

Análisis comparativo de los impactos ambientales en sistemas de cerramientos de vivienda mediante el Análisis del Ciclo de Vida.

**Gámez-García D.C¹, Gómez-Soberón J.M.², Corral-Higuera R.³, Arredondo-Rea P.S.³,
Almaral-Sánchez J.L.^{3,1}**

¹Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Av. Diagonal, 649-651, 08028, Barcelona, España.

²Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona, Av. Doctor Marañón, 44-50, 08028, Barcelona, España.

³Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ingeniería Mochis, Fuente de Poseidón y Ángel Flores s/n Pte., 81223, Los Mochis, Sinaloa, México.

*E-mail: josemanuelgomez@upc.edu

RESUMEN

El sector de la construcción se encuentra en un proceso de mejora al respecto de la protección medioambiental, por lo cual se han desarrollado metodologías que permiten evaluar sus implicaciones en el desarrollo sostenible; y de ellas, el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es la que se está consolidando como la más adecuada, no obstante de ser una técnica de uso reciente en el sector constructivo. El objetivo de este trabajo es verificar la efectividad del ACV en la evaluación comparativa de sistemas de cerramientos habituales del ámbito español actual. El alcance de este análisis se ha limitado a las etapas de extracción y producción de los materiales, y de la construcción de los cerramientos, para lo cual se utilizó ECOINVENT Y BEDEC como inventarios y LCA Manager 1.3 como programa informático para determinar los impactos ambientales. Fue posible verificar que el ACV es una herramienta eficiente y flexible que tiene aplicación en el sector de la construcción.

Palabras Clave: Análisis del Ciclo de Vida, Cerramiento de Edificio, Inventario de Ciclo de Vida, Impacto Ambiental, Energía Incorporada.

ABSTRACT

The construction sector is in a process of improving respect to environmental protection. As part of this initiative have developed methodologies to assess their implications for sustainable development; and of these, the Life Cycle Assessment (LCA) is being consolidated as the most appropriate, despite its recent use in the construction sector. The aim of this work is to verify the effectiveness of LCA in the benchmarking of enclosures construction systems of the current Spanish ambit. The scope of this analysis is limited to the extraction and production of materials and the construction phase of the enclosures. As inventories have been selected the database Ecoinvent and the BEDEC (Institute of Construction Technology of Catalonia); which were used to determine the environmental impacts using the LCA Manager 1.3 software. It was possible to verify that the LCA is an efficient and flexible tool that has application in the construction sector. Key Words: Life Cycle Assessment, Building Enclosures, Inventory Life Cycle, Environmental Impact, Embodied Energy.

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción genera altos índices de contaminación, que resultan de todos los procesos involucrados en su ejecución, como por ejemplo el alto consumo de energía y de recursos naturales; y la generación de residuos sólidos y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que produce [1-9]. En la búsqueda por mitigar estos daños se han implementado metodologías que permiten evaluar las implicaciones de dicha industria en el desarrollo sostenible. Una de ellas es el Análisis del Ciclo de Vida, la cual pese a su reciente uso en el sector de la construcción, se consolida como una importante y poderosa herramienta que provee una amplia gama de resultados plausibles.

El ACV, como término se introdujo a partir de 1990 por la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental [10-11]. Por su parte la Organización Internacional de Normalización (ISO) logró la normalización de los métodos y procedimientos, mediante la serie de normas ISO 14040/44, publicada por primera vez en 1996 [11,12]. Aunque en el siglo XXI existe un auge sobre la investigación del ACV, tanto en países desarrollados, como en países emergentes (como México, Brasil e India) [13-18], sigue siendo necesario profundizar en su estudio, puesto que aún es un criterio sin globalizar, sobre todo en la industria de la construcción.

El ACV es una metodología científica coadyuvante en la gestión medioambiental de los productos o de los procesos, que ha demostrado su validez para evaluar los impactos potenciales al medio ambiente ocurridos durante sus ciclos de vida. En este se pueden considerar todas las etapas que intervienen en su consecución, desde la extracción de la materia prima hasta su propia eliminación, es decir es un análisis “de la cuna a la tumba”. Además permite participar de forma asertiva en la mejora sostenible y promete enlazar todos los procesos y productos que están involucrados en ésta. Los cuatro pasos fundamentales del ACV son [12]:

- Definición del objetivo y alcance
- Análisis del inventario
- Evaluación de los impactos ambientales
- Interpretación de los resultados

La consecución de este trabajo se llevará a cabo mediante el seguimiento de dicho procedimiento.

Por otra parte, las envolventes de los edificios son elementos que permiten canalizar el flujo de energía en la fase de operación. Investigaciones previas indican que la envolvente o caja térmica, es la clave para que un edificio sea eficiente y confortable [19], ya que mediante ésta, se pueden reducir las emisiones operacionales [20]. En algunos estudios se han analizado las partes de la envolvente por separado, proponiendo el uso de diferentes tecnologías, como muros verdes para cerramientos [21] y techos verdes [22]. A pesar de que se han encontrado beneficios aún no está claro el comportamiento ecológico y económico de los cerramientos y de todas las partes de la envolvente, por lo que su estudio sigue siendo una necesidad.

Por lo mencionado con anterioridad, el objetivo de este trabajo es verificar la efectividad del ACV en la evaluación comparativa de sistemas constructivos de viviendas; y para lo cual, se han comparado dos sistemas de cerramientos habituales del ámbito español actual.

1.1. Objetivo y alcance del ACV

El objetivo de este ACV es analizar dos sistemas de cerramientos típicos en la edificación española, con el fin de definir qué opción es más conveniente para llevar a la práctica. Los resultados pueden proveer de herramientas a los encargados de la construcción para la elección del cerramiento más adecuado en temas medioambientales.

El alcance de este análisis se limita a la comparación de dos sistemas que hacen función de cerramientos, constituidos por una cara vista con dos hojas y un aislante térmico intermedio. En la Tabla 1 se muestran las características de los dos sistemas y en la Figura 1 se muestran las secciones de los cerramientos.

Tabla 1. Características de las muestras de estudio.

Constitutivo	Clave	Sistema 1. CON-EPS	Clave	Sistema 2. CER-LR
Hoja exterior: pared de cerramiento apoyada a una cara vista	Con-EPS 1	Bloque hueco de concreto de 400x150x200, liso, gris con componentes hidrofugantes, categoría I según la norma UNE-EN 771-3, tomado con mortero mixto 1:2:10 de cemento Portland con caliza. 15 cm de espesor.	Cer-LR 1	Ladrillo perforado de 290x140x50mm, HD, categoría I, según la norma UNE-EN 771-1, tomado con mortero 1:2:10 con cemento CEM II. 14 cm de espesor.
Hoja interior: muro tabicón	Con-EPS 2	Ladrillo hueco doble de 290x140x100 mm, LD, categoría I, según la norma UNE-EN 771-1, para revestir, colocado con mortero mixto 1:2:10. 10 cm de espesor.	Cer-LR 2	Ladrillo hueco doble de 290x140x100 mm, LD, categoría I, según la norma UNE-EN 771-1, para revestir, colocado con mortero mixto 1:2:10. 10 cm de espesor.
Aislamiento	Con-EPS 3	Planchas de poliestireno expandido (EPS), de 30 kPa de resistencia a la compresión, de 40 mm de espesor, 0,85 m ² .K/W de resistencia térmica, densidad de 9 a 55 kg/cm ³ .	Cer-LR 3	Placa rígida de lana de roca (LR) UNE-EN 13162, de densidad 66 a 85 kg/m ³ de 40 mm de espesor, 1,053 m ² .K/W de resistencia térmica, colocada con mortero adhesivo.
Otros	Con-EPS 4	Acero en barras corrugadas B500S de límite elástico ≥ 500 N/mm ² para el armado de paredes de bloques de mortero de cemento.	Cer-LR 4	Enfoscado a buena vista sobre paramento vertical exterior, a 3,00 m de altura, como máximo, con mortero uso corriente (GP) de designación CSIII W1, según la norma UNE-EN 998-1, fratasado.

*Fuente Base de datos BEDEC de ITeC [23].

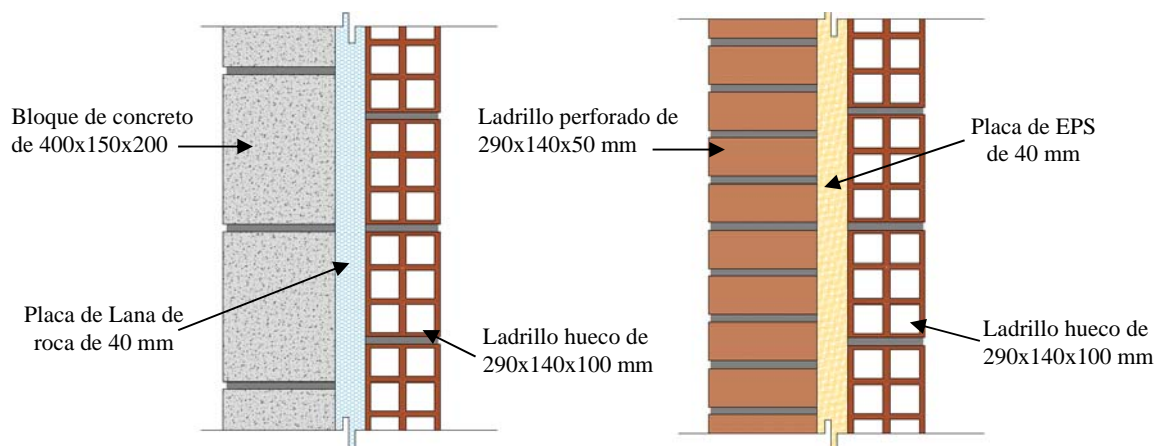


Figura 1. Sistemas de cerramientos a) Con-EPS y, b) Cer-LR.

La unidad funcional considerada fue de tipo físico, debido a que el objetivo del ACV es comparar cuantitativamente los efectos medioambientales de cada uno de los sistemas, para lo cual, se utilizó el m² de cerramiento. Por otra parte en cada sistema constructivo se ha considerado el enfoque llamado “de la cuna a la puerta”, incluyendo las etapas de extracción y producción de los materiales y de la construcción de los sistemas de cerramientos evaluados, y dejando de lado, las etapas de uso y su disposición final.

Para la evaluación de los impactos ambientales se utilizó el Software LCA Manager 1.3, el cual es una herramienta de EcoInnovación que permite evaluar y cuantificar los recursos utilizados y sus afecciones medioambientales [24], basada en la metodología del ACV (ISO 14040/44: 2006). Utiliza la base de datos ECOINVENT, la cual incluye datos consistentes, transparentes y actuales para suministro de energía y materiales, extracción de recursos, uso de productos químicos, metales, agricultura, servicios, gestión de residuos y transporte [25].

El método de impacto ambiental seleccionado fue el Ecoindicador 99, el cual se adecua a la realidad de la edificación española. De éste se analizaron los tipos de daños que agrupan a las once categorías de impacto. Siento éstas las siguientes:

- Daños a la salud humana: cancerígenos, cambio climático, radiación, efectos respiratorios, disminución de la capa de ozono.
- Daños a la calidad del ecosistema: acidificación y eutrofización, ecotoxicidad, y uso del terreno.
- Daños a los recursos: extracción de minerales y combustibles fósiles [26].

En un principio se analizaron las 10 categorías de impacto (CI) que incluye el método. Sin embargo después de realizar el primer análisis se seleccionaron aquellas que produjeron las cargas ambientales más grandes: uso de suelo, cancerígenos, cambio climático, efectos respiratorios y uso de combustibles fósiles. Asimismo, se analizaron en conjunto los daños ocasionados a la calidad del ecosistema, a los recursos y a la salud humana considerando todas las categorías de impacto.

La calidad de los datos es de relevancia, debido a que la base de datos BEDEC es exclusiva del ámbito catalán, mientras que la base de datos ECOINVENT considera datos europeos promedio, así como también datos específicos de algunos países de Europa (Suiza, Alemania, Francia, entre otros). Por último se espera que los resultados obtenidos sirvan de herramienta de apoyo en la selección de cerramientos de vivienda y edificios, y se considera de importancia analizar en trabajos futuros la etapa de uso del edificio y del final de la vida.

2. INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA

El inventario se obtuvo de las bases de datos ECOINVENT para el caso de la extracción y la producción de los materiales de los dos sistemas y de la base de datos del Banco BEDEC de Instituto de Tecnología de la Construcción (ITeC) para cuantificar las cantidades de material necesario para la fabricación de 1 m² de sistema constructivo. Para llevar a cabo dicha cuantificación se consideraron algunas propiedades básicas de los materiales, como sus densidades promedio, sus dimensiones, su conductividad térmica (para el caso de los aislantes), entre otros. En la figura 2 se observa el proceso de inventario de los sistemas de cerramientos.

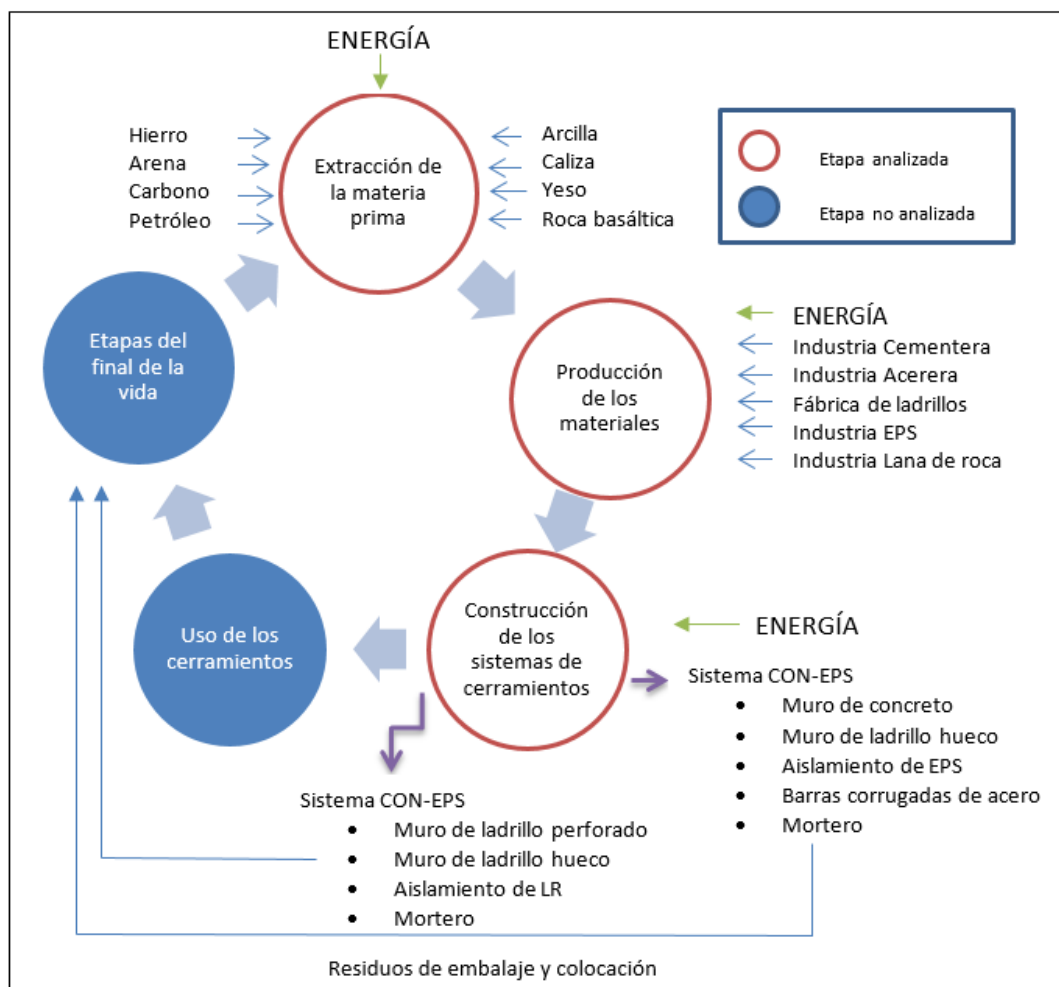


Figura 2. Proceso de inventario del ciclo de vida de los cerramientos

La etapa de construcción comprende el gasto de energía generado por la mano de obra y la maquinaria primaria y secundaria, utilizada en la fabricación de los sistemas constructivos (de todos sus elementos: muros, aislantes, entre otros), así como también las emisiones que se producen en la utilización de dicha energía y los residuos resultantes de los embalajes de los productos y de la colocación de los mismos. En la Figura 3 se observan los insumos necesarios para la etapa de construcción. Considerando los totales de cada sistema de cerramiento, se observa que el sistema 2 es el que requiere más energía, por consecuencia también es mayor generador de emisiones de CO₂. Sin embargo, ambos sistemas tienen un comportamiento muy similar, siendo tan solo un 6% más contaminante el sistema 2 respecto a consumo de energía y emisiones de CO₂ en dicha etapa del análisis.

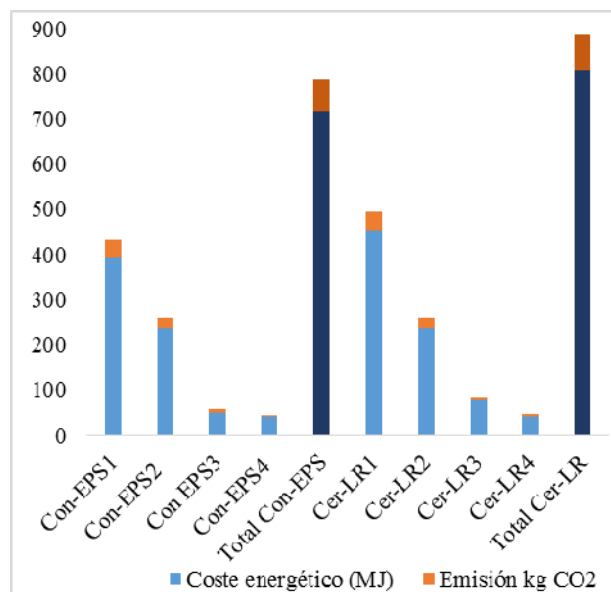


Figura 3. Costo energético y emisiones de CO₂ de la etapa de construcción.

Por otro lado, en la figura 4, se observan los residuos generados por el embalaje y la colocación de cada sistema. Para el sistema 1 se genera un total de 14.4 kg de residuos/m² de cerramiento, mientras que para el sistema 2 se genera un total de 18.16 kg de residuos/m² de cerramiento (24% mayor), por lo que el sistema 1 sigue siendo más eficiente en la etapa de construcción. Analizando a detalle la figura, se puede observar que para ambos sistemas, la mayor cantidad de residuos son de concreto y de ladrillos, siendo menores las pérdidas para el aislamiento y despreciable el embalaje y el acero.

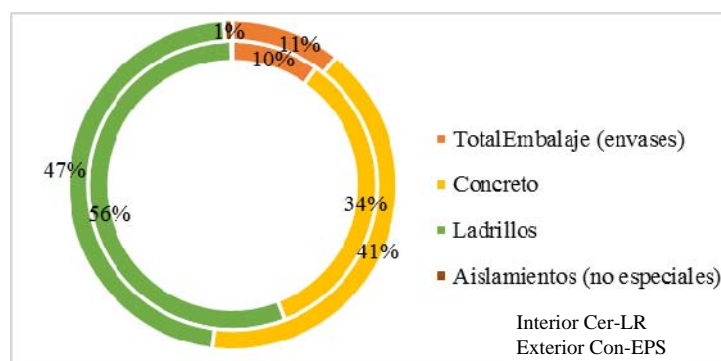


Figura 4. Residuos resultantes del embalaje y la colocación.

3. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Los resultados de la evaluación ambiental indican que las etapas que más daño producen al ecosistema, son la etapa de extracción y la etapa de producción de los materiales, siendo (en comparación) despreciable el daño que causa la construcción de los cerramientos (lo cual no debe considerarse como una tendencia general en la evaluación de componentes de edificación). En la Figura 5 se puede observar el comportamiento ambiental de los dos sistemas de cerramientos, ilustrado en porcentaje de daño causado a la calidad del ecosistema, al consumo de los recursos naturales, a la salud humana y el porcentaje de daño total que produce cada sistema de cerramiento con respecto a un total formado por ambos. Es visible que el sistema compuesto por muros cerámicos (principal y secundario) y que está aislado con lana de roca (sistema 2), es más contaminante que el sistema formado por muro principal de concreto, muro secundario de muro cerámico y aislante de poliestireno expandido (sistema 1), en un orden aproximado de 2:1. Lo cual se hace más visible en el consumo de recursos naturales y en los daños a la salud humana.

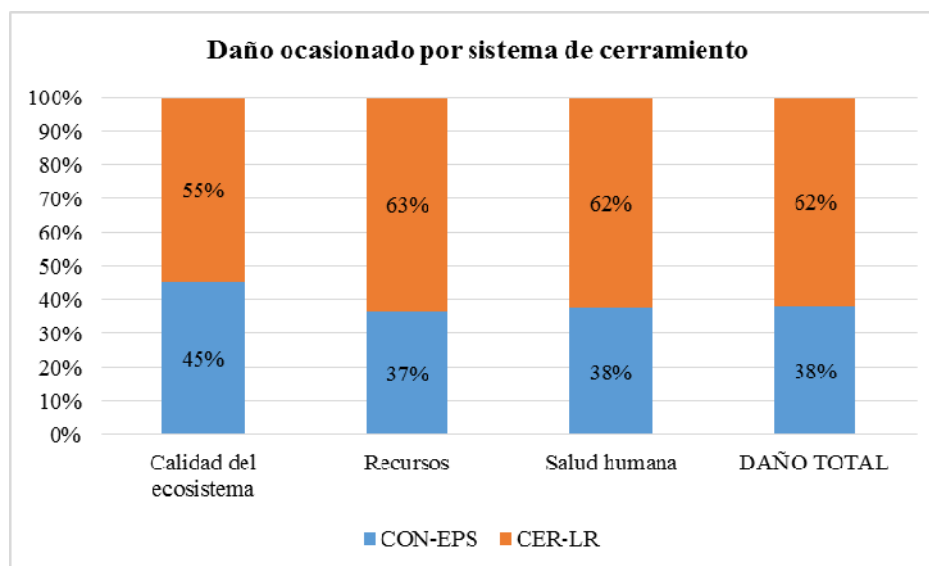


Figura 5. Daño (por grupo de CI) ocasionado por los sistemas de cerramientos.

En la figura 6 se expone el daño que causa cada elemento de los sistemas de cerramiento a cada grupo de las categorías de impacto estudiados (en ecopuntos). De forma general el sistema 1

ocasiona menos daños en todas las categorías. Siendo la pared de ladrillo perforado de alta densidad (HD) la más dañina, seguida de la pared de bloque de concreto y el muro de ladrillo de baja densidad (LD) con valores similares, lo cual se atribuye a las altas temperaturas necesarias para la realización de estos materiales cerámicos y a la alta cantidad de materiales que se requieren para su elaboración, sobre todo en el caso del ladrillo de alta densidad. De la comparación de ambos aislantes se puede observar que el aislante de lana de roca ocasiona menos daños, lo cual es atribuible a su composición natural de lava volcánica, mientras que el aislante de poliestireno expandido proviene de un proceso artificial de un producto no renovable (petróleo). Por último componentes secundarios en los sistemas como el acero de refuerzo y el mortero para el enfoscado, causan los menores daños, que en parte se debe a la cantidad no representativa en comparación de los demás componentes.

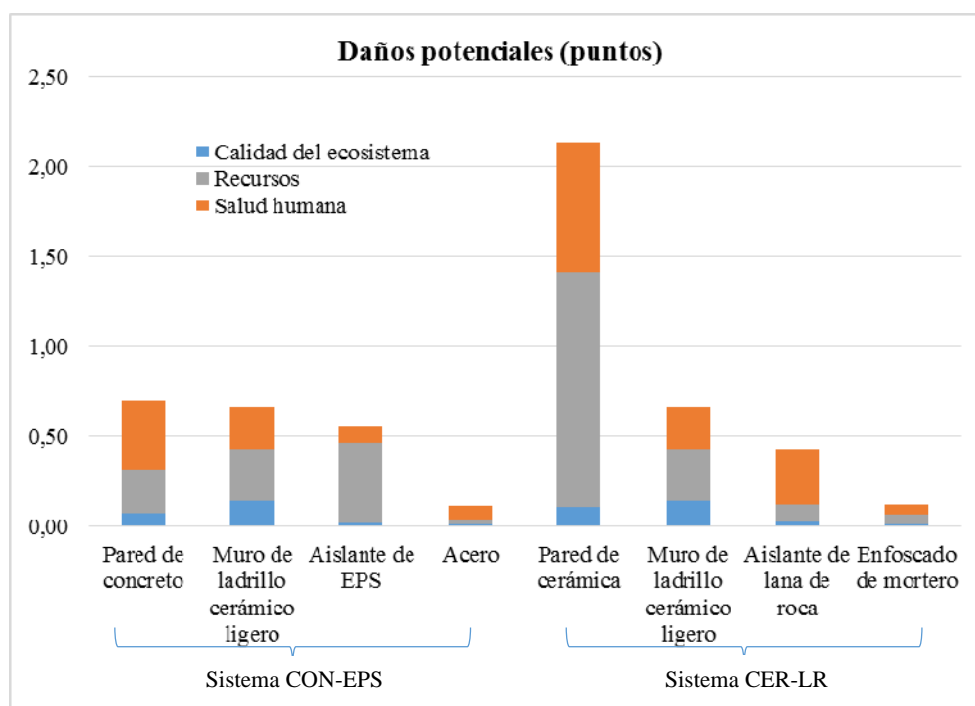


Figura 6. Daño (por grupo de CI) ocasionado por cada elemento de los cerramientos.

Por último en la figura 7 se comparan los daños que ocasionan en su conjunto cada sistema de cerramientos en las categorías de impacto que se seleccionaron por ser representativas para el estudio, después de desechar aquellas donde el impacto era menor al 5% del resto de los indicadores. También se compara el total de daño que causa cada sistema en cada grupo de las categorías de impacto y el daño total dado de la suma de los puntos de los grupos de las categorías de impacto. En general se ve que el daño global se ve gobernado por el sistema de paredes de ladrillo cerámico y aislante de lana de roca, lo cual es más visible para las categorías de daño a los combustibles fósiles, a los efectos respiratorios y al cambio climático. Mientras que para el caso de las categorías de uso de suelo y cancerígenos, ambos sistemas generan en proximidad el mismo efecto, siendo más alto el sistema 2.

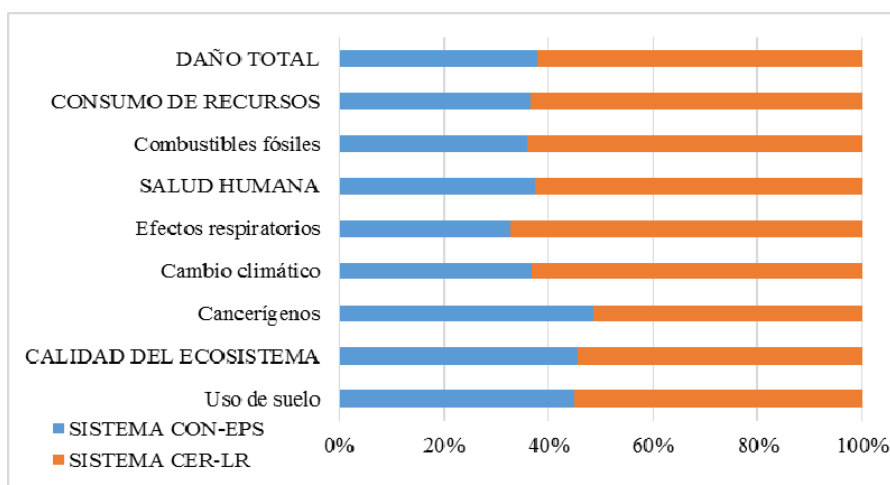


Figura 7. Comparación general de los sistemas de cerramientos y las CI.

4. CONCLUSIONES

Por medio de Análisis de Ciclo de Vida fue posible analizar una parte fundamental de la caja térmica utilizada en la edificación de vivienda: el cerramiento. De las dos opciones analizadas, se encontró que la opción formada por hoja principal de concreto y aislamiento de poliestireno expandido, tiene un comportamiento ambiental más adecuado que la opción formada por pared de ladrillo perforado de alta densidad y aislante de lana de roca. Además al momento de desglosar los componentes se pudo verificar que la opción 2, era desfavorable en específico, por la pared de ladrillos de alta densidad, mientras que el aislante de lana de roca tiene un comportamiento ambiental más deseable que el poliestireno expandido, lo cual se debe a la naturaleza de ambos (roca volcánica y petróleo, en orden de mención).

Además, se encontró que el muro de bloque de concreto tiene un comportamiento ambiental similar al del ladrillo de baja densidad, por lo que es recomendable utilizar, ya que el primero hace función de hoja principal a una cara vista, mientras que el segundo fungió como hoja secundaria, contemplado para revestir.

Por otra parte, es recomendable realizar combinaciones de los distintos elementos para formar más opciones de cerramientos, como por ejemplo utilizar hoja principal de bloque de concreto y aislamiento de lana de roca. También es importante evaluar la etapa de uso del edificio, para describir como se comportan ambos sistemas en conjunto y como repercute en la eficiencia energética a lo largo de su vida útil.

Por último se evidenció que mientras más complejo es un cerramiento mayor será su impacto ambiental en las etapas de extracción, producción y construcción. Sin embargo dicho encarecimiento puede verse compensado, si en la etapa de uso, el cerramiento se comporta de forma eficiente. Así también fue posible verificar que el ACV es una herramienta eficiente y flexible, que tiene un amplio margen de posibilidades de aplicación en el sector de la construcción, que además aporta un sin fin de resultados útiles en la evaluación de materiales y elementos constructivos, que facilitan la toma de decisiones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al programa de becas de doctorado de CONACYT-INAPI, a la ETSAB-UPC, al departamento CAII-EPSEB-UPC, a la FIM-UAS y al proyecto CTT-S1117-UPC.

BIBLIOGRAFÍA

1. De Carvalho Filho, A.C. 2001. ACV de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del CV del cemento. Doctorado en Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puentes de Barcelona.
2. Erlandsson, M., Borg, M. 2003. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs. *Building and Environment*, vol. 38, no. 7, pp. 919-938. ISSN 03601323. DOI 10.1016/S0360-1323(03)00031-3.
3. Zhang, Z., Wu, X., Yang, X., Zhu, Y. 2006. BEPAS—a life cycle building environmental performance assessment model. *Building and Environment*, vol. 41, no. 5, pp. 669-675. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2005.02.028.
4. Xing, S., Xu, Z., Jun, G. 2008. Inventory analysis of LCA on steel- and concrete-construction office buildings. *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 7, pp. 1188-1193. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2007.10.016.
5. Kellenberger, D., Althaus, H.-J. 2009. Relevance of simplifications in LCA of building components. *Building and Environment*, vol. 44, no. 4, pp. 818-825. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2008.06.002.
6. Ortiz, O., Castells, F., Sonnemann, G. 2009. Sustainability in the construction industry: a review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 1, pp. 28-39. ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012.
7. Ramesh, T., Prakash, R., Shukla, K.K. 2010. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 10, pp. 1592-1600. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.05.007.
8. O'Reilly Días, V., Bancroft, R., Ruiz-Gutiérrez, L. 2010. Las tecnologías del concreto en su ciclo de vida. *Concreto y cemento*, vol. 1. no. 2, pp. 42-47. [En línea] [Consulta: 18 de junio de 2015] Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ccid/v1n2/v1n2a4.pdf>
9. Cabeza, L.F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., Castell, A. 2014. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, pp. 394-416. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2013.08.037.
10. Hunkeler, D., Yasui, I., Yamamoto, R. 1998. LCA in Japan: policy and progress. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 3, no. 3, pp. 124-130. ISSN 0948-3349. DOI 10.1007/BF02978820.
11. Buyle, M., Braet, J., Audenaert, A. 2013. Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 26, pp. 379-388. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2013.05.001.
12. ISO 2006 ISO 14040. Environmental management: life cycle assessment: principles and framework, 2006.
13. Scheuer, C., Keoleian, G.A., Reppe, P. 2003. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications.

- Energy and Buildings, vol. 35, no. 10, pp. 1049-1064. ISSN 03787788. DOI 10.1016/S0378-7788(03)00066-5
14. Venkatarama Reddy, B., Jagadish, K. 2003. Embodied energy of common and alternative building materials and technologies. *Energy and Buildings*, vol. 35, no. 2, pp. 129-137. ISSN 03787788. DOI 10.1016/S0378-7788(01)00141-4.
 15. Parra-Saldivar, M.L., Batty, W. 2006. Thermal behaviour of adobe constructions. *Building and Environment*, vol. 41, no. 12, pp. 1892-1904. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2005.07.021.
 16. Chel, A., Tiwari, G.N. 2009. Thermal performance and embodied energy analysis of a passive house – Case study of vault roof mud-house in India. *Applied Energy*, vol. 86, no. 10, pp. 1956-1969. [Consulta: 21 enero 2015]. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2008.12.033.
 17. Shukla, A., Tiwari, G.N., Sodha, M.S. 2009. Embodied energy analysis of adobe house. *Renewable Energy*, vol. 34, no. 3, pp. 755-761. ISSN 09601481. DOI 10.1016/j.renene.2008.04.002.
 18. Güereca, L.P., Sosa, R.O., Gilbert, H.E., Reynaga, N.S. 2015. Life cycle assessment in Mexico: overview of development and implementation. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 20, no. 3, pp. 311-317. ISSN 0948-3349. DOI 10.1007/s11367-014-0844-9.
 19. Zabalza-Bribián, I., Aranda-Usón, 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*, vol. 44, no. 12, pp. 2510-2520. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2009.05.001.
 20. Iddon, C.R., Firth, S.K. 2013. Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK. *Energy and Buildings*, vol. 67, no. 2013, pp. 479-488. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2013.08.041.
 21. Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, a. L. a, Haas, E.M., Raiteri, R. 2011. Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 3419-3429. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2011.09.010.
 22. Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., Pressnail, K. 2006. Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. *Environmental science & technology*, vol. 40, no. 13, pp. 4312-4316. ISSN 0013-936X. DOI 10.1021/es0517522.
 23. Instituto de Tecnología de la Construcción. Base de datos BEDEC. [www.itec.es]. [Último acceso: 15-09-2015]
 24. Simpple Efficient Solutions. (2010) Manual del usuario: LCA Manager versión 1.3. (Tarragona, España).
 25. ECOINVENT, 2015 Ecoinvent Centre [www.ecoinvent.org]. [Último acceso: 15-09-2015]
 26. Aranda-Usón, A., Zabalza-Bribián, I., Martínez-Gracias, A., Valero-Delgado, A., Scarpellini, S. (20XX) El Análisis del ciclo de vida, como herramienta de gestión empresarial. Editorial FC. Capítulo 3: pp: 65-100.