

## METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS EXISTENTES EN EL MARCO DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN

Andrés Sanz-García, Javier Antoñanzas-Torres, Rubén Lostado-Lorza

Grupo EDMANS. ([www.mineriadatos.com](http://www.mineriadatos.com)). Universidad de la Rioja

Manuel Castejón Limas, Javier Alfonso Cendón

Universidad de León

### Abstract

The energy efficiency is essential for buildings design, greenhouse gas reduction strategies and sustainable development. The commonly-accepted concept of efficiency is strongly related with residential and commercial building energy consumption to create comfortable living conditions in buildings. The main cause is the existence of a wide field of energy demands and improving chances, which represent new business opportunities. The article focuses on creating the basis for projects destined to the analysis and evaluation of energy efficiency in buildings. The aim is the optimization of new systems to improve the energy efficiency decreasing actual energy consumption.

Energy evaluation software, also called a “Recognized Document” in Spanish Technical Building Code, was used to solve and check a set of proposed solutions. The starting-point was the analysis of thermal loads of summer and winter for each building and energy consumption of current devices. After that, exploratory data analysis techniques were utilized to find the best solutions, which will be the most efficient and profitable.

**Keywords:** *Energy efficiency; sustainable development; Spanish Technical Building Code; Exploratory data analysis*

### Resumen

La eficiencia energética es imprescindible para las nuevas edificaciones, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y el desarrollo sostenible. El concepto general de eficiencia está ligado al sector de la edificación y al consumo de energía, con el objeto de mantener el confort térmico. La razón es la existencia de un amplio campo de necesidades energéticas y de posibilidades de mejora, es decir, grandes oportunidades de negocio.

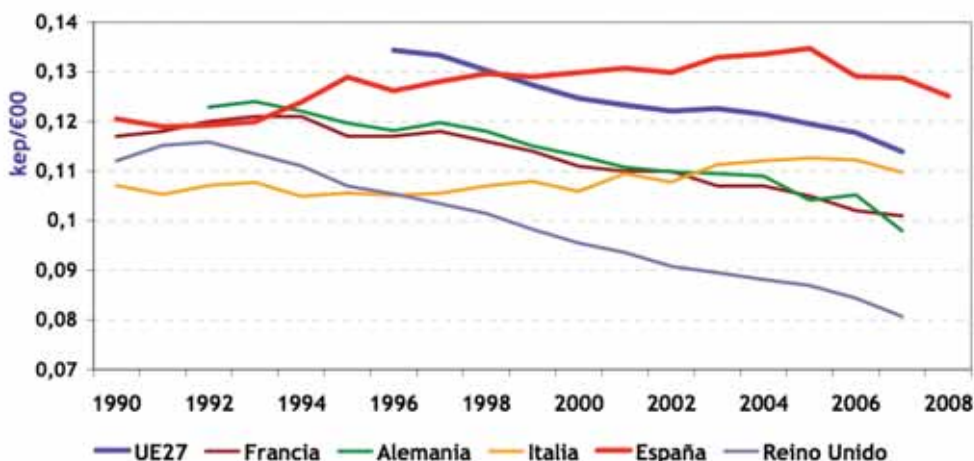
El artículo centra las bases para realizar proyectos enfocados en la mejora de las instalaciones térmicas en edificaciones existentes. El objetivo es la optimización de los sistemas instalados para incrementar la eficiencia energética, basándose inicialmente en herramientas software de simulación térmica. La clave es el análisis de las cargas térmicas del edificio y la determinación de los consumos. Para ello es utilizado un software considerado Documento Reconocido por el Código Técnico de la Edificación. Después mediante técnicas de análisis exploratorio de datos se buscan las soluciones óptimas, que serán las más eficientes y rentables.

**Palabras clave:** *Eficiencia energética; edificación sostenible; Código Técnico de la Edificación; Análisis exploratorio de datos*

## 1. Introducción

La eficiencia y el ahorro energético son imprescindibles en la ejecución de nuevas edificaciones para contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y el desarrollo sostenible de la sociedad. En general, la eficiencia energética hace referencia a todas y cada unas de las acciones que pueden reducir el gasto energético y conducir a obtener resultados de al menos igual calidad, pero con un consumo de energía inferior. Eficiencia que además contribuye a la lucha contra el cambio climático, la mejora de la seguridad energética, la consecución de los objetivos de Lisboa y la reducción de costes dentro de la Unión Europea (Parlamento Europeo, 2002).

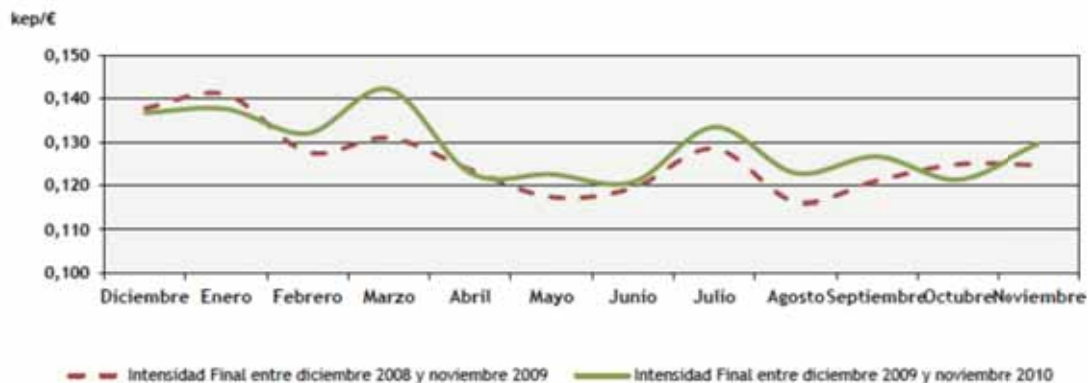
Figura 1: Gráfica de intensidad energética final en España, UE27 y otros países (1990-2008)



Fuente: EnR/IDAE

Un claro indicador de la eficiencia energética es la **intensidad energética**, que muestra el cociente entre el consumo de energía y el PIB de un país. Según los datos de intensidad energética final (ver Figura 1), España empeoró en eficiencia energética hasta el año 2005, mientras que en el resto de Europa mantenía una mejora continua de 15 años de duración. A partir de 2005 se ha producido una visible mejora hasta 2008 y una posterior estabilización hasta finales de 2010. En parte es producido como consecuencia de la pronunciada caída del PIB en 2009 (-3,7%) y 2010 (-0,1%). En ello ha influido el elevado peso de la construcción y el turismo (sectores muy poco eficientes) en la economía española y un fuerte crecimiento del sector transporte entre 1980 y 2007. Como se ve, el camino que queda por recorrer en España en cuanto a eficiencia energética es muy largo.

Figura 2: Gráfica de intensidad energética final en España (2009 y 2010). Fuente: EnR/IDAE



Por otra parte, se conoce que el consumo actual de energía en los edificios representa aproximadamente el **40% del consumo total de la energía final** (Parlamento Europeo, 2010) y el 36% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> de la Unión Europea (UE). A partir de estos dos datos, se pueden concretar algunas de las actuaciones necesarias en el desarrollo de las medidas encajadas en el "Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España" (Consejo de Ministros, 2007), destinado a los sectores de edificación y equipamiento residencial y ofimático.

Con la directiva aprobada el 27 de octubre de 2010 por el Parlamento Europeo, se obliga a los Países miembros a asumir el denominado "triple objetivo veinte" para 2020: reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en un 20%, aumento de la eficiencia energética en un 20% y conseguir que un 20% de la energía provenga de fuentes renovables. Con dicho objetivo acordado en el Protocolo de Kyoto, la Directiva 2002/91/CE ha tenido que ser modificada para intentar su cumplimiento.

Hasta el pasado 9 de Julio de 2010, el marco normativo sobre el ahorro energético en los edificios arrancaba de la Directiva 2002/91/CE, relativa a la eficiencia energética de los edificios; y la Directiva 2006/32/CE, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos (SAVE). Dichas directivas son las precursoras de que los conceptos de eficiencia, consumo y ahorro de energía hayan entrado con fuerza en el sector de la construcción en los últimos años de la mano de distintas normativas de obligado cumplimiento: el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios; el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE); y finalmente, el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

A partir del 9 de Julio de 2010, el marco normativo se refunde en la Directiva 2010/11/UE de 19 de mayo de 2010, un texto actualizado y clarificado que establece nuevas acciones y mecanismos para que los Estados miembros busquen el aprovechamiento del ahorro energético en los edificios. Novedad es el hecho de que esta Directiva se aplica a edificios existentes, no solo a los nuevos como la anterior, objeto de reforma con el fin de conseguir que consuman lo mínimo posible y aumentar el número de edificios de consumo casi nulo.

Para el caso de edificación nueva, y como consecuencia de la Directiva Europea SAVE, el CTE ofrece dos opciones para limitar la emisión de gases de efecto invernadero en los edificios: simplificada y general. Omitiendo la primera (no es un camino de eficiencia y ahorro energético), es la opción general la que permite utilizar dos novedosas herramientas informáticas: **LIDER**, que tiene la misión de limitar la demanda energética y **CALENER**, que busca la calificación energética de los edificios (previamente definidos por el primer *software*). Ambos casos son un importante impulso en innovación para calcular el ahorro energético de un edificio, mediante la aplicación de un procedimiento informático de simulación anual del comportamiento térmico/energético del edificio.

El punto de partida de estas metodologías es el análisis de cargas térmicas y de elementos de consumo. Aunque de gran envergadura, dichos cálculos son factibles debido al actual nivel de desarrollo tecnológico en materia de cálculo numérico. El resultado es una estimación del consumo del edificio mucho más económica que llevar a cabo mediciones reales de los consumos durante un periodo sucesivo de varios años (Athienitis, 1989).

En este artículo se muestra un método de trabajo con cálculo por simulación numérica, enfocado en la ayuda a la toma de decisiones válido tanto en la fase de proyecto de un edificio, como durante una etapa de reforma o acondicionamiento posterior. En el caso de estudio, se particulariza para un edificio existente de uso docente, enfocando el análisis en la búsqueda y evaluación de las posibles acciones correctoras con eficiencia. Dichas acciones incrementarían más la sostenibilidad de la construcción de tratarse de una labor realizada a

nivel de proyecto, que permita generar importantes ahorros a posteriori. Además algunos cambios a nivel de proyecto son difíciles sino imposibles de realizar, debido a condicionantes urbanísticos o arquitectónicos del edificio ya ejecutado.

## 2. Estado del arte

A continuación se realiza una breve descripción del estado del arte en la simulación de cargas térmicas y consumos energéticos en los edificios. Como punto de partida (1970) está situado el *software* DOE-2 (<http://www.doe2.com/>). Dicha aplicación es la herramienta de referencia para el análisis de los consumos energéticos en los edificios (Hagin, 2000). Su desarrollo pertenece al *United States Department of Energy* (USDOE) y es el motor de cálculo de las dos aplicaciones básicas relacionadas con el CTE: LIDER y CALENER.

Es ASHRAE (1976) el organismo responsable del desarrollo de los algoritmos de cálculo de cargas. Posteriormente es el mencionado caso americano de *software*, el programa surgido como resultado de la innovación constante de la administración que implementa dichas rutinas de cálculo. De la misma época aparecen otras aplicaciones como BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*), *software* encargado al *National Institute of Standards and Technology* (NIST) del mismo país. Sucesivos programas, como el caso del TRNSYS (Transient Systems Simulation) de la Universidad de *Wisconsin-Madison*, han visto la luz en ámbito universitario y/o investigador (NN, 2004). Ya en la actualidad existen aplicaciones que han comenzado a estar más orientadas hacia la empresa privada y la industria. Entre estos casos destaca SimCAD (Keilholz y Bradley, 2001), que con el objetivo de incrementar su rendimiento se han introducido nuevas funcionalidades que generan los modelos con mayor productividad. Otro caso reciente es el nuevo Energy-Plus, que ha sido generado para aprovechar tanto los mejores aspectos de DOE-2, como de BLAST. La diversidad de *software* disponible permite abarcar todo el espacio de trabajo en lo que a edificios de distintos usos se refiere (Neymark, 2002).

Para Europa, y debido a la falta de una organización que centralice los esfuerzos del desarrollo del *software* de simulación, no existe un claro modelo de éxito como en el caso americano. Sin embargo, se pueden remarcar algunos ejemplos: el BSIM desarrollado por el *Danish Building Research Institute*, el programa de código abierto ESP-r (*Environmental System Performance*) implementado por la *University of Strathclyde* o el ICE-Indoor Climate and Energy desarrollado en Suecia, y que está incluido en el IDA (*Indoor Climate And Energy*), un paquete comercial con un motor de simulación común y módulos con diversas aplicaciones.

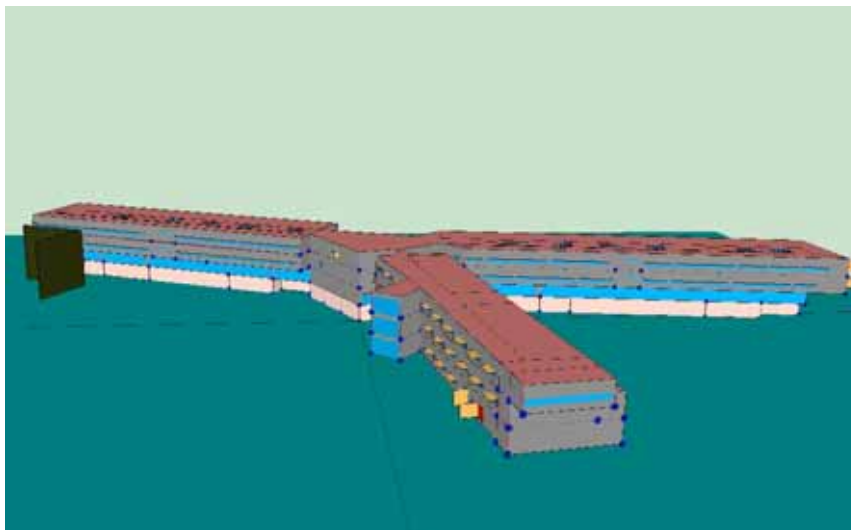
Por último, ha proliferado recientemente la creación de paquetes pasarela donde las empresas producen programas comerciales destinados a la introducción del modelo del edificio en los programas americanos, de forma más cómoda para el usuario final (se debe recordar que generalmente todos ellos son *open source*). Son claros ejemplos de ello el IISIBAT del *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* que utiliza como núcleo de cálculo el TRNSYS, o finalmente, el *Design Builder* que genera solo el fichero con extensión idf que describe el edificio y posteriormente utiliza el mencionado EnergyPlus (EE.UU.) para realizar las operaciones de cálculo.

## 3. Objetivos

De entre las distintas acciones que pueden ser propuestas para mejorar el ahorro y la eficiencia energética en un edificio existente, es importante saber cual de las propuestas innovadoras es la más adecuada. Este trabajo aporta una metodología de trabajo que, mediante herramientas ya conocidas, ayuda en dicha tarea. Siendo especialmente

importante para aquellas enfocadas en mejorar aspectos tales como la epidermis del edificio, el control de huecos, la ventilación, etc.

**Figura 3: Edificio simulado en el software de Limitación de la Demanda Energética (LIDER)**



El primer objetivo específico es la reducción del valor esperado de energía primaria consumida (gas, gasóleo, electricidad, solar, etc.) traducida en kilogramos de CO<sub>2</sub> no renovables que son emitidos como contaminación (Stoecker, 1998). Para garantizar este objetivo, es el ingeniero el responsable de simular, validar y evaluar los resultados en base a su experiencia. El segundo objetivo específico es la optimización tanto de los cerramientos que forman la envolvente como de las instalaciones que generan confort térmico, utilizando los datos obtenidos sobre cargas energéticas.

Ambos objetivos son capaces de garantizar un incremento en el ahorro y la eficiencia energética total para cualquier edificación existente. Finalmente, otra razón es la existencia de un amplio abanico de grandes necesidades energéticas y posibilidades de mejora en estos casos, lo que deja abierto grandes oportunidades de negocio.

#### **4. Metodología**

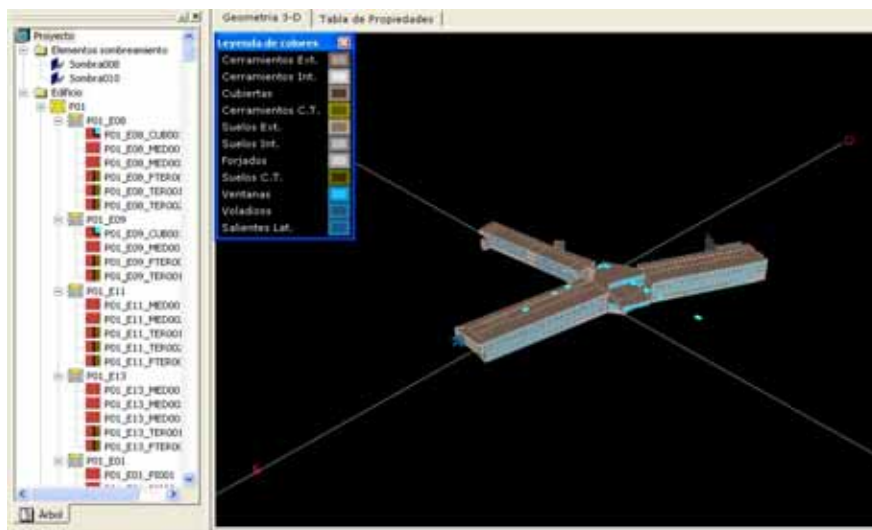
El método se basa en la simulación térmica y energética de los edificios, mediante análisis iterativos con herramientas *software* de libre distribución. Esto permite generar nuevos edificios a partir de variaciones singulares sobre un edificio inicial y evaluar los cambios producidos.

Para realizar la modelización del edificio y la simulación de la instalación térmica requerida en el presente trabajo, se ha utilizado: el programa **LIDER versión 01/07/09**, destinado a la limitación de la demanda energética y considerado Documento Reconocido dentro del marco del vigente CTE; el programa **CALENER-GT versión 01/09/09**, para la calificación de la eficiencia energética de grandes edificios del sector terciario. Ambos programas informáticos están promovidos por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, además de contar con el Ministerio de Vivienda.

En el método propuesto, extendemos las características de trabajo del CALENER-GT al campo del LIDER, el cual no contempla la posibilidad de trabajar comparando distintas soluciones técnicas. La automatización de dichas tareas se ha realizado mediante el lenguaje de programación **Python 3.2** (r32:88452).

El caso de estudio se centra en el LIDER y busca determinar el valor, tanto absoluto como relativo a la superficie, de las cargas térmicas del edificio. Aunque dicho *software* no permite esta posibilidad y está destinado exclusivamente a una tarea de verificación, con esta propuesta de trabajo se le pretende dar un nuevo enfoque.

**Figura 4: Edificio simulado en el software de Calificación Energética (CALENER-GT)**



En definitiva, el LIDER no es sino una interfaz que facilita (inicialmente, aunque son numerosos los expertos que indican lo contrario) la modificación del conjunto de las entradas relativas a la epidermis del edificio sin definir el sistema térmico instalado, que es muy habitual que se realice mediante un simple método de prueba y error, pero ahora la automatizamos mediante *scripts* programados en *python*. Resulta además muy útil para la revisión de los cerramientos ejecutados y la comprobación de posibles errores cometidos durante la determinación de las transmitancias térmicas de la envolvente.

La metodología de trabajo se basa en 7 puntos:

1. Se comienza el estudio definiendo en la base de datos la composición de los cerramientos y huecos en base a los detalles constructivos de los planos del edificio.
2. Posteriormente, se dibuja la silueta de las plantas para, a partir de ese perfil, definir los espacios acondicionados (Lastra, 2008). El criterio seguido para la división de las plantas en espacios ha sido agrupar aquellas salas que tengan una misma orientación, uso, climatización y estado higrométrico.
3. Una vez delimitados los espacios, se crean los muros y forjados. Para cada cerramiento vertical se elige el tipo de entre los definidos en la base de datos, introduciéndose las ventanas en los casos en los que sea necesario (ver Figura 3).
4. Se edita cada espacio, seleccionando los tipos de intensidad de uso, el posible acondicionamiento del mismo, el número de pilares (para el cálculo de los puentes térmicos), la clase de higrometría, el número de renovaciones hora requerido, la potencia instalada de iluminación y la eficiencia energética de la instalación de iluminación (VEEI).
5. Seguidamente, se representan los edificios cercanos que proyecten sombras al edificio objeto de estudio.
6. Por último, el *software* lleva a cabo la simulación de la instalación térmica en un intervalos de tiempo de aproximadamente una hora, devolviendo la potencia térmica suministrada para proporcionar los servicios que mantengan el confort térmico en ese

intervalo de tiempo (Lastra, 2008b). Servicios que pueden ser de múltiple naturaleza estar preparados para llevar a cabo la correcta simulación de los mismos (ver Figura 4).

7. Validación de los resultados del modelo, mediante la realización de comparativas mensuales y anuales con una serie de históricos de consumos, basada en mediciones de temperaturas, consumos de combustible, consumos de electricidad, etc.

El objetivo final es siempre la estimación de cargas o consumos energéticos anuales del edificio (Chou y Wong, 1986) (Beausoleil-Morrison et al., 2001), o en su defecto, el equivalente producción de CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, la simulación se realiza sobre un periodo de tiempo fijo (manteniendo el paso horario), y en el caso del CALENER-GT para todas los tipos de instalaciones que consuman energía: calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación (IDAE, 2009):

$$\text{Consumo} = \int_{\text{anual}} \frac{\text{Demanda}_{\text{calefacción}}}{\eta_{\text{sistema calefacción}}} + \int_{\text{anual}} \frac{\text{Demanda}_{\text{refrigeración}}}{\eta_{\text{sistema calefacción}}} + \int_{\text{anual}} \frac{\text{Demanda}_{\text{ACS}}}{\eta_{\text{sistema calefacción}}} + \int_{\text{anual}} \frac{\text{Demanda}_{\text{iluminación}}}{\eta_{\text{sistema calefacción}}} \quad (1)$$

Si se desea obtener la producción de CO<sub>2</sub> equivalente (kg CO<sub>2</sub>/kWh), basta con asignar un coeficiente para cada tipo de energía consumido, coeficiente que ha sido modificado en las sucesivas revisiones del *software* (IDAE, 2009b).

Finalmente, indicar que la metodología se puede ampliar hacia distintas áreas: detección de baja eficiencia en instalaciones térmicas ejecutadas, bajo rendimiento o mal desempeño de equipos, ausencia de elementos de control que repercute en elevados gastos o incluso, mala selección de los aislamientos del edificio.

## 5. Caso de estudio

El caso de estudio seleccionado demuestra las base científica del método de análisis propuesto en proyectos enfocados en la mejora de las instalaciones térmicas en edificaciones existentes. Dicha edificación es el Complejo Científico Tecnológico de la Universidad de La Rioja, que se encuentra en la calle Madre de Dios, 51, en el extremo noreste de la ciudad de Logroño.

**Figura 5: Fotografía del Complejo Científico Tecnológico (CCT) de la Universidad de La Rioja**



El edificio ocupa una superficie aproximada de 5000 m<sup>2</sup> y consta de cuatro plantas, cada una de ellas con tres alas que nacen de la estancia central, ocupada por el *hall*. La

distribución del edificio es la siguiente: el ala este está dedicada al Departamento de Químicas, el ala oeste al Departamento de Agricultura y Alimentación, y el ala sur destinada a contener el aulario. Todas las zonas departamentales están distribuida con los laboratorios orientados al norte y los despachos al sur.

En cuanto a la composición arquitectónica del edificio destaca la cubierta del edificio que ha sido proyectada con una solución de tipo plana, invertida y transitable, encontrándose en la planta baja una elevada proporción de vidrio a lo largo de pasillos (ver Figura 5). Por otra parte, los cerramientos se han definido de forma que las soluciones sean las realmente ejecutadas, o simplemente las planteadas en función de la influencia de ciertos parámetros.

## 6. Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos con la metodología propuesta. Cabe destacar que el uso de técnicas de análisis exploratorio de datos permite estudiar los resultados de la simulación. La finalidad es localizar las relaciones que permiten a los técnicos seleccionar con cierto grado de confianza las propuestas más eficientes para el control, reforma o ampliación de edificios existentes (Lam y Hui, 1996) (Ferreira y Gomes, 2007).

Figura 6: Análisis de cargas de calefacción por recinto acondicionado ( $\text{kW/m}^2$ )

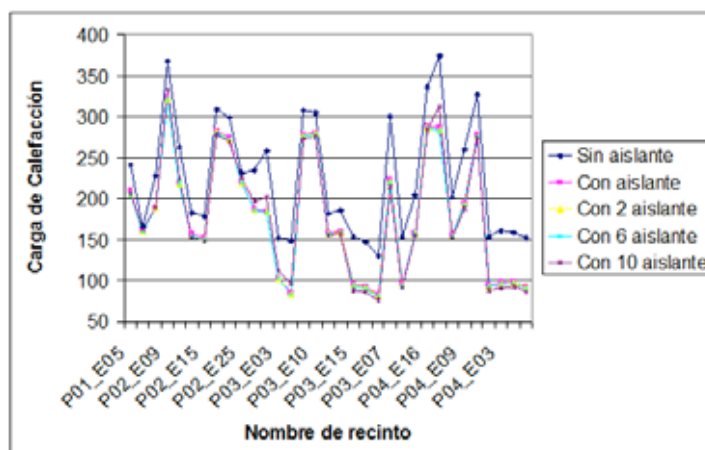
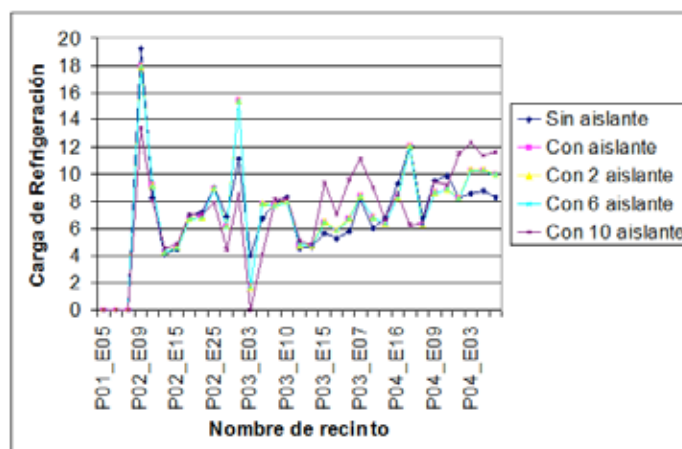


Figura 7: Análisis de cargas de refrigeración por recinto acondicionado





En las Figuras 6, 7, 8 y 9 se recogen los resultados de las diferentes estrategias de diseño planteadas en este caso de estudio, teniendo en cuenta las condiciones del entorno. El edificio ha sido simulado con las siguientes propuestas de cálculo: el estado actual con aislamiento deficiente (**sin aislante**), cambiar el material sin alterar espesores (**con aislante**), ampliar en un 25% el espesor (**con 2 aislante**), ampliar al doble el aislamiento colocado (**con 6 aislante**) y finalmente, colocar 10 cm de aislamiento del mismo material (**con 10 aislante**). Esta última situación está fuera del rango de espesores posibles para la solución constructiva de cámara ventilada de la fachada del edificio estudiado, pero permite ajustar un rango límite de actuación.

Figura 8: Análisis de cargas de calefacción mensual del edificio completo

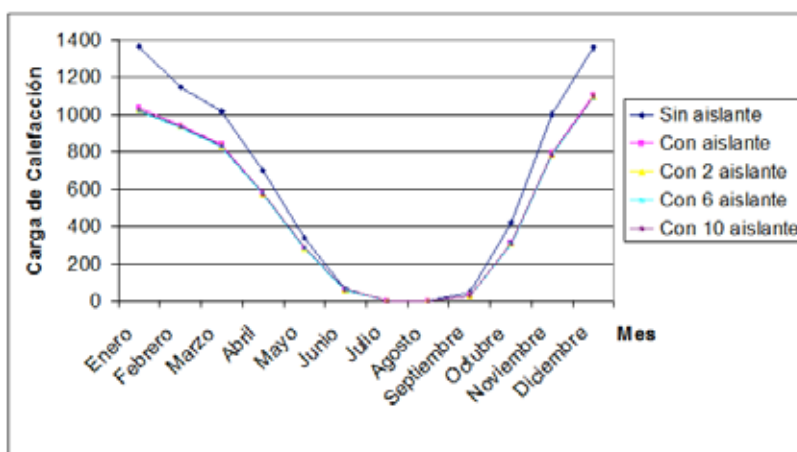
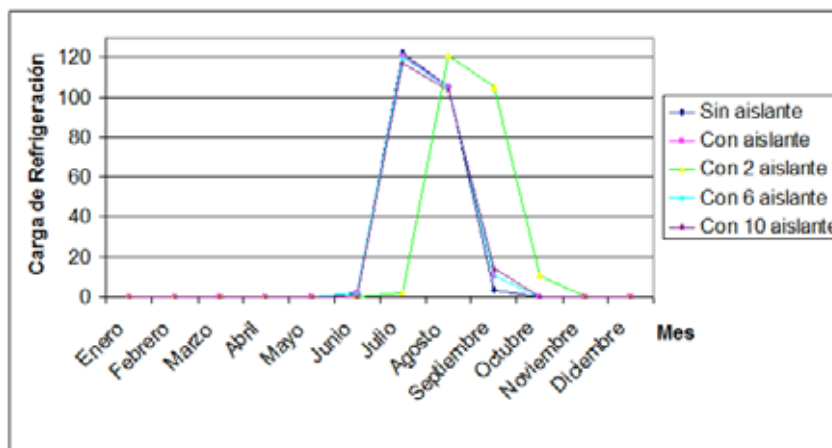


Figura 9: Análisis de cargas de refrigeración mensual del edificio completo (kW/m<sup>2</sup>)



En este edificio estudiado se ha pretendido apoyar la toma de decisión a la hora de mejorar el aislamiento de las fachadas, debido a una excesiva baja inercia térmica y un elevado consumo energético fruto de un elevado número de horas de funcionamiento de los equipos térmicos. Es por ello que se desea estimar que variación con respecto a distintos materiales y espesores en función de hueco disponible en la cámara de aire ventilada de la fachada.

Estos casos pueden ser repetidos para analizar diferentes aislantes de entre los más demandados como es el poliestireno extruido, el expandido o el poliuretano proyectado.

Analizando las gráficas se puede observar que la mayor diferencia de consumos de calefacción se produce al comparar el cálculo de **sin aislante** y **con aislante**. Sin embargo,

no se aprecia apenas diferencia entre las propuestas **con 2 aislante** o **con 6 aislante** en todos los cerramientos verticales, como muestran las Figuras 5 y 7.

Si analizamos el consumo por espacios, este variará, además de por su orientación, uso, renovaciones hora, etc., por su superficie. Los espacios pequeños tienden a generar mayores cargas de calefacción y refrigeración, a pesar de estar los resultados expresados en kW/m<sup>2</sup>. Esto es debido a que la proporción de paredes con respecto al área en este tipo de espacios es mayor que en un espacio con más superficie. Por ello, hay que interpretar los resultados no solo atendiendo a la cifra, sino también a las características del espacio.

## 7. Conclusiones

El artículo muestra como el avance de los sistemas informáticos de simulación puede lograr incrementar el desempeño y mejorar la integración en los trabajos que deben ser realizados por parte de ingenieros y arquitectos durante las distintas etapas del ciclo de vida de un edificio. El caso de estudio se hace especial hincapié en las posibilidades que la nueva Directiva 2010/11/UE de 19 de mayo de 2010 ofrece con la utilización del *software* de simulación de cargas y consumos energéticos en el caso de análisis de edificios existente. Se demuestra que dichas aplicaciones pueden convertirse en un factor clave en la toma de decisiones no solo en la fase de proyecto, sino en otras fases como las de reforma integral o auditoría energética. Por último, permite anticiparse ante los posibles errores e incluso predecir las futuras pérdidas de rendimiento en las instalaciones o de aislamiento en la epidermis del edificio ya construido.

Es importante destacar que el entorno de los programas de simulación de cargas térmicas/consumos energéticos es muy cambiante, siendo la expansión en este área muy incipiente, y con una previsión de evolucionar rápidamente en un futuro próximo. El desarrollo de estas complejas y específicas aplicaciones para una tarea tan determinada raramente tiene fines públicos, más bien suele hacerse en general bajo encargo, por lo que con la fusión de DOE-2, LIDER y CALENER estamos ante un caso especial.

La metodología utilizada para realizar el análisis de este caso de estudio será desarrollada en futuras publicaciones por parte de los autores, considerando este trabajo un punto de partida.

## 8. Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero a la "Dirección general de Investigación" del Ministerio Español de Ciencia e Innovación en el proyecto DPI2007-61090, a la "Universidad de La Rioja" y al "Banco Santander" en el proyecto API11/13 proyecto y a la Unión Europea en el proyecto RFS-PR-06035.

Por último, los autores también agradecen al Gobierno de La Rioja por su apoyo a través del 3º Plan Riojano de I + D + I en el proyecto FOMENTA 2010/13.

## Referencias

ASHRAE Task Group on Energy Requirements, Subcommittee for Heating and Cooling Loads, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc. (1976). *Subroutine Algorithms for Heating and Cooling Loads to Determine Building Energy Requirements* (ASHRAE publication) Atlanta, GA. U.S. Government Printing Office.

- Athienitis, A. K. (1989). A computer method for systematic sensitivity analysis of building thermal networks. *Building and Environment*, 24, 163–168.
- Beausoleil-Morrison, I., Mottillo, R. C., Purdy, J., Wyndham-Wheeler, P., Lopez, P., Dubrous, F., & Lubun., M. (2001, August) Using building simulation to support an energy-efficient incentive programme, *Seventh International IBPSA Conference*, Rio de Janeiro.
- Chou, S.K., & Wong, Y.W. (1986). Predicting energy performance of commercial buildings in Singapore. *ASHRAE Transactions* 92, 116–136.
- Consejo de Ministros (2007). Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España. Madrid: IDEA. Obtenido de [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Plan\\_de\\_Accion\\_2008-2012\\_19-07-07\\_con\\_TABLAS\\_PDF\\_ACC\\_2936ad7f.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Plan_de_Accion_2008-2012_19-07-07_con_TABLAS_PDF_ACC_2936ad7f.pdf)
- Ferreira, P. F., & Gomes, A. M. (2007). Energy efficient building design using sensitivity analysis—A case study. *Energy and Buildings*, 39, 23-31.
- Hagin, F. (2000). Chapter 19. Numerical Analysis and Computational Tools. En Kreith F. (Eds.), *The CRC Handbook of Thermal Engineering*. Boca Raton: CRC Press LLC 2000
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2009). *Manual técnico: Documento en el que se detalla el procedimiento a seguir para modelar los edificios y sus sistemas a la hora de emplear la herramienta informática CALENER\_GT*. Madrid: IDAE. Obtenido de <http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/ProgramaCalener/CalenerGT1/Manual%20Tecnico.pdf>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2009b). *Manual de usuario: guía de navegación para el manejo de la herramienta informática CALENER\_GT*. Madrid: IDEA. Obtenido de <http://www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/ProgramaCalener/CalenerGT1/manual%20de%20Usuario.pdf>
- Keilholz, W., & Bradley, D. (2001). SIMCAD Manual, SIMCAD 1.3 Upgrade description. CSTB. Obtenido de [http://software.cstb.fr/iisibat/simcad\\_distributors\\_us.htm](http://software.cstb.fr/iisibat/simcad_distributors_us.htm)
- Lam, J. C., & Hui, S. C. M. (1996). Sensitivity analysis of energy performance of office buildings. *Building Energy Conservation Unit, Department of Building & Construction*, 31, 27-39.
- Lastra, A. G., Laespada, A. G., Francés, V. S., & Pinazo, J. M. (2008). *DTIE 7.03 Entrada de datos a los programas LIDER Y CALENER VYP*. Madrid: ATECYR.
- Lastra, A. G., Laespada, A. G., Francés, V. S., & Pinazo, J. M. (2008b). *DTIE 7.04 : Entrada de datos al programa CALENER GT*. Madrid: ATECYR.
- Neymark, J., et al. (2002). Applying the building energy simulation test (BESTEST) diagnostic method to verification of space conditioning equipment models used in whole-building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 34, 917-931.
- NN, T.E.S.S. (2004). Component Libraries for TRNSYS, version 2.0. User's Manual. Obtenido de <http://www.tess-inc.com/services/software>
- Parlamento Europeo (2010). 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). Bruselas: Diario Oficial de la Unión Europea
- Parlamento Europeo (2002). Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Bruselas: Diario Oficial de la Unión Europea
- Stoecker, W.F. (1989). *Design of Thermal Systems*. London: McGraw-Hill.

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Andrés Sanz García  
Dpto. de Ingeniería Mecánica  
Área de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica  
Universidad de La Rioja

Phone: +34 941 299 273

Fax: +34 941 299 273

E-mail : [andres.sanz@unirioja.es](mailto:andres.sanz@unirioja.es)