosa d'En Sarrià (CGRIU) abastece a una superficie de riego del orden de las 1.850 hectáreas, agrupadas en 29 entidades de riegos. También el Ayuntamiento de Callosa d'En Sarrià, forma parte de la CGRIU, de tal forma que se comparten los recursos y las infraestructuras hidráulicas.

Figura 1: Localización de los municipios afectados

La superficie regable abarca todo el término municipal de Callosa d'En Sarrià (Alicante), la mayor parte de Bolulla y una pequeña parte de La Nucía y Altea (ver figura 1). El cultivo predominante es el níspero, que goza de denominación de origen, comercializado principalmente a través de la "Cooperativa Agrícola de Callosa d'En Sarrià". También existen cultivos de cítricos, aunque en la actualidad se observa una disminución del mismo debido a los bajos precios de las últimas campañas, buscando alternativas en otros cultivos más rentables. Actualmente se observa una tendencia hacia el cultivo del aguacate, para el que esta zona parece estar especialmente facultada por condiciones de clima y excelente calidad del agua de riego.

En la actualidad, del orden de unas 1.200 hectáreas se encuentran en riego por inundación y el resto (solo un 35%) dispone de instalaciones de riego por goteo. Las acequias correspondientes al riego por inundación se encuentran completamente obsoletas, con numerosas pérdidas y frecuentes roturas. Por otra parte, las instalaciones de riego por goteo están infradimensionadas y tienen una vida superior a los 25 años, lo que se traduce en grandes oscilaciones de presiones que no garantizan los parámetros mínimos de presión y caudal inherentes al riego localizado, además de tener abundantes y frecuentes roturas.

En estas condiciones se hace difícil el sostenimiento de la actividad agraria en la zona. Por otra parte, las reconocidas ventajas del riego por goteo aún son más evidentes en esta zona