

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MODULAR HOUSING AND PROPOSALS FOR IMPROVEMENT

Pacheco Blanco, B.¹; García, J.²; Bastante Ceca, M.¹

¹ Grupo ID&EA. Dpto. Proyectos de Ingeniería. UPV, ² Universitat Politècnica de València

The building sector generates large environmental impacts throughout the whole life cycle of their products and constructions. Furthermore, the present economic crisis requires the responsible of the projects to add value in new constructions. One way to add value is through the improvement of the environmental performance of buildings.

In this paper, we analyze the relationship between the building sector and the environment, as well as the possibilities to reduce the environmental impacts in general. The case study is based on the analysis of a single family home prefab, and this identifies the aspects with the higher environmental impacts during the life cycle through a Life Cycle Assessment (LCA) following the standard methodology, as indicated by the ISO 14044:2006, from which some improvement alternatives will be proposed.

LCA results showed that the highest impacts to the environment are come from steel and polyurethane. Through the “Wheel of strategies of ecodesign”, some interventions were proposed focusing on the reduction both of weight and the amount of materials used, and also the substitution of these materials by others with lower impact.

Keywords: *Building sector; LCA; Ecodesign*

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE UNA VIVIENDA MODULAR Y PROPUESTAS DE MEJORA

El sector de la construcción genera grandes impactos al medio ambiente durante todo el ciclo de vida de sus productos. Asimismo, la crisis económica por la que atraviesa el sector obliga a los constructores a añadir valor en las nuevas viviendas. Una forma de añadir valor es a través del comportamiento ambiental de las construcciones.

En este artículo, se analiza la relación del sector de la construcción con el medio ambiente y las posibilidades de reducción de impacto ambiental en general. El caso de estudio, basado en el análisis de una vivienda unifamiliar prefabricada, identifica los puntos de mayor impacto durante el ciclo de vida a través de un Análisis del Ciclo de Vida (ACV), siguiendo las indicaciones de la normativa ISO 14044:2006, a partir del cual se plantean alternativas de mejora.

Los resultados del ACV indican que el acero y el poliuretano son los materiales de mayor impacto en el caso de estudio. A través de la rueda de las estrategias de ecodiseño se proponen actuaciones centradas en reducción en cantidad y peso de los materiales usados, así como el reemplazo por otros de menor impacto.

Palabras clave: *Sector de la construcción; ACV; Ecodiseño*

1. Introducción

La relevancia de la vivienda modular en la construcción actual, radica en el ahorro de tiempo y costes tanto para los constructores como clientes finales, sin mermar la calidad del resultado final y simplificando el proceso de fabricación en general.

El objetivo de este artículo es mostrar cómo a través del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se pueden identificar aquellas etapas susceptibles de mejora desde el punto de vista medioambiental y en consecuencia, reducir los impactos al medio ambiente del caso de estudio (vivienda modular). A pesar del exhaustivo análisis llevado a cabo, no se incluye en análisis del consumo energético total de la vivienda en uso por falta de datos reales.

La relevancia de las viviendas modulares en la construcción actual radica en el ahorro de costes y de tiempo para los constructores y clientes finales, sin mermar la calidad de la construcción y simplificando el proceso de fabricación general¹. Sin embargo la simplicidad del módulo presentado, necesita ser evaluado de un modo más riguroso para mejorar el comportamiento ambiental del producto y ofrecer una ventaja comparativa de los productos a partir de la reducción de materiales y piezas de la construcción sin mermar en la calidad del producto final.

A través del caso de estudio, se demuestra la mejora del comportamiento ambiental en un módulo, gracias a la aplicación del ecodiseño basado en los resultados del Análisis del Ciclo de Vida y son propuestas una serie de mejoras que se centran en la reducción de cantidad y peso de los materiales utilizados.

2. Análisis de la situación actual del sector de la construcción y la importancia de la vivienda modular

El sector de la construcción genera el 10% del PIB de la Unión Europea y es uno de los más complejos en cuanto a relaciones entre las dimensiones del desarrollo sostenible (Tarantini et al., 2011). El sector de la construcción consume cerca del 40% la energía y de materiales de los países desarrollados y es responsable de la generación de entre el 30 y 50% de los residuos generados (Varnäs, Balfors, and Faith-Ell, 2009). En consecuencia, todos los productos resultantes del sector de la construcción generan un gran impacto al medio ambiente desde el uso de recursos no renovables, uso intensivo de energía durante el uso, y la cantidad de residuos generados, tanto en el proceso de construcción como en el fin de vida (muchos de ellos contaminantes).

El caso de estudio analizado en este documento “Vivienda Unifamiliar”, permite comparar “módulos tipo” de construcción, ofreciendo a los clientes una aproximación al impacto ambiental de cada uno de esos módulos.

¹ Este estudio se centra en la evaluación de aspectos ambientales del caso de estudio, mediante el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). En futuras investigaciones sería interesantes incorporar los aspectos económicos asociados, mediante el Análisis del Ciclo de Costes (ACC).

3. Caso de estudio: vivienda modular

El caso de estudio es proporcionado por la empresa Acustiter, especialista en montaje de paneles sándwich y construcción en seco para la fabricación de módulos habitables. Tiene su sede central ubicada en Murcia y su área de actuación se centra principalmente en la Región de Murcia y las provincias de Albacete, Almería, Alicante y Valencia.

El módulo a revisar fue diseñado teniendo en cuenta un montaje fácil y rápido a un precio altamente competitivo. De trazos simples resulta la “Vivienda Caja” (nombre comercial- Figura 1), que será próximamente comercializado.

Figura 1. Caso de estudio “Vivienda Caja”. Fuente: Elaboración propia

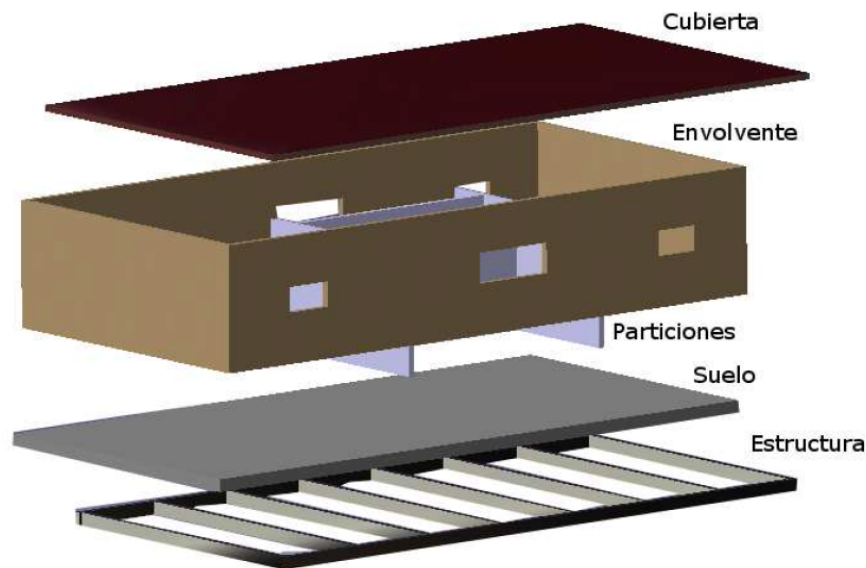


La identificación de la tipología de la vivienda atiende principalmente tres criterios: la interacción con el resto de viviendas y entorno, el tamaño y el sistema constructivo. Según la interacción con otras viviendas, la tipología del caso de estudio está dentro de la edificación unifamiliar aislada, pensada para ser situada en una parcela independiente y que sirva de residencia habitual, para una sola familia.

Según el tamaño de las construcciones aisladas unifamiliares, se pueden encontrar dos grandes grupos: las grandes viviendas y los espacios reducidos. El caso de estudio propuesto, aborda un pequeño espacio debido a la importancia del criterio económico en este tipo de diseño constructivo. Sin embargo, este módulo pequeño puede ser ampliado en función de los requerimientos y posibilidades del cliente.

La vivienda está constituida por una estructura de anclaje al suelo, una envolvente de paneles sándwich con una puerta y seis ventanas. Los paramentos para las particiones interiores son placas de yeso.

Figura 2. Composición de “Vivienda Caja”. Fuente: Elaboración propia

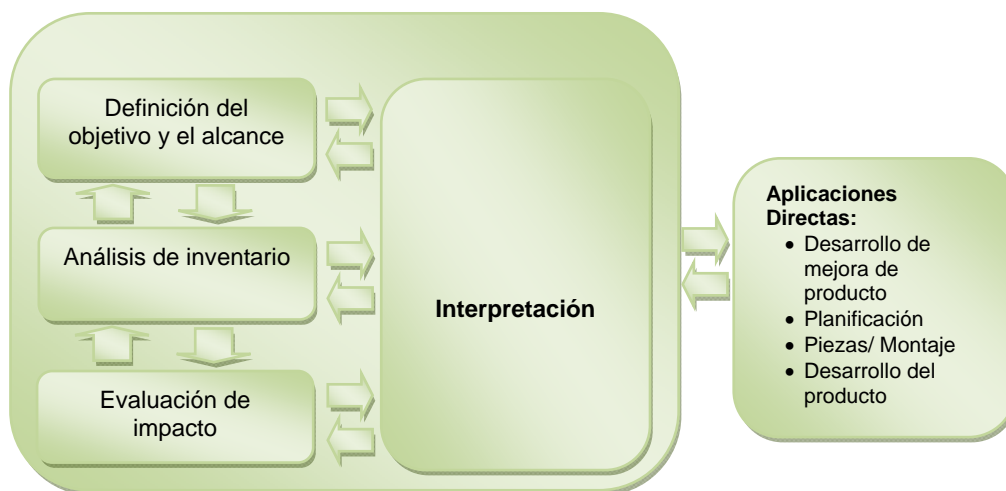


El módulo de “vivienda unifamiliar” tipo, es un sistema de construcción prefabricado de “paneles sándwich” de 10 por 1 metro, que son usados para el montaje del suelo, los paramentos verticales y la cubierta. El recubrimiento interior está compuesto por paneles modulares de yeso laminado (Figura 2).

4. Análisis del ciclo de vida de la vivienda unifamiliar

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), consiste en analizar los impactos ambientales que son provocados durante todo el ciclo de vida de un producto. Para su aplicación, conviene seguir los pasos de la normativa UNE- EN ISO 14044: 2006 (AENOR, 2006), compuesta de 4 partes: definición de objetivo y alcance, análisis de inventario, evaluación de impactos e interpretación (Figura 3).

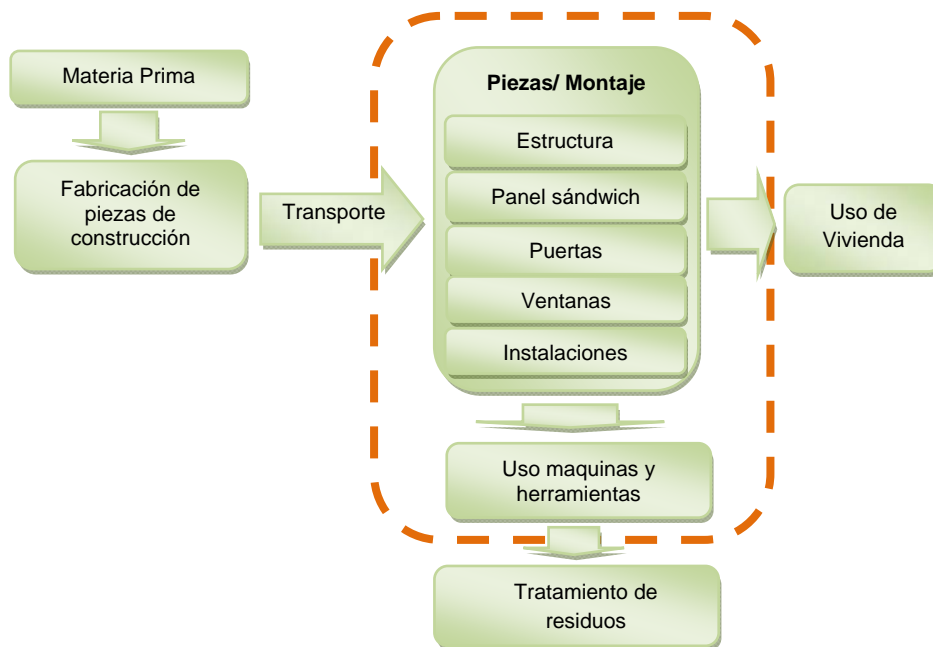
Figura 3. Esquema de Análisis del Ciclo de Vida. Fuente: AENOR, 2006.



El objetivo principal de este ACV es conocer el comportamiento ambiental de la vivienda unifamiliar tipo, para mejorar la propuesta desde un enfoque sostenible tanto para la empresa, el medio ambiente y los clientes.

De los límites del sistema se han excluido del estudio todos aquellos procesos que ocurren fuera del alcance de la empresa de montaje. Es decir, la fabricación y extracción de materiales y el funcionamiento del producto acabado. Y siempre que se disponga de datos se incluirán (Figura 4).

Figura 4. Límites del sistema. Fuente: Elaboración propia



La unidad funcional usada es el “metro cuadrado construido”, determinado previamente por otros autores. Entre ellos, Jonsson, et al. (1998), utiliza el metro cuadrado de edificio construido como unidad funcional que le permite comparar el hormigón y marcos de acero con otros materiales alternativos que reducen el impacto ambiental en la edificación. Thiers y Peuportier (2011), analizan el ciclo de vida de diferentes casas unifamiliares.

La evaluación de impactos se lleva a cabo con el método Eco Indicator 99 de la base de datos SIMAPRO. Las categorías de impacto que incluye son: Salud Humana (Cancerígenos, Respirables Orgánicos, Respirables Inorgánicos, Cambio Climático, Disminución de la Capa de Ozono, Radiación Ionizante), Calidad del Ecosistema (Ecotoxicidad, Acidificación/ Eutrofización y Uso de la Tierra), Conservación de Recursos (Minerales y Combustibles Fósiles).

Los datos son proporcionados mayoritariamente por la empresa fabricante y cálculos obtenidos a partir de los datos recibidos. En la definición de hipótesis y limitaciones se ha decidido utilizar en todo momento datos en las fases de fabricación, uso y distribución facilitados en su mayoría por la empresa. Si se ha carecido de datos sobre procesos concretos se han utilizado los procedentes de la Base de datos de Simapro, y en su defecto se han creado nuevos.

Debido a su extensión la información del inventario del ciclo de vida se excluye de este documento. El ACV se ha llevado a cabo utilizando el software “Simapro”, mediante el cual se ha modelado el escenario e introducidos los datos de inventario. Una vez modelado el escenario, se ha realizado el cálculo del balance. Posteriormente se han

interpretado de los datos a través de la normalización para conocer la incidencia de cada categoría de impacto.

La introducción de datos de inventario deja en evidencia la alta incidencia ambiental de los materiales de construcción y de la energía utilizada en los procesos de fabricación. En el caso de estudio, el acero estructural junto con la electricidad usada para su fabricación destacan en el diagrama de flujo, como generadores de impacto al medio ambiente (Figura 5).

Figura 5. Diagrama de flujos del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia

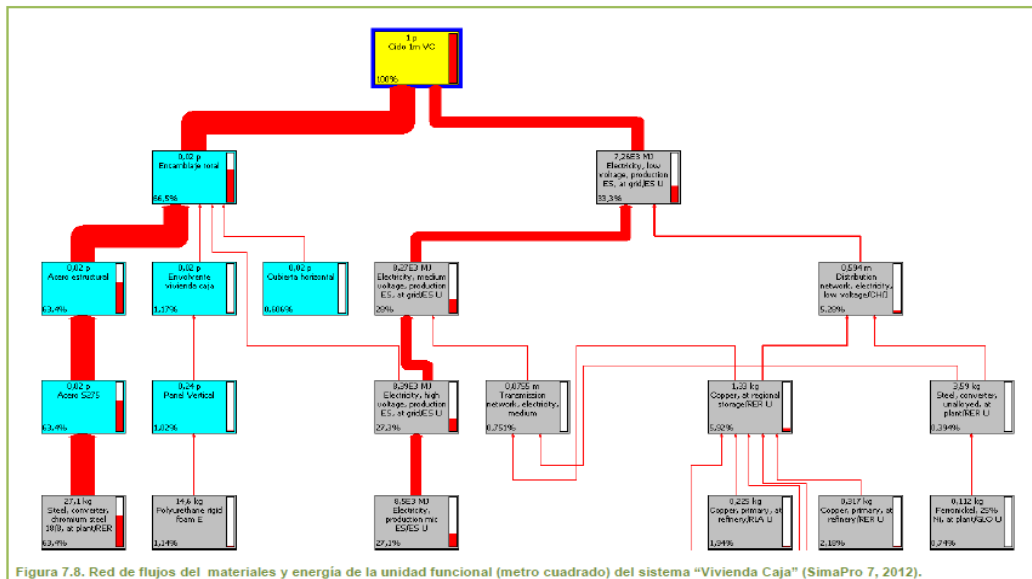
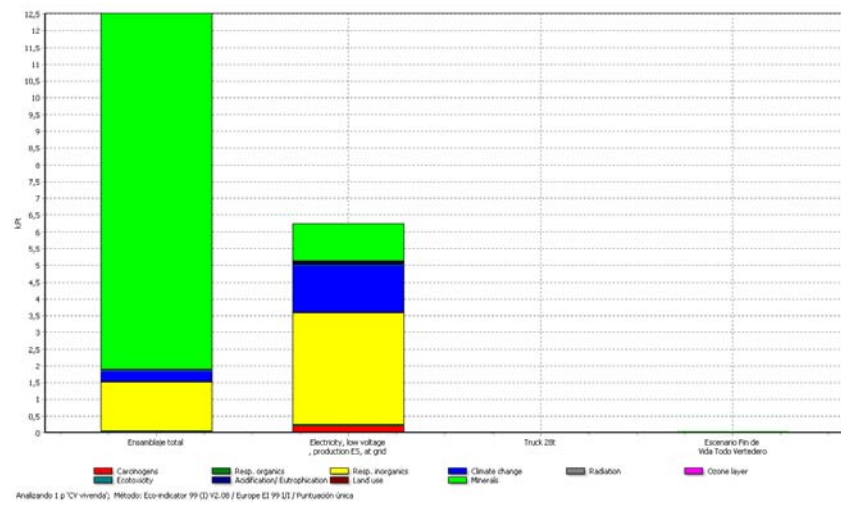


Figura 7.8. Red de flujos del materiales y energía de la unidad funcional (metro cuadrado) del sistema "Vivienda Caja" (Sima Pro 7, 2012).

Asimismo, la Figura 6 muestra el impacto del caso de estudio en cada una de las etapas del ciclo de vida contempladas. El mayor impacto es producido por los materiales empleados, que provienen de la extracción de recursos minerales. En consecuencia, la cantidad de acero utilizado en la construcción resulta crítica en el impacto total de la vivienda, traducido en un alto consumo de materiales no renovables, respirable inorgánicos y contribución al cambio climático.

Figura 6. Contribución de las fases del ciclo de vida del caso de estudio a las distintas categorías de impacto. Fuente: Elaboración propia



Análisis: 1 p. C1 vivienda; Método: Eco-Indicator 99 (U 12.09 / Europe (1993)) / Puntuación única

De la información proveniente del análisis se puede extraer que:

- La mayor parte del impacto ambiental de la vivienda proviene de la estructura soporte debido a su peso y la naturaleza del material que la constituye: acero. Este impacto proviene sobretodo de la extracción de recursos minerales.
- La etapa de uso constituye otra parte importante del impacto ambiental debido al consumo energético. Estos impactos tienen repercusiones sobre diferentes características: cambio climático, de las radiaciones, la sustancias agresoras de la capa de ozono, de las sustancias causantes de la acidificación y la eutrofización, y el del uso del suelo. Aunque esta etapa está fuera de los límites del sistema.

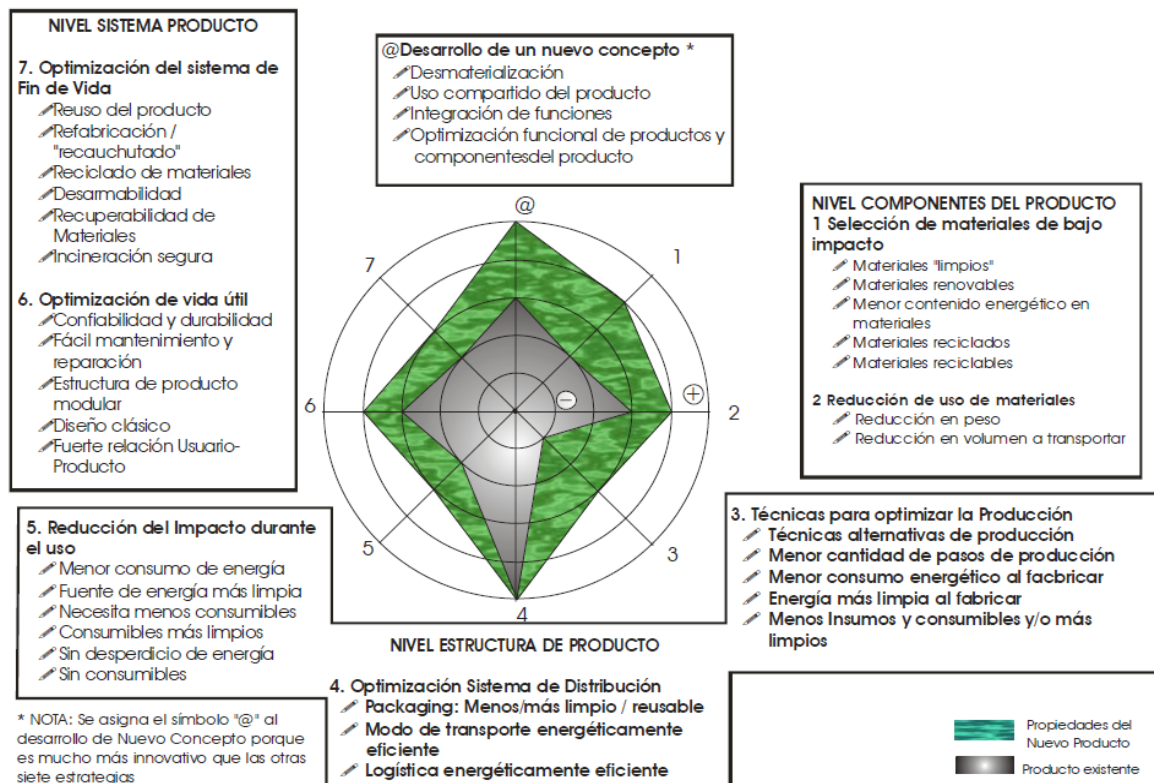
El resto de impacto y donde la empresa puede actuar debido a su experiencia proviene mayormente de la envolvente de panel sándwich.

A partir de esto puntos se proponen las estrategias de mejora del Ecodiseño con el objetivo de reducir el impacto ambiental del módulo estudiado.

5. Rueda de las estrategias y propuestas de mejora

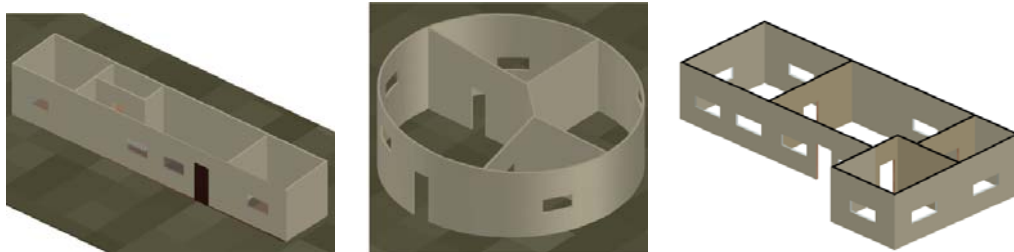
La rueda de LiDS- Lifetime Design Strategies (Van-Hemel, 1998), agrupa 8 estrategias de Ecodiseño que permiten mejorar el producto en uno o más ejes de la rueda (Figura 6). En este caso de estudio, los resultados del Análisis del Ciclo de Vida han permitido identificar las etapas de mayor impacto al medio ambiente así como las contribuciones por categorías de impacto. En aquellas que es viable reducir el impacto ambiental, se plantean alternativas.

Figura 7. Rueda de estrategias de Ecodiseño. Fuente: van Hemel C., 1998



Teniendo en cuenta la estrategia de Ecodiseño “@ de Desarrollo de Nuevo Concepto” se plantea la modificación del diseño de la tipología de la vivienda en función de los resultados generales del ACV. Es decir, se modifica la “Vivienda Unifamiliar tipo” a partir de la reducción de materiales usados, el uso compartido del producto y mejora de la funcionalidad del producto (Figura 8).

Figura 8. Desarrollo conceptual de alternativas. Fuente: Elaboración propia



Las propuestas planteadas persiguen mejorar la relación entre la superficie habitable y materiales empleados. Además estas propuestas podrían mejorar la eficiencia energética durante la etapa de uso.

Otras estrategias de posible aplicación están estrechamente relacionadas con los materiales (desmaterialización, selección de materiales de bajo impacto, etc.). Las cuales, son independientes ya que pueden ser incluidas en cualquiera de las propuestas de desarrollo del nuevo concepto e incluso en el diseño original.

Estrategia 1: Selección de materiales de bajo impacto. Reemplazo de materiales de aluminio/acero por materiales de madera en puertas y ventanas. Recubrimientos interiores en placas de madera aglomerada.

Estrategia 2: Reducción en el uso de materiales. Reducción en el peso al eliminar “falsos techos”.

Estrategia 3: Optimización de las técnicas de producción. La oferta realizada por la empresa promotora se basa en las técnicas de producción modular, que ahorra en tiempo y costes, lo cual es una ventaja diferenciadora respecto a la construcción convencional.

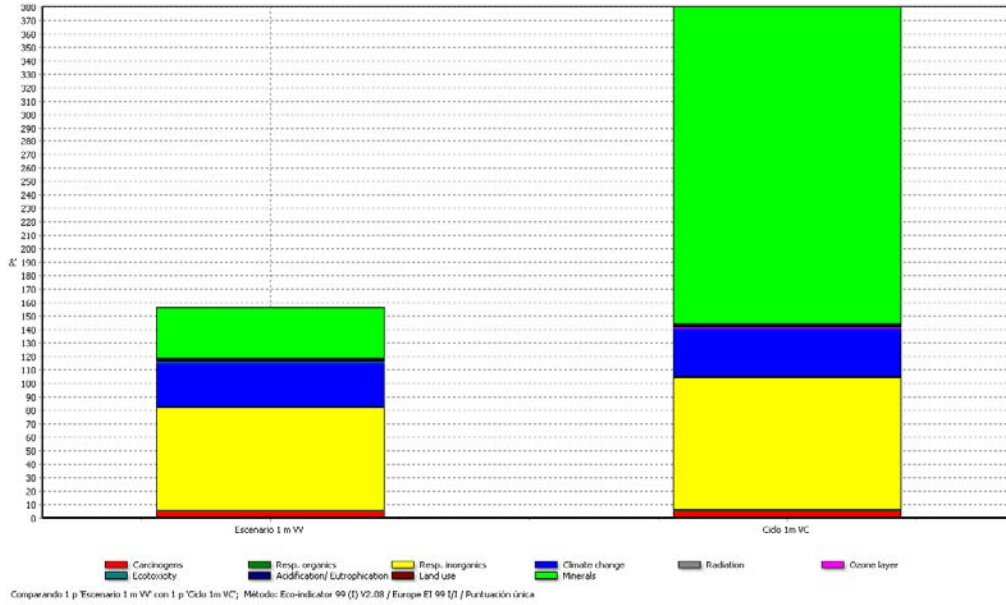
La selección de las mejoras en el diseño (propuestas) atiende a los criterios económico, técnico y de ventas (marketing), se basó en la selección de la alternativas a través de una puntuación de 1 a 10 (nada de acuerdo a completamente de acuerdo). A partir de esta valoración por parte de los implicados de la empresa en este estudio, se obtuvo una selección de acciones viables de implantar en la “Vivienda Unifamiliar tipo”.

- Aumento de tamaño de los módulos para mejorar la relación espacio y materiales para la construcción
- Reemplazo de acero por madera en puertas y ventanas
- Reducción del peso de la estructura de acero
- Sustitución del yeso por madera en los recubrimientos interiores

6. Resultados y conclusiones

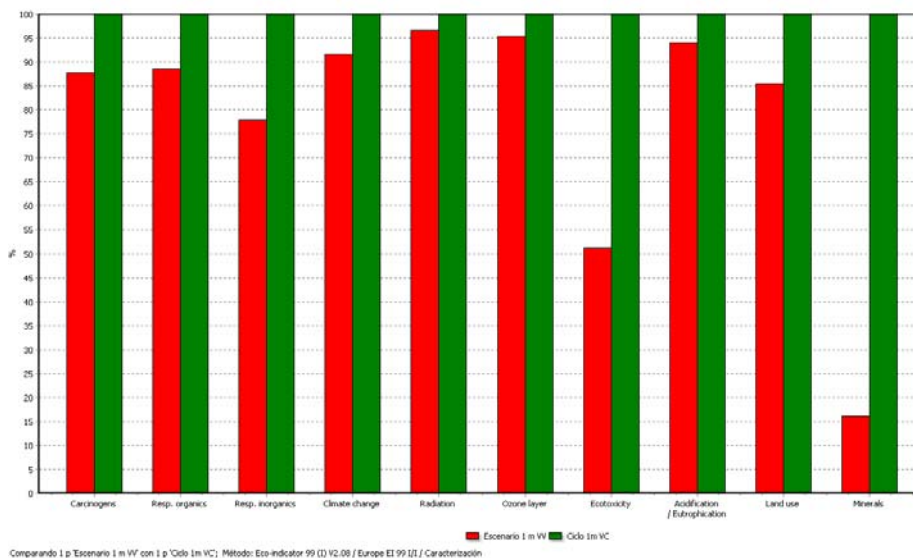
Los resultados demuestran que se reduce significativamente el impacto ambiental con las mejoras propuestas en todas las categorías de impacto (Figura 9).

Figura 9. Resultados del ACV comparativo. Fuente: Elaboración propia



En la figura 10 se observa la reducción de impactos de la vivienda propuesta respecto al caso de estudio. Siendo las mejoras más evidentes en cuanto al impacto sobre el uso de minerales (+80%), ecotoxicidad (+45%) y respirables inorgánicos (+20%).

Figura 10. Resultados comparativos del caso de estudio y la propuesta de mejora. Fuente: Elaboración propia



Los resultados del comportamiento general de la vivienda estudiada y la propuesta, demuestra que en términos generales disminuye más de un 50% de impactos al medio ambiente.

En este artículo se ha analizado los impactos ambientales de una vivienda modular y se ha identificado (en función de los límites del sistema propuestos), que la etapa de mayor impacto es causada por el montaje de los paneles prefabricados. A partir de esta se han propuesto una serie de mejoras encaminadas a la reducción del impacto, cuya viabilidad ha sido evaluada por los promotores de la empresa, que prestan especial atención a la reducción del peso y cantidad de materiales por sus implicaciones económicas.

Con las mejoras propuestas y aceptadas, se puede alcanzar una reducción del 80%, 45% y 20% de los impactos en las categorías de impacto uso de minerales, ecotoxicidad y respirables inorgánicos, respectivamente.

El alcance del ACV debe ser extendido en futuras investigaciones hasta el uso de la vivienda propuesta. De esta forma, puede ser valorado el impacto del consumo energético, que es ampliamente estudiado en el sector por su implicación en el cambio climático. Asimismo, en futuras publicaciones sería interesante abordar el Análisis del Ciclo de Costes de este caso de estudio, ya que ayudaría a contrastar desde el punto de vista económico las implicaciones de las mejoras propuestas.

Referencias

- AENOR (Asociación española de Normalización y Certificación), 2006. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia. (ISO 14040:2006). AENOR, Madrid.
- Eurostat, 2009. European business. Facts and figures. European Commission, Luxemburg
- Jonsson A., Bjorklund T., Tillman A., 1998. LCA of Concrete and Steel Building Frames. Technical Environmental Planning, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden
- Tarantini M., Loprieno A., Porta P., 2011. A life cycle approach to Green Public Procurement of building materials and elements: A case study on windows. Energy 36: 2473-2482
- Thiers S., Peuportier B., 2011. Energy and environmental assessment of two high energy performance residential buildings. Center for Energy and Processes, MINES ParisTech, France.
- van-Hemel C., 1998. EcoDesign empirically explored. Thesis Delft University of Technology, Delft. <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid%3A75508637-dede-40f1-b232-85e12fcc4440/> Consulta: 05/05/2012
- Varnäs A., Balfors B., Faith-Ell C., 2009. Environmental consideration in procurement of construction contracts: current practice, problems and opportunities in green procurement in the Swedish construction industry. Journal of Cleaner Production 17: 1214–1222

Agradecimientos:

Este estudio se llevó a cabo durante 2011-2012 gracias a la información proporcionada por Acustiter.