



Impacto energético y emisiones de CO₂ del edificio con soluciones alternativas de fachada

Energy impact and CO₂ emissions of a building with different façade solutions

R. Villar-Burke (*), D. Jiménez-González (*), E. Larrumbide (*), J. A. Tenorio (*)

RESUMEN

El artículo emplea una simplificación de la metodología del análisis de ciclo de vida (ACV) para explorar en fase de proyecto el potencial de reducción de impactos, en términos de energía primaria y emisiones de gases de efecto invernadero, para diferentes soluciones de fachada y estrategias de durabilidad. Se evalúan a nivel de edificio varias alternativas de diseño de una fachada tipo (configuración del muro, aislamiento, frecuencia de reposición y durabilidad) y se analiza su repercusión en los impactos seleccionados para las etapas de producción y uso del edificio.

Se concluye la importancia de la energía y emisiones incorporadas a los materiales y procesos de construcción en los impactos totales, siendo las emisiones en esas fases comparables a las de la fase de uso. Se concluye la posibilidad de reducir significativamente los impactos mediante una selección cuidadosa de los criterios de diseño y estrategias apropiadas de durabilidad, mantenimiento y rehabilitación.

Palabras clave: Energía; construcción; análisis de ciclo de vida; impacto ambiental.

ABSTRACT

This work uses a simplified life cycle analysis (LCA) methodology to explore the impact reduction potential in the design phase in terms of primary energy and greenhouse gas emissions for a given building using several façade solutions. This is achieved through a review of several design criteria (wall characteristics, insulation level, reposition rate and component durability) and their combinations, and analyzing how they relate to the selected impacts for the production and use stages in the building life cycle.

Results show that both emissions and energy embedded into the building materials or the building process are of great relevance and impact of emissions is comparable to those due to the use stage. This work concludes that, for a given building, a significant impact reduction on the selected impact indicators can be achieved by a careful selection of building solutions and durability strategies (through maintenance or refurbishment) in the design phase.

Keywords: Energy; construction; Life cycle analysis; environmental impact.

(*) Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC). Madrid (España).

Persona de contacto/Corresponding author: pachi@ietcc.csic.es (R. Villar-Burke)

Cómo citar este artículo/Citation: Villar-Burke, R., Jiménez-González, D, Larrumbide, E., Tenorio, J.A. (2014). Impacto energético y emisiones de CO₂ del edificio con soluciones alternativas de fachada. *Informes de la Construcción*, 66(535): e030, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.085>.

Licencia/License: Salvo indicación contraria, todos los contenidos de la edición electrónica de **Informes de la Construcción** se distribuyen bajo una licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento no Comercial 3.0. España (cc-by-nc).

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de recursos en los edificios se produce no solo en su fase de uso sino que se extiende a las fases previas de fabricación y planificación pero también a las de mantenimiento, demolición o reciclaje, por lo que resulta necesaria la consideración del ciclo de vida del edificio en su conjunto.

El análisis del ciclo de vida (ACV) aplicado a productos de construcción (1) y edificios (2) (3) proporciona información sobre los flujos energéticos y de materiales que resulta imprescindible para la evaluación de la sostenibilidad ambiental de los edificios (4) (5).

Alguna estimación realizada sobre sistemas constructivos habituales en nuestro país (2) cifra la aportación de los materiales en más de un 30% de la energía total y el 40% de las emisiones de CO₂ respecto a los producidos en toda la vida útil del edificio, suponiendo, en el caso estudiado, el segundo factor de consumo energético, solamente superado por la energía para calefacción.

Si bien cada caso particular puede conducir a porcentajes algo diferentes, estos niveles son equiparables a los obtenidos en este y otros estudios (6), pese a que una parte importante de los publicados evalúa únicamente la fase previa a la construcción (fabricación y extracción de materiales), sin contemplar el papel de los impactos asociados a los materiales que se producen en el proceso constructivo, mantenimiento, reciclaje o demolición.

De igual modo, los procesos de mejora de la envolvente térmica o la mayor eficiencia y número de los equipos (paneles solares, calderas...), junto con la necesidad de su reposición, es previsible que aumenten la relevancia de la energía incorporada en el balance energético.

Dada la importancia de los impactos asociados a los materiales, resulta de interés profundizar en la estimación cuantitativa de los mismos como en estrategias de diseño que permitan la reducción de impactos.

Este estudio se enmarca en un trabajo más amplio (7) orientado a la optimización ambiental y económica de soluciones de fachada y presenta un caso de uso del ACV, de forma simplificada, como ejemplo de su uso como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en las fases de planificación (8) y diseño.

El trabajo comienza por un análisis exploratorio del ciclo de vida basándose en la metodología recogida en la norma UNE-ISO/TS 21931-1:2010 (9), de evaluación ambiental de edificios, y las normas UNE-EN ISO 14040:2006 (10) y UNE-EN ISO 14044:2006 (11), para los aspectos más generales del análisis de ciclo de vida, limitándonos a los indicadores de impacto de energía primaria y emisiones de gases de efecto invernadero y restringiendo el alcance del estudio a las etapas del ciclo de vida de producto y de uso del edificio (módulos de fabricación y uso). Con posterioridad se interpretan los resultados obtenidos para el caso estudiado con el objetivo de plantear conclusiones orientadas al diseño.

El enfoque del ACV para evaluación ambiental de edificios, y no ya únicamente de productos, tiene también un desarrollo normativo reciente en los trabajos del comité CEN/TC350 del

Comité Europeo de Normalización (CEN), que ha dado lugar a la publicación o actualización de normas, como la serie UNE-EN 15643 (12) (13) (14) (15), que recoge aspectos generales, o la norma UNE-EN 15978:2012 (16), sobre métodos de cálculo, que se han considerado en el estudio.

2. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LAS SOLUCIONES ALTERNATIVAS

2.1. Alcance del estudio

Como caso de estudio se toma una vivienda entre medianeras insertada en un edificio plurifamiliar de 78,750 m² de superficie útil. La vivienda cuenta con dos fachadas exteriores de superficie 19,875 m² cada una y orientadas respectivamente a N y S. En cada una de ellas se incluye un único hueco con igual tamaño y posición. Los cerramientos interiores en contacto con otras unidades de uso se han considerado adiabáticos a efectos de los cálculos térmicos.

La superficie de la vivienda corresponde a las dimensiones medias de la vivienda en España (17), con una geometría propia de cualquier casco histórico, caracterizado para una zona climática D3, Madrid. Su patrón de uso (ocupación, cargas internas y temperaturas de consigna) es el establecido para el uso residencial en la normativa española de calificación energética (18); la vida útil considerada, de 50 años; y se ha supuesto la existencia de sistemas de climatización tanto para la producción de frío como de calor.

Para el análisis de ciclo de vida se utiliza como «unidad funcional» el m² de vivienda tipo así definida, considerando variaciones en el sistema constructivo de fachada, el material de la carpintería y la vida útil de los elementos (la carpintería y su acristalamiento). Este es, por tanto, un estudio a nivel de edificio y no de elemento constructivo.

Para el cálculo de la energía incorporada se consideran dentro de los «límites del sistema», la fase de producto y la fase de uso y mantenimiento, descartando la contribución de las fases de fin de vida del edificio así como la de construcción del edificio o el transporte entre almacén y obra. En la fase de uso se incluye la energía de operación del sistema de climatización del edificio (calefacción y refrigeración).

Este estudio contempla únicamente en la fase de mantenimiento la reposición de carpintería, obviando otros trabajos de mantenimiento periódico, preventivo o correctivo, como el repintado de fachadas y carpinterías, reparación, engrase, etc.

La selección de las fases y aspectos contemplados en el trabajo obedece a la importancia de cada fase dentro de los flujos energéticos, así como a la posibilidad de obtener o estimar datos para ellas. Kellenberger y Althaus (19) estiman que una simplificación como la realizada, sin considerar el transporte, la fase de construcción y el fin de vida, supone, en términos energéticos, una variación del 27% al 42% en los resultados obtenidos respecto a la consideración de todas las fases.

Al tratarse de un estudio comparativo, se ha eliminado el cómputo de los elementos que no varían en las distintas alternativas (forjados, acabados, instalaciones, etc), limitando la tarea de inventario a los elementos principales de fachada.

La fachada concentra una parte importante de la atención en la fase de diseño y tiene gran repercusión en el comportamiento energético del edificio en la fase de uso, de forma que, si extrapolamos los datos obtenidos por Zabalza y otros (2), el subsistema seleccionado (muro + carpintería) supone aproximadamente el 40% de toda la energía incorporada de una vivienda.

En términos de la norma UNE-ISO 21930 se trataría de un estudio «de la cuna a la puerta con opciones», abarcando partes de las etapas de producto y de uso reflejados en el esquema de la Figura 1. Además se limitan los indicadores analizados al consumo de energía primaria y las emisiones de CO_{2e}.

Esta opción metodológica se adopta tanto por la información habitualmente disponible en proyecto, como por el gran peso de estos indicadores en otros impactos ambientales (agotamiento de recursos, calentamiento global, energía primaria, etc). Los indicadores seleccionados son, por otro lado, los utilizados más habitualmente en análisis de este tipo (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8).

2.2. Supuestos (hipótesis sobre vida útil, mantenimiento y nivel de servicio)

La vida útil de los elementos constructivos trasciende los meros factores técnicos y funcionales relacionados con el envejecimiento, ya que también intervienen factores estéticos, económicos o sociales que hacen compleja su estimación.

Para facilitar el análisis se planteó un número reducido de escenarios con variaciones en los distintos componentes, tomando valores referenciados en la normativa existente.

Para la vida útil de la fachada se consideró un periodo de 50 años, el contemplado en el Código Técnico de la Edificación o la Instrucción de hormigón estructural (EHE), como periodo de referencia para la amortización económica de los edificios. En el caso de las carpinterías se adoptó una vida útil de 25 años, con la posibilidad de alternativa de duración extendida hasta los 50 años, siguiendo el criterio existente en el anexo E de la norma ISO 15686-1:2000 (20).

Para el cálculo de la demanda energética, previa a la obtención del consumo energético, se realiza una simulación del modelo en el programa LIDER (21), considerando los siguientes aspectos:

- El espesor de aislamiento necesario para obtener, en la zona opaca del muro, un coeficiente $U_{muro} = 0,3W/m^2/K$ (aproximadamente 90mm y 100mm de XPS para hojas de ladrillo perforado de un pié y medio pié).
- Un porcentaje de huecos del 20%, equivalente aproximadamente a un 10% de la superficie en planta.
- Huecos con carpinterías de aluminio o madera, considerando un coeficiente global de transmisión térmica del hueco igual en ambos casos (1,76W/m²/K), para desacoplar la elección de las prestaciones térmicas del elemento.
- Los rendimientos de los sistemas considerados corresponden a los sistemas por defecto para la calificación energética de edificios (18) (22) (23), resultando en los coeficientes de conversión entre demanda energética y consumo de energía primaria o emisiones de la Tabla 4.

Las condiciones operacionales son las contempladas de forma estándar por el programa LIDER (21) para el uso de vivienda (perfiles de uso predefinidos para 24h y bajas cargas internas). La demanda se ha calculado para un edificio situado en Madrid, con consideración de los efectos del soleamiento, acumulación térmica y una ventilación de 0,6 renovaciones por hora.

Las soluciones constructivas se han seleccionado en base a su representatividad, siendo soluciones que podrían constituir opciones de diseño reales para un mismo requisito reglamentario de transmitancia térmica, que suele ser un factor técnico limitante en la fase de diseño.

La fijación de un mismo valor de transmitancia para las distintas alternativas nos permite centrar el análisis en los impactos derivados de la opción de diseño y no de sus prestaciones térmicas. En todo caso, las soluciones adoptadas constituyen soluciones habituales en edificios existentes, con interés también en casos de rehabilitación.

2.3. Análisis de inventario

Los datos de energía incorporada usados en la fase de inventario se extrajeron de la base de datos BEDEC (24), bien para el elemento constructivo completo, bien para la energía incorporada específica de sus componentes, calculando el peso de los materiales mediante el espesor y densidades contenidas en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (25).

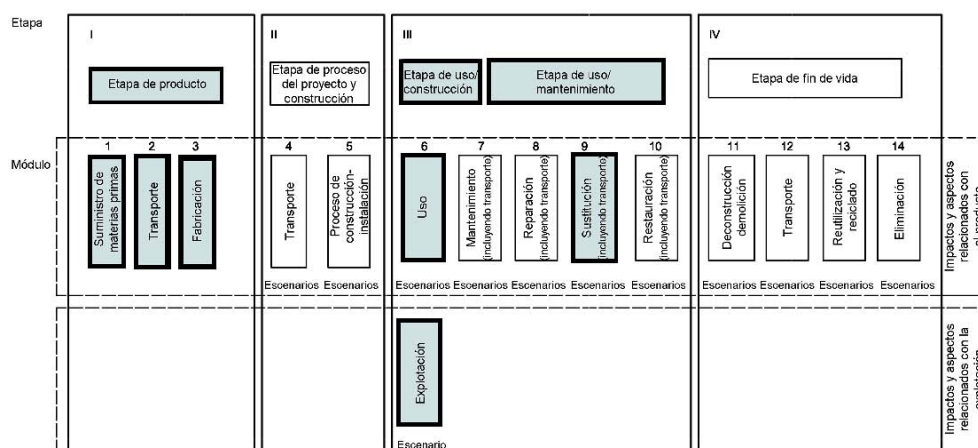


Figura 1. Imagen de fases del ciclo de vida. Fuente: Norma UNE-ISO 21930 (esquema parcial)

Tabla 1. Energía incorporada (energía primaria) para cada tipo de muro.

Tipo y descripción	Peso kg/m ²	Energía primaria MJ/m ²	Emisiones asociadas kgCO _{2e} /m ²
Muro tipo A (U = 0,3)	365,04	1114,25	115,94
Monocapa	19,95	86,64	14,02
Aislamiento XPS (λ = 0,034W/mK, e = 90 mm) + adhesivo	2,88	336,96	42,51
Pared cerramiento apoyada, 24cm LP + mortero M-5	324,16	671,43	57,70
Enyesado YG + YF	18,05	19,22	1,71
Muro tipo B (U = 0,3)	214,89	813,11	91,76
Monocapa	19,95	86,64	14,02
Aislamiento XPS (λ = 0,034W/mK, e = 100 mm) + adhesivo	3,20	374,40	47,23
Pared cerramiento apoyada, 11,5 cm LP + mortero M-5	173,69	332,85	28,80
Enyesado YG + YF	18,05	19,22	1,71

Las zonas opacas de fachada estudiadas corresponden a las siguientes soluciones constructivas, Figura 2:

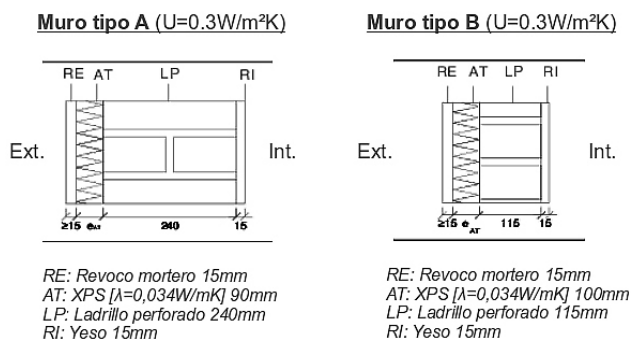


Figura 2. Esquema de la solución constructiva de los muros

Cuyo inventario de energía primaria y emisiones asociadas se presenta en la Tabla 1.

Los huecos de fachada están formados por una carpintería de aluminio con rotura de puente térmico o de madera de pino *melis*, acristalamiento aislante (4+15+4) de baja emisividad, con un U_{hueco} = 1,76W/m²/K y una permeabilidad al aire de 20 m³/hm² a 100 Pa. La Tabla 2 muestra sus datos de inventario.

Tabla 2. Energía incorporada (energía primaria) del hueco.

Tipo y descripción	Energía primaria MJ/m ²	Emisiones asociadas kgCO _{2e} /m ²
1 - Hueco de carpintería de aluminio (U=1,76W/m ² /K)	3220,81	420,59
2 - Hueco de carpintería de madera (U=1,76W/m ² /K)	382,82	24,36

Para permitir la agregación con la energía de uso (ver Tabla 3), la energía incorporada en los materiales se repercutió en ambos casos (muros y huecos) por m² de vivienda.

La sustitución de un elemento se contabilizó en el modelo mediante la agregación de su energía incorporada en esa anualidad.

La energía de uso, en términos de demanda, obtenidos con el programa LIDER (21) se incluyen en la Tabla 3, obteniendo el consumo de energía primaria y emisiones asociadas a partir de esta demanda utilizando los coeficientes de paso de refe-

rencia de la aplicación energética CALENER (18) (22) (23), y que se recogen en la Tabla 4.

Tabla 3. Demanda, energía primaria y emisiones para el muro tipo (U = 0,3W/m²/K) con un 20% de huecos en fachada.

Demanda energética		Unidades
Demanda calefacción	13,36	MJ/m ² util/año
Demanda refrigeración	44,14	MJ/m ² util/año
Consumo de energía primaria		Unidades
Energía primaria calefacción	19,37	MJ/m ² util/año
Energía primaria refrigeración	45,04	MJ/m ² util/año
Energía primaria total	64,40	MJ/m ² util/año
Emisiones		Unidades
Emisiones CO ₂ calefacción	1,19	kgCO _{2e} /m ² ut/año
Emisiones CO ₂ refrigeración	3,07	kgCO _{2e} /m ² ut/año
Emisiones CO ₂ totales	4,26	kgCO _{2e} /m ² ut/año

Tabla 4. Factores de paso de demanda a consumo de energía primaria o emisiones.

Uso	Demanda a consumo de energía primaria	Demanda a emisiones de CO _{2e}
Calefacción (gasóleo)	1,45	0,32
Refrigeración (electricidad)	1,02	0,25

2.4. Evaluación de impactos

Los impactos se evalúan utilizando categorías de impacto y flujos de referencia estándar, tal como se detallan en la Tabla 5:

Tabla 5. Categorías de impacto y flujos de referencia.

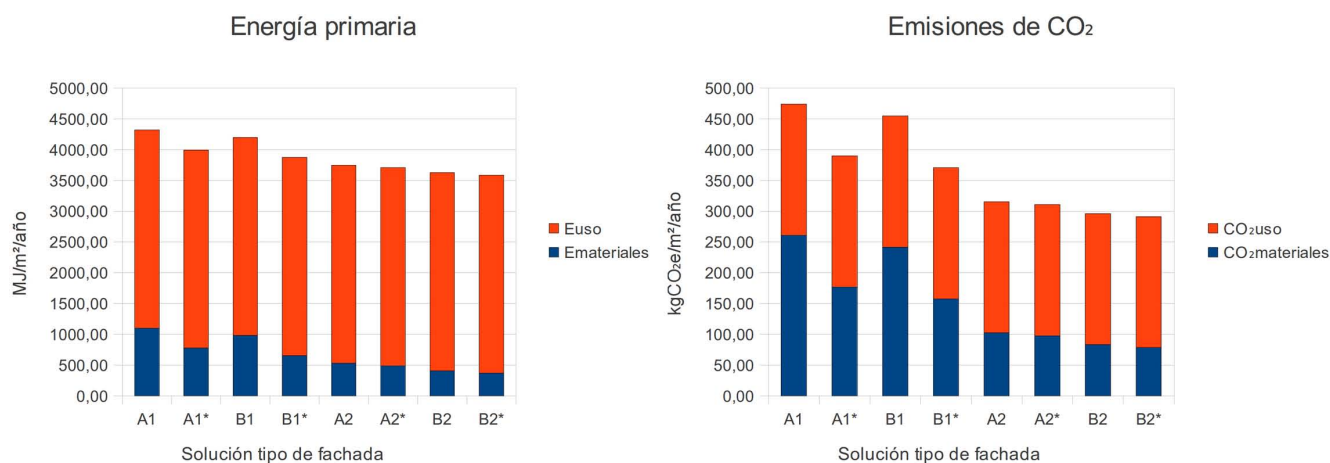
Categorías de impacto y flujos de referencia	Unidades
Potencial de Calentamiento Global (GWP)	kgCO _{2e}
Energía primaria (PE)	MJ/m ²

Para cada opción de diseño se obtuvieron los impactos, refiriéndolos a través de una clave en función de la composición del muro (A, B), del tipo de hueco (1 para aluminio, 2 para madera) y la duración del hueco (* para duración del hueco igual a 50 años, o duración por defecto de 25 años).

En la Tabla 6 se recogen los datos obtenidos para cada una de las combinaciones:

Tabla 6. Opciones de diseño de la fachada e impactos en términos de consumo de energía primaria y emisiones de CO_{2e}.

Código	Hoja ppal.	Material hueco	Duración Hueco [años]	Energía de uso [MJ/m ²]	Energía incorp. [MJ/m ²]	Energía Total [MJ/m ²]	Emisiones CO _{2e} (uso) [kgCO _{2e} /m ²]	Emisiones CO _{2e} (mat) [kgCO _{2e} /m ²]	Emisiones CO _{2e} totales [kgCO _{2e} /m ²]
A1	pesada	aluminio	25	3220,81	1100,27	4321,08	213,00	260,98	473,98
A1*	pesada	aluminio	50	3220,81	775,12	3995,93	213,00	176,87	389,86
B1	ligera	aluminio	25	3220,81	978,66	4199,47	213,00	241,64	454,64
B1*	ligera	aluminio	50	3220,81	653,51	3874,32	213,00	157,53	370,53
A2	pesada	madera	25	3220,81	527,26	3748,07	213,00	102,50	315,50
A2*	pesada	madera	50	3220,81	488,59	3709,40	213,00	97,62	310,62
B2	ligera	madera	25	3220,81	405,65	3626,46	213,00	83,15	296,15
B2*	ligera	madera	50	3220,81	366,98	3587,79	213,00	78,24	291,24

Figura 3. Energía total (energía incorporada + energía de uso) y CO₂ equivalente emitido de las distintas soluciones.

3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En los resultados obtenidos (ver Figura 3 y Tabla 6) se apreció que la contribución de los materiales a la energía y las emisiones se reduce significativamente para la solución ligera, con carpintería de madera y larga duración.

El paso de la solución A1 (hoja principal pesada y hueco con carpintería de aluminio de duración estándar) a la alternativa B2* (hoja principal ligera y hueco con carpintería de madera de larga duración) supuso una reducción de la energía utilizada a lo largo del ciclo de vida de un 17%, equivalente a una disminución del 23% de la energía de uso (que corresponde, para la vida útil estimada, a un periodo de algo más de 11 años).

En términos de emisiones, esta reducción fue más importante, casi del 39%, y equivale a una reducción del 86% de las emisiones asociadas a la energía de uso (o las emisiones asociadas a un periodo de uso de casi 43 años).

Esta reducción de impactos se debió fundamentalmente a la modificación de los materiales constitutivos del elemento y su distribución, pero también a la consideración de su durabilidad, especialmente en el caso de elementos con alta energía incorporada.

Estos resultados deben valorarse teniendo en cuenta que existen más factores que inciden en la importancia relativa de la energía y las emisiones ligadas a los materiales respecto a las vinculadas al uso de los edificios:

- La severidad de las condiciones climáticas son, en general, menos extremas en una parte importante del país.

- El rendimiento de los sistemas y su eficiencia en términos de emisiones o energía primaria.
- El efecto de la mejora en la eficiencia energética de los edificios, que tiende a reducir su consumo energético en fase de uso.
- La necesidad de contemplar el impacto de la fase de construcción y el transporte a obra.
- La consideración del impacto del reciclado, procesado de residuos o, en su caso, la demolición al final de vida.
- La mayor importancia en los edificios de elementos con una vida útil más reducida (sistemas de acondicionamiento, ventilación...).
- La amortización de la energía o las emisiones, que altera el coste ambiental en función del momento en el que se producen los impactos (26).
- El no agotamiento de la vida útil de los elementos o edificios, con una tasa de reposición superior a la técnicamente posible.

Entre estos factores, algunos producen una reducción del peso del consumo energético y, por tanto, incrementarían la importancia de las reducciones de energía incorporada, mientras que otros pueden resultar hacer variar la aportación de los materiales a la energía y emisiones incorporadas al considerar otras fases en el ciclo de vida, la durabilidad de los materiales, el comportamiento de los usuarios, etc.

En resumen, la modificación de componentes clave de la fachada nos permitió, en el caso analizado, reducir el impacto energético y de emisiones de forma significativa.

Se observó que no solamente es posible reducir impactos actuando sobre la naturaleza de los materiales y su distribu-

ción en las soluciones constructivas, sino también a través de las estrategias de durabilidad (mantenimiento, rehabilitación...).

4. CONCLUSIONES

Es posible reducir significativamente el uso de energía primaria y emisiones de gases de efecto invernadero incidiendo en distintos aspectos de los elementos del edificio ligados a su composición, durabilidad, y otros factores determinados fundamentalmente en la etapa de diseño y planificación del edificio.

Si bien la fase de uso tiene un gran peso en términos de impacto energético y de emisiones de gases de efecto invernadero, existen grandes oportunidades para la reducción de impactos en las fases anteriores del ciclo de vida y, en el caso de las emisiones, hemos visto que pueden suponer el principal factor de reducción.

El camino hacia edificios con consumo casi nulo exige una alta eficiencia energética y sistemas de producción y almacenamiento de energía y, en él, la reducción de impactos pasa cada vez más por el control de la energía incorporada a partir del diseño de los procesos y elementos del edificio, así como de la adopción de estrategias de durabilidad y rehabilitación adecuadas.

AGRADECIMIENTOS

A Carmen Alonso Ruiz-Rivas, del IETcc-CSIC, por sus aportaciones, sugerencias y comentarios para mejorar este artículo y, especialmente, por su ayuda para iniciarnos en el estudio del ACV en la edificación compartiendo generosamente sus conocimientos.

Al proyecto de investigación CÍCLOPE, y a su responsable en el IETcc-CSIC, José Antonio Tenorio Ríos, por permitirnos dedicar más tiempo al estudio del ACV en la edificación y propiciar la aparición de este trabajo.

REFERENCIAS

- (1) Benveniste, G., Gazulla, C., Fullana, P., Celades, I., Ros, T., Zaera, V., Godes B. (2011). Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. El caso de las baldosas cerámicas. *Informes de la Construcción*, 63(522): 71-81, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.10.034>.
- (2) Zabalza-Bribian, I., Aranda-Uson, A., Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44(12): 2510-2520, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.001>.
- (3) Argüello-Méndez, T.R., Cuchí-Burgos, A. (2008). Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10x10 Con Techo-Chiapas del CYTED. *Informes de la Construcción*, 60(509): 25-34, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.2008.v60.i509.588>.
- (4) Macías, M., García-Navarro, J. (2010). Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios. *Informes de la Construcción*, 62(517): 87-100, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.08.056>.
- (5) Sabaté, J., Peters, C. (2011). Una visión holística de la reducción del impacto ambiental en edificios del área del Mediterráneo. *Informes de la Construcción*, 63(EXTRA): 73-87, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.11.066>.
- (6) Arreaza, H., Avellaneda, J., González, J. M. (2009). Minimización del impacto ambiental en la construcción de viviendas plurifamiliares. En *II Congreso UPC Sostenible 2015*.
- (7) Alonso, C. (2010) Design strategies in facades for the reduction of housing energy consumption. En *SB10 Finland Conference Proceedings*.
- (8) Wadel, G., López, F., Sagrera, A., Prieto, J. (2011). Rehabilitación de edificios bajo objetivos de reducción de impacto ambiental: un caso piloto de vivienda plurifamiliar en el área de Playa de Palma, Mallorca. *Informes de la Construcción*, 63(EXTRA): 89-102, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.11.067>.
- (9) AENOR. (2010). *UNE-EN ISO 21931-1:2010. Sostenibilidad en la construcción de edificios. Marco de trabajo para los métodos de evaluación del comportamiento medioambiental de los trabajos de construcción. Parte 1: Edificios*. Asociación Española de Normalización.
- (10) AENOR. (2006). *UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. Asociación Española de Normalización.
- (11) AENOR. (2006). *UNE-EN ISO 14044:2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices*. Asociación Española de Normalización.
- (12) AENOR. (2012). *UNE-EN 15643-1:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 1: Marco general*. Asociación Española de Normalización.
- (13) AENOR. (2012). *UNE-EN 15643-2:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental*. Asociación Española de Normalización.
- (14) AENOR. (2012) *UNE-EN 15643-3:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 3: Marco para la evaluación del comportamiento social*. Asociación Española de Normalización.
- (15) AENOR. (2012). *UNE-EN 15643-4:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico*. Asociación Española de Normalización.
- (16) AENOR. (2012). *UNE-EN 15978:2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios*. Métodos de cálculo. Asociación Española de Normalización.
- (17) IDAE. (2011). *Proyecto Sech-Spahousec. Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. <http://www.idae.es>.

- (18) Ministerio de Presidencia. (2013, 13 de abril). 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*, nº89, Sec I, pp. 27548-27562. España.
- (19) Kellenberger, D., Althaus, H.-J. (2009). Relevance of simplifications in LCA of building components. *Building and Environment*, 44(4): 818-825. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.002>.
- (20) AENOR. (2000). *UNE-EN ISO 15686 1:2000. Edificios y activos construidos – planificación Vida útil – Parte 1: Principios generales*. Asociación Española de Normalización.
- (21) CTE. (2009). *LIDER - Aplicación de verificación de la exigencia de Limitación de demanda energética del CTE*. Madrid: Código Técnico de la Edificación. <http://www.codigotecnico.org>.
- (22) MINETUR. (2009). *CALENER - Aplicación de calificación energética de edificios*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. <http://www.minetur.gob.es>.
- (23) IDAE. (2009). *Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. <http://www.minetur.gob.es>.
- (24) ITeC. (2010). *BEDEC - Banco de datos de elementos constructivos*. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. <https://www.itec.cat/nouBotiga2.e/Bedec.aspx>.
- (25) IETcc-CSIC. (2008). *Catálogo de elementos constructivos del CTE*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC).
- (26) Zöld-Zs, A. (2007). What is missing from the concept of the new European Building Directive?. *Building and Environment*, 42(4): 1761-1769. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.12.003>.

* * *