

ANALYSIS OF RESIDENTIAL BUILDING PROJECTS WITH WAFFLE SLABS INCORPORATING COST AND LIFE CYCLE ANALYSIS (LCA)

Fraile-García, Esteban; Ferreiro-Cabello, Javier; Sodupe-Ortega, Enrique;
Alonso-García, Eduardo; Zurrón-Barragán, Carlos;
Martínez-De-Pisón, Francisco Javier

Grupo Edmans. Universidad de La Rioja

The useful life of a building is a minimum of according to Spanish law 50 years. It is interesting to consider the possibility of using computer tools to model and optimize the resources invested in the construction process.

The posed estimate methodology focuses on the environmental impact in the process of building a structure of reinforced concrete reticular floor structure with columns and dedicated to residential use. The research is to perform the modeling of a rectangular building with dimensions 12m x 18m using different proposals and incorporating environmental impact through Life Cycle Analysis. The layout of the columns is fixed and is set in a grid of 6x6, standard dimension in residential construction.

Structural analysis and environmental impact assessment provide information for cost and LCA in each alternative. Finish with a two-dimensional representation of both variables together. The main objective is to demonstrate the importance of tools such as decision support provided it is done rigorously.

Keywords: *Waffle slabs; LCA; Construction; Structures; Reinforced concrete.*

ANÁLISIS DE PROYECTOS PARA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL MEDIANTE FORJADOS RETICULARES INCORPORANDO COSTE Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

La vida útil de un edificio es como mínimo según la normativa española de 50 años. Es interesante plantear la posibilidad de emplear herramientas informáticas para modelizar y optimizar los recursos invertidos en el proceso constructivo.

La metodología planteada se centra en valorar el impacto ambiental en el proceso de construcción de una estructura de hormigón armado, mediante pilares y forjado reticular, dedicada a uso residencial. La investigación consiste en realizar la modelización de un edificio con planta rectangular de dimensiones 12m x 18m empleando diferentes alternativas e incorporando el impacto ambiental mediante un Análisis de Ciclo de Vida. La disposición de los pilares es fija y se establece en una retícula de 6m x 6m, luz habitual en edificación residencial.

El análisis estructural y el impacto ambiental proporcionan información para la valoración de los costes y el ACV en cada alternativa. Finalizaremos con una representación bidimensional de ambas variables de forma conjunta. El objetivo principal es poner de manifiesto la importancia de las herramientas como apoyo a las decisiones siempre que se realice con rigor.

Palabras clave: *Forjados reticulares; ACV; Construcción; Estructuras; Hormigón armado*

Correspondencia: Grupo Edmans. C/ Luis de Ulloa, 20. Edificio Departamental. Universidad de La Rioja. Logroño, España

1. Introducción

A comienzos del siglo XXI la construcción en general y la edificación en particular han sido el motor económico en parte de los países industrializados y especialmente en España. La situación de la actividad económica en el sector de la construcción en España en la actualidad se encuentra en niveles de mínimos históricos.

La salida de la crisis parece ser el primer objetivo, un enfoque constructivo es enfrentar esta dura crisis como una verdadera oportunidad de cambio del modelo productivo en el sector de la construcción en España y no únicamente como un grave problema económico. Este escenario supone un momento histórico para plantear cuestiones que estos últimos años en el epicentro de la burbuja inmobiliaria no fueron planteadas con el suficiente rigor. La preocupación por la ecología y el medioambiente es una constante en los países desarrollados, siendo estos últimos años ampliada con conceptos más globales como la sostenibilidad (Alarcón y Carrascón, 2012). En el caso que nos atañe nos queremos centrar en una parte importante de esta como es el caso de la Construcción Sostenible.

Los países en vías de desarrollo recorrerán en el futuro un camino que ya hicieron los países desarrollados, por este motivo es importante divulgar y difundir la experiencia vivida en este campo en países como España o Alemania actualmente entre los desarrollados. El ejemplo de Alemania, que actualmente está rehabilitando su parque de viviendas para hacerlas más eficientes desde el punto de vista del consumo energético, lo pone de manifiesto con costes actuales que rondan los 500 euros por metro cuadrado de vivienda. Estos costes son muy elevados en comparación al coste que hubiera supuesto añadir estos materiales aislantes en el año de construcción, pero ni estos existían ni eran una prioridad en aquel momento (años de la posguerra). Es evidente que la economía de mercado plantea cuestiones insalvables por ejemplo en España en los años 60 no se construían las viviendas con las mismas instalaciones que en la actualidad (calefacción, aire acondicionado,...), por cuestiones claramente económicas y de recursos que obligaban a destinar estos a cubrir el déficit habitacional existente ante la masiva migración que se produjo de los núcleos rurales a los urbanos.

El planteamiento que se presenta en esta investigación aborda cuestiones relativas a un producto como son las estructuras de edificación (Carrascón, Aguado y Josa, 2007). La vida útil para este producto es según la normativa española como mínimo de 50 años. Parece lógico pensar que las decisiones a tomar en el año cero (el de diseño y la construcción) deben estar condicionadas por la fase de uso que se defina para el edificio por una parte y de otra por estimaciones prudentes sobre la disponibilidad de recursos para ese mismo uso.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que modeliza el impacto de cualquier producto, proceso o servicio desde la cuna a la tumba (Blengini, 2009). Conociendo estos detalles y siendo conscientes de las dificultades, es interesante plantear y valorar la posibilidad de emplear herramientas informáticas actuales para modelizar e intentar optimizar la utilización de los recursos invertidos en el parque de viviendas del país (Mercader, Ramirez y Olivares, 2012). Trataremos de ilustrar esto en el caso de una estructura construida mediante pilares y forjados reticulares.

La metodología planteada se centra en valorar el impacto ambiental en el proceso de construcción de una estructura de hormigón armado, mediante pilares y forjado reticular, dedicada a uso residencial. La investigación consiste en realizar la modelización de un edificio con planta rectangular de dimensiones 12m x 18m empleando diferentes propuestas e incorporando el impacto ambiental mediante un Análisis de Ciclo de Vida. La disposición de los pilares es fija y se establece en una retícula de 6m x 6m, habitual en edificación residencial.

El análisis estructural y el impacto ambiental proporcionan información para la valoración de los costes y el ACV en cada alternativa (Kellenberger y Althaus, 2009) (Lopez-Mesa et al., 2009). Finalizaremos con una representación bidimensional de ambas variables de forma conjunta. El objetivo principal es poner de manifiesto la importancia de las herramientas como apoyo a las decisiones siempre que se realice con rigor y seriedad.

2. Metodología Propuesta

La metodología planteada se centra en valorar el impacto ambiental y el coste en que se incurre en el proceso de construcción de una estructura de hormigón armado dedicada a uso residencial. La propuesta es resolver la estructura mediante la utilización de forjados reticulares, que presenta algunas características destacables:

- Los materiales incorporados a la estructura de forma permanente son en este caso acero, hormigón y elementos aligerantes. Las características técnicas de hormigón y acero serán fijas mientras que para los elementos aligerantes se proponen dos alternativas el empleo de hormigón vibrocomprimido o poliestireno expandido.
- La ejecución de cada alternativa estará reflejada en la variación de las cantidades consumidas de acero, hormigón y elementos aligerantes. Para la definición de los consumos de material se realizará previamente el análisis estructural de cada propuesta, quedando descartadas aquellas que no resulten técnicamente viables.
- Los materiales están incorporados y estudiados en las bases de datos habituales de Análisis de Ciclo de Vida.

Para ejecutar estas estructuras se deben encofrar tanto los pilares como el forjado, en ambos casos la variación es mínima (encofrado lateral forjado) en las diferentes alternativas y no se incorporará este capítulo a la comparativa posterior.

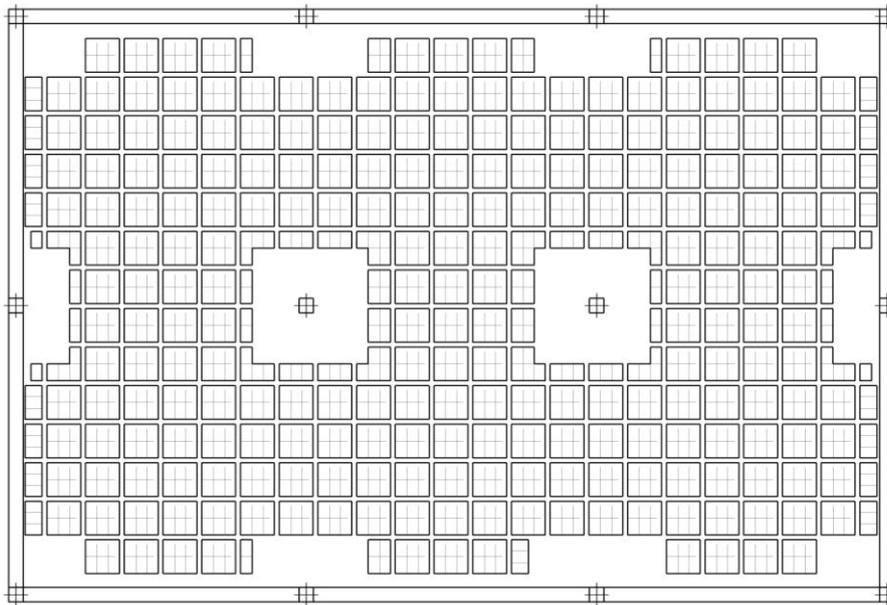
La sostenibilidad se fundamenta en tres pilares básicos que están interrelacionados: medio ambiente, economía y sociedad. En el caso de los países desarrollados este concepto está calando de forma clara en la normativa:

- El Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006) en España, ha incorporado directrices para el incremento de la calidad y sostenibilidad de las construcciones, fomentando la innovación en los procesos constructivos y estableciendo metodologías para el control y mejora de la eficiencia energética.
- La Instrucción de Hormigón Estructural (EHE, 2008) en España, recoge en su Anejo XIII un criterio para evaluar el Índice de Contribución de las Estructuras a la Sostenibilidad a través de un indicador denominado ICES, obtenido a partir del Índice de Sensibilidad MedioAmbiental de la estructura (ISMA).
- El Comité Europeo de Normalización (CEN) a través de su comité técnico de normalización CEN/TC-350 sobre Construcción Sostenible, está desarrollando una serie de Normas para valorar y medir la sostenibilidad de edificios. Se destaca entre las normas que está elaborando el comité, la UNE-EN 15804 (2012) que normaliza tanto el contenido de las Reglas de Categoría de Producto como las Propias Declaraciones Ambientales, ya que la contribución ambiental de los diferentes materiales al edificio se establecerá a través de las DAPs.
- El reglamento de la Unión Europea (UE) 305/2011, obligatorio desde el 1 de Julio de 2013 para aquellos productos de construcción amparados bajo el mercado CE que se quieran comercializar en la Unión Europea, ofrecer una Declaración de Prestaciones: mecánicas, acústicas, térmicas y de comportamiento frente al fuego.

Evidentemente el diseño de una estructura tendrá mayor valor a efectos de sostenibilidad cuando: sea capaz de optimizar el consumo de materiales (reduciendo las cantidades de hormigón y acero), se incremente su vida útil, (produciendo una mayor amortización de los impactos desarrollados en la fase de ejecución) y se obtengan mejores aportaciones a la seguridad frente al fuego, el confort acústico, el comportamiento térmico, etc. Factores que condicionan los consumos durante la vida útil de la estructura.

La propuesta consiste en realizar la modelización de un edificio de planta rectangular de dimensiones 12 metros x 18 metros empleando diferentes cantos e incorporando el impacto ambiental mediante un Análisis de Ciclo de Vida que permita seleccionar la alternativa más interesante. La disposición de los pilares se establece en una retícula de 6 metros x 6 metros, luces habituales en edificación residencial (figura 1).

Figura 1. Modelización de las alternativas



La definición de la estructura se realizará siguiendo la normativa española y empleando una herramienta informática de cálculo estructural de amplia difusión a nivel internacional CYPECAD. Mientras el ACV se realizará empleando el paquete informático SIMAPRO incorporando datos medioambientales de los materiales a través de la base de datos ECOINVENT (Frischknecht et al.,2005).

La realización del análisis estructural de cada propuesta nos proporcionará datos relativos a los consumos de los distintos materiales incorporados a la solución, que en la tipología seleccionada representan los valores significativos a emplear en la comparación:

- El hormigón armado HA-25/P/20/I.
- El acero B500-S.
- Elementos aligerantes, en este caso se presentarán dos opciones: hormigón vibrocomprimido HNE/S/6/I o poliestireno expandido mecanizado cuya densidad es de 15 kg/m³.

Tomaremos como unidad de estudio el metro cuadrado de estructura y sobre esta unidad obtendremos los consumos de acero, hormigón y elementos aligerantes en los valores denominados cuantías que serán:

- Kilogramos de acero (kg/m²).

- Metros cúbicos de hormigón (m^3/m^2).
- Unidades de elementos aligerantes (uds/m^2).

Se analizan 12 posibles alternativas combinando las variaciones en las características del forjado reticular como son el canto, el intereje y el elemento aligerante empleado. Se enumeran a continuación las disposiciones planteadas.

Estableceremos tres posibles cantos estructurales seleccionados entre los habituales en edificación residencial 25, 30 y 35 cm. Este canto es el resultado de la suma de la altura de los elementos aligerantes (20, 25 y 30 cm) y la capa de compresión tomada constante en 5 cm. Para el intereje se plantean dos valores ampliamente difundidos como son 70 y 80 cm (condicionados por el empleo de moldes en la fabricación del hormigón vibrocomprimido) manteniendo constante el ancho de nervio en 10 centímetros. Añadidas las dos alternativas para los elementos aligerantes obtenemos los 12 casos de estudio de los que dispondremos de los consumos de materiales.

Incorporaremos los costes mediante el empleo de bases de datos de precios de la construcción en España. En este estudio se utilizó el Banco Estructurado de Datos de Elementos Constructivos (BEDEC) del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC).

Acotados los valores de los consumos de materiales y tras una prospección de los datos a emplear para el ACV se valora de forma adicional los impactos que se producen en la fase de producción para cada alternativa de la estructura.

En adelante la denominación de los casos presentará la inicial del elemento aligerante (H-P), el canto estructural como suma del canto del aligerante más la capa de compresión y la identificación del intereje empleado en centímetros. Partiendo de esta información representaremos y valoraremos la información que proporciona para cada alternativa los costes y el ACV de forma individual y finalizaremos con una representación bidimensional de ambas variables de forma conjunta.

El objetivo principal es poner de manifiesto la importancia de las herramientas como apoyo a las decisiones siempre que se realice con rigor y seriedad. Debemos proporcionar información fiable a los técnicos sobre los impactos ambientales y costes.

La realización de estudios de ACV es un trabajo en equipo que debe incorporar la opinión y experiencia de agentes del proceso estudiado, tamizando los datos proporcionados por las bases de datos e incorporando las peculiaridades locales del sector de producción tanto del hormigón, acero y elementos aligerantes. En el caso concreto que nos ocupa de forma adicional se incorporan los condicionantes impuestos por la normativa correspondiente. Descartando aquellos resultados que no son técnicamente viables.

Cuando hacemos un ACV los datos de partida inciden de forma clara en los resultados finales, por ejemplo en el caso del acero debemos tener datos aproximados del tanto por ciento de chatarra férrea que se incorpora en la producción del mismo en la acería. Este dato es muy diferente entre países e incluso entre regiones del país. Respecto al producto hormigón estructural, hay plantas que ya están incorporando la recirculación de aguas procedentes del lavado de las cubas e incluso la actual normativa les permitirá en el futuro poder reciclar áridos procedentes de derribos, posibilidad que entendemos será viable en la fabricación de elementos aligerantes. Estos datos son importantes en la fase de producción, siendo relativamente fácil conseguir la información, pero en el ACV de un edificio cuya vida útil es como mínimo 50 años, debemos aventurar como serán los derribos y tratamiento posterior de los materiales incorporados a la estructura. Otra incertidumbre es conocer si durante el proceso constructivo e incluso en la fase de uso se incorporaran otros materiales a los aquí citados por ejemplo revestimientos, pinturas... que inciden de forma clara en la

posibilidad de reciclado posterior. Quedando de lado de la seguridad en nuestra comparativa plantearemos un escenario habitual en la actualidad, depositaremos en vertedero los productos del derribo.

Todos los estudios que se planteen de forma rigurosa deberán incorporar el alcance y explicar de forma clara el mismo. Para poder realizar una comparativa que se pueda interpretar por los usuarios asumiremos en el ACV la metodología del Ecoindicador'99.

A pesar de todas las dificultades citadas en el caso que nos ocupa y para la realización de comparativas la metodología propuesta es útil y práctica, como se muestra en el caso de estudio.

3. Caso de Estudio

Realizando los cálculos mediante la normativa actualmente en vigor en España determinamos que las 12 alternativas propuestas son técnicamente viables. De los resultados se localizan mediante el paquete informático CYPECAD los consumos de material: acero, hormigón y elementos aligerantes, los datos aparecen reflejados en la tabla 1. El análisis de los resultados de la modelización permite controlar las deformaciones y adecuar la disposición más óptima de las armaduras, todo ello cumpliendo de forma rigurosa la normativa vigente.

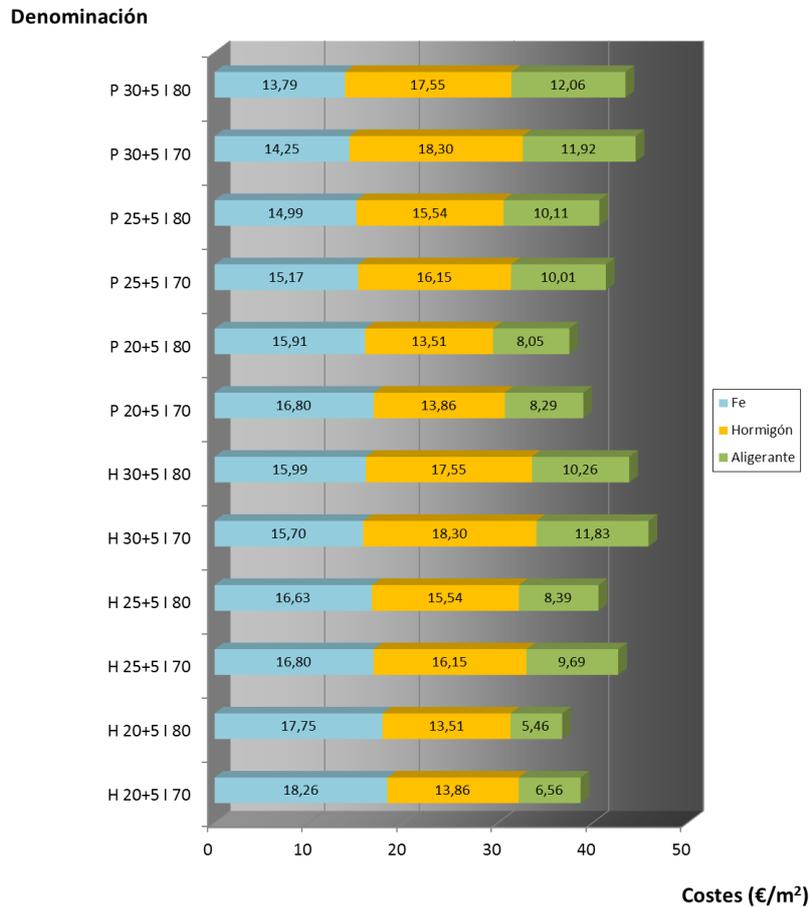
Tabla 1. Cuantías de materiales

Denominación	Acero	Hormigón	E. aligerante
Alternativa	Kg Fe/m ²	m ³ HRM/m ²	Uds/m ²
H 20+5 70	15,087	0,145	4,936
H 20+5 80	14,670	0,141	3,572
H 25+5 70	13,883	0,169	4,767
H 25+5 80	13,741	0,163	3,590
H 30+5 70	12,977	0,192	4,731
H 30+5 80	13,212	0,184	3,567
P 20+5 70	13,888	0,145	4,936
P 20+5 80	13,150	0,141	3,572
P 25+5 70	12,537	0,169	4,767
P 25+5 80	12,386	0,163	3,590
P 30+5 70	11,778	0,192	4,731
P 30+5 80	11,400	0,184	3,567

Conocidos los datos de las cuantías establecemos los precios de cada producto consumido, en este caso el hormigón, el acero y los elementos aligerantes colocados en obra, con lo cual podemos determinar el coste de cada alternativa. Para representar la repercusión de cada material incorporado en cada alternativa estudiada mostramos la figura 2. En esta se puede ver de forma clara que el coste en el consumo de hormigón es idéntico a geometrías idénticas. Por su parte el consumo de acero y elementos aligerantes son variables entre

idénticas geometrías. Como se aprecia si nos fijamos únicamente en los costes la alternativa más interesante es **H 20+5 I 80**: forjado reticular con elementos aligerantes de hormigón vibrocomprimido canto estructural 25 centímetros e intereje 80 centímetros, con 36,72 €/m².

Figura 2. Repercusión coste por material incorporado



Tras esta modelización del coste resta medir y valorar el impacto de los consumos de materiales empleados en la ejecución de la estructura. Para ello emplearemos la metodología ACV de forma que sea viable una comparación entre las alternativas asumimos como valor representativo el Ecoindicador'99. En las tablas 2 y 3 se muestran los ecopuntos representativos de los materiales incorporados de forma permanente a la estructura. Estos datos provienen de la base de datos Ecoinvent y la incorporación al inventario del ACV de información adicional proveniente de fabricantes, constructores, encofradores, aparejadores... Esta incorporación de datos locales ajusta la modelización ya que estos datos fusionados con los resultados obtenidos de las cuantías dan como resultado el impacto cuantificado en ecopuntos.

La tabla de impacto de los materiales refleja que el impacto asociado al acero es mayor que el correspondiente al hormigón. Si lo representáramos por kilogramo de material, el acero produce un impacto medido en ecopuntos 125 veces superior al kilogramo de hormigón. A pesar de esto la cuantía consumida de acero es mucho menor que la consumida en hormigón siendo la última entre 22 y 37 veces superior en las alternativas estudiadas. Los elementos aligerantes oscilan entre los valores de 0,6 y 1,6 ecopuntos, destacando que el casetón de poliestireno produce menor impacto ambiental por su menor densidad en la

configuración de los casetones, si comparamos un kg de poliestireno frente a un kg de hormigón vibrocomprimido el impacto es menor en el caso del hormigón.

Tabla 2. Ecoindicador´99 de los materiales (I80)

Categoría de impacto	Pt kg Fe	Pt m ³ HRM	Pt ud H 70x70x20	Pt ud H 70x70x25	Pt ud H 70x70x30	Pt ud P 70x70x20	Pt ud P 70x70x25	Pt ud P 70x70x30
Total	0,315	6,039	1,139	1,423	1,594	0,678	0,805	0,931
Carcinogens	0,041	0,047	0,034	0,042	0,047	0,002	0,002	0,002
Respiratory organics	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Respiratory inorganics	0,092	1,536	0,299	0,373	0,418	0,104	0,124	0,144
Climate change	0,013	0,960	0,081	0,102	0,115	0,027	0,032	0,037
Radiation	0,000	0,008	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000
Ozone layer	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ecotoxicity	0,023	0,146	0,179	0,223	0,250	0,003	0,004	0,004
Acidification/ Eutrophication	0,006	0,303	0,045	0,057	0,063	0,018	0,022	0,025
Land use	0,005	0,102	0,049	0,061	0,068	0,001	0,001	0,001
Minerals	0,016	0,044	0,037	0,046	0,051	0,001	0,001	0,001
Fossil fuels	0,119	2,891	0,414	0,516	0,578	0,522	0,619	0,716

Tabla 3. Ecoindicador´99 de los materiales (I70)

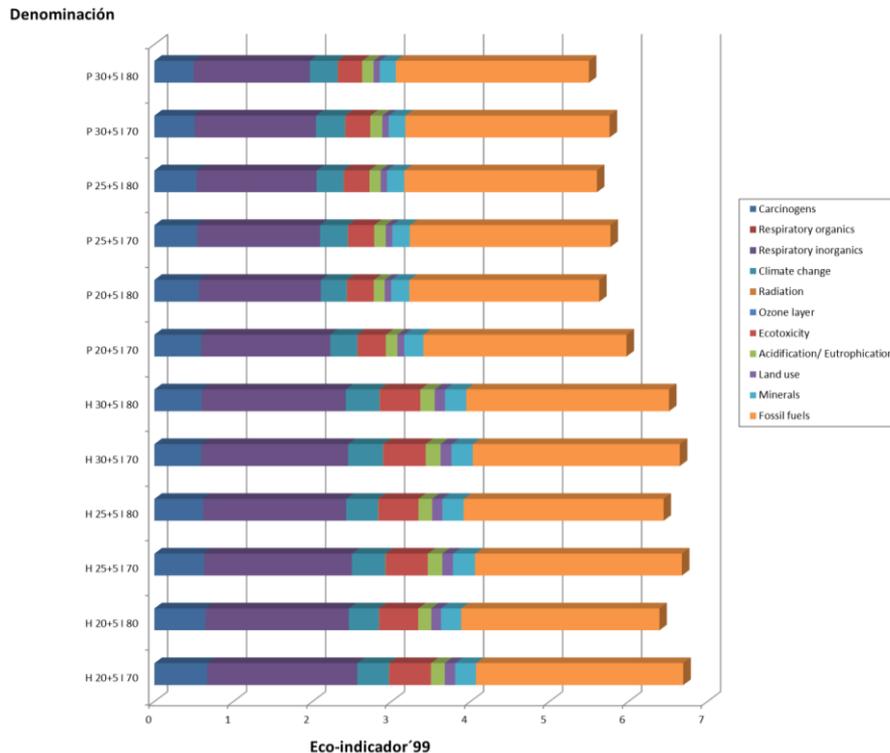
Categoría de impacto	Pt kg Fe	Pt m ³ HRM	Pt ud H 60x60x20	Pt ud H 60x60x25	Pt ud H 60x60x30	Pt ud P 60x60x20	Pt ud P 60x60x25	Pt ud P 60x60x30
Total	0,315	6,039	1,002	1,253	1,403	0,597	0,708	0,820
Carcinogens	0,041	0,047	0,030	0,037	0,042	0,002	0,002	0,002
Respiratory organics	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Respiratory inorganics	0,092	1,536	0,263	0,329	0,368	0,092	0,109	0,126
Climate change	0,013	0,960	0,071	0,090	0,101	0,023	0,028	0,032

Radiation	0,000	0,008	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Ozone layer	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ecotoxicity	0,023	0,146	0,157	0,197	0,220	0,003	0,003	0,004
Acidification/ Eutrophication	0,006	0,303	0,040	0,050	0,056	0,016	0,019	0,022
Land use	0,005	0,102	0,043	0,054	0,060	0,001	0,001	0,001
Minerals	0,016	0,044	0,032	0,040	0,045	0,000	0,001	0,001
Fossil fuels	0,119	2,891	0,364	0,455	0,509	0,460	0,545	0,631

Para dar un paso más representaremos el impacto producido por cada una de las alternativas en las fases de producción de los materiales construcción y derribo. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 3, empleando como medida el Ecoindicador'99 que surge de la suma de las categorías de los impactos parciales de cada material incorporado.

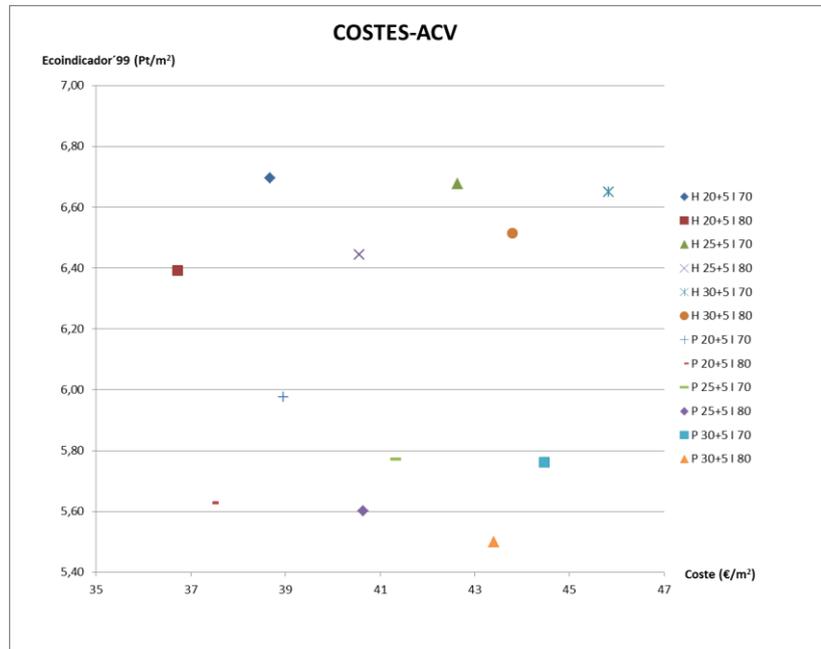
Analizando los resultados que presenta el ACV el menor impacto producido se da en la alternativa **P 30+5 I 80** forjado reticular con elementos aligerantes de poliestireno expandido canto estructural 35 centímetros e intereje 80 centímetros, con 5,50 Pt/m². De esta manera resulta un 16% mayor el impacto producido por la alternativa **H 20+5 I 80** que recomendaba el análisis de costes.

Figura 3. Representación gráfica Ecoindicador'99 de las alternativas



Para visualizar los resultados de forma más clara, en la figura 4 mostramos el coste frente al impacto evaluado en Ecopuntos para las alternativas consideradas técnicamente viables.

Figura 4. Representación gráfica Ecoindicador´99 frente a coste de las alternativas



Se aprecian dos comportamientos claramente diferenciados ya que el elemento aligerante incide de forma directa e indirecta modificando los pesos propios de las soluciones implementadas.

4. Conclusiones

Como conclusión previa es destacable que a pesar de modelizar un caso sencillo las variaciones e incertidumbres hacen que los resultados finales presenten oscilaciones importantes. La propia definición estructural del hormigón armado incorpora decisiones que afectan al impacto ambiental producido en la fase de proyecto y ejecución. Esta definición de los armados, se realiza con calibres estándar incorporados en tablas de armado que definen los fabricantes de las herramientas informáticas de cálculo. Normalmente para facilitar el control de la ejecución los propios proyectistas en ocasiones, emplean diámetros claramente diferenciados. La normativa incorpora además, unas cuantías mecánicas y geométricas mínimas, cuyo obligado cumplimiento incide también en la definición última del armado.

A pesar de las dificultades, creemos que el esfuerzo en el futuro, mediante las DAPs y la modelización integrada de los proyectos contribuirán a la implantación de herramientas de apoyo y optimización de las alternativas estructurales. Los fabricantes de productos destinados a la construcción deben apreciar en las DAPs una gran oportunidad para contrastar y sopesar la sostenibilidad de sus actuales procesos de fabricación. De este análisis de procesos se pueden encontrar oportunidades de mejora y de diferenciación en lo que se refiere a las prestaciones de los productos ofertados.

Tanto las administraciones como los usuarios están interesados en conocer los impactos ambientales incurridos en la generación de los productos e incluso en el uso de los mismos. El modelo aquí presentado se basó en un forjado intermedio de un edificio de uso residencial, al que la normativa española condiciona con unos requerimientos mínimos en

aspectos no tratados como son la eficiencia energética, confort acústico, seguridad frente al fuego, durabilidad....

La primera conclusión es que el empleo de diferente material aligerante incide de forma clara en el impacto ambiental de la solución propuesta. Esto se aprecia de forma clara en la figura 4 la zona superior corresponde al empleo de hormigón vibrocomprimido y la zona inferior de los impactos aparece el poliestireno expandido.

El incremento del canto en todos los casos estudiados repercute en un incremento del coste, de nuevo el comportamiento es diferente según el elemento aligerante. El hormigón vibrocomprimido ofrece incrementos superiores en el coste cuando se incrementa el canto estructural. A pesar de ello la solución más económica se da empleando hormigón vibrocomprimido.

La utilización de interejes altos favorece la estrategia de disminución de coste e impactos ambientales, siendo ventajoso el empleo de intereje 80 frente al intereje 70 centímetros.

A pesar de la sencillez del modelo aquí presentado queda patente que la optimización de alternativas en la actualidad puede y debe incorporar factores adicionales al coste. La ampliación de la vida útil de las estructuras y con esta la fase de uso de las mismas representa un factor muy destacado que en el futuro creemos que deberá incorporarse en la modelización integrada del edificio.

5. Referencias

- Alarcón, A., & Carrascón, S. (2012). La sostenibilidad en la construcción. Una visión práctica. *Cemento Hormigón*, 948, 66-74.
- Blengini, G.A. (2009). Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. *Construcción y Medio Ambiente*, 44, 319-330.
- Carrascón, S., Aguado, A., & Josa, A. (2007). Evaluación medioambiental de productos de hormigón mediante el análisis del ciclo de vida. *Cemento Hormigón*, 898, 40-48.
- España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, del Ministerio de Vivienda: CTE Código Técnico de la Edificación.
- España. Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, del Ministerio de Fomento: EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., Hellweg, S., Hischer, R., Nemecek, T., Rebitzer, G., & Spielmann, M. (2005). The ecoinvent database: Overview and methodological framework. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 10, 3-9.
- Kellenberger, D., & Althaus, H. (2009). Relevance of simplifications in LCA of building components. *Building and Environment*, 44, 818-825.
- Lopez-Mesa, B., Pitarch, A., Tomas, A., & Gallego, T. (2009). Comparison of environmental impacts of building structures with in situ cast floors and with precast concrete floors. *Building and Environment*, 44, 699-712.
- Mercader, M.P., Ramirez, A., & Olivares, A. (2012). Modelo de cuantificación de las emisiones de CO₂ producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución. *Informes de la Construcción*, 64, 401-414.
- UNE-EN 15804 (2012). Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de productos básicas para productos de construcción