

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

¹López-Mesa, B.

¹Universidad de Zaragoza, Escuela de Ingeniería y Arquitectura
María de Luna, 3, 50018 Zaragoza
belinda@unizar.es

RESUMEN

Los proyectistas necesitan y necesitarán cada vez más apoyo en relación a la selección de productos y soluciones constructivas para posicionarse en un mercado cada vez más exigente en sostenibilidad. En este contexto se requiere tomar en consideración el nivel de solución constructiva que no ha sido suficientemente desarrollado hasta ahora, de forma que se pueda integrar en este nivel intermedio los requisitos técnicos-funcionales de sostenibilidad en la edificación. Durante 2006-2009, la autora de este trabajo, junto con un equipo de profesores de la Universitat Jaume I de Castellón, desarrolló un trabajo de investigación, financiado por el Ministerio de Fomento (C54/2006, Modelo de evaluación para la asistencia en la selección eco-eficiente de sistemas constructivos en España) cuyo objetivo fue, entre otros, estudiar el uso de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la evaluación de impacto ambiental de sistemas constructivos. En este trabajo, se presentan las principales conclusiones obtenidas.

El proyecto de investigación se abordó mediante el desarrollo de tres casos de estudio: el caso del forjado de placas alveolares frente al forjado de hormigón armado in situ, el caso de la fachada ventilada frente a la fachada caravista de dos hojas cerámicas con aislamiento interior, y el caso de la cubierta plana invertida frente a la cubierta convencional.

Como conclusión se señalan algunos aspectos metodológicos que deben ser considerados en todo ACV de sistemas constructivos y se señala la necesidad de acordar unas reglas para la realización de Análisis de Ciclo de Vida en los sistemas constructivos, debido a la gran complejidad que estos presentan.

Palabras Clave: Análisis de Ciclo de Vida, Construcción, Diseño sostenible.

1.- Introducción

Los agentes de la edificación tienen competencias y responsabilidades en lo relativo al comportamiento ambiental de los productos de la construcción y los edificios, relacionadas con la legislación existente, y se prevé que tendrán muchas más con una futura pero próxima legislación. Ténganse, por ejemplo, en consideración las siguientes regulaciones europeas: Construction Products Regulation [1], Eco-design Directive for Energy related products [2], Waste Framework Directive [3], ISO 21930:2007 [4] y CEN/TC350 Sustainability of Construction Works [5] (Tabla 1).

Title	Referencia	Estado actual	Fecha prevista de disponibilidad
Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Methodology for selection and use of generic data	CEN/TR 15941:2010	Publicado	2010-05-26
Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings - Part 1: General framework	EN 15643-1:2010	Publicado	2010-09-22
Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 2: Framework for the assessment of environmental performance	EN 15643-2:2011	Publicado	2011-03-02
Sustainability of Construction Works - Assessment of Buildings - Part 3: Framework for the assessment of social performance	-	Aprobación	2011-12
Sustainability of Construction Works - Assessment of Buildings - Part 4: Framework for the assessment of economic performance	-	Aprobación	2011-12
Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method	-	Aprobación	2011-10
Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Communication format - Business to Business	-	Aprobación	
Sustainability of construction works - Assessment of social performance of buildings - Methods	-	Aprobación	2013-04
Sustainability of construction works - Environmental product declarations - core rules for the product category of construction products	-	Aprobación	2012-01

Tabla. 1 Sostenibilidad de los trabajos de construcción – Estándares CEN/TC 350 (fuente: European Committee for Standardization [5])

Podemos, por ello, afirmar que los proyectistas necesitan y necesitarán cada vez más apoyo en relación a la selección de productos y soluciones constructivas para posicionarse en un mercado cada vez más exigente en sostenibilidad.

En España, se han desarrollado bases de datos con el objetivo de asistir en la selección de materiales de construcción, como por ejemplo la base de datos “100 materiales sostenibles” desarrollada por ICARO/CTAV [6] (fig. 1).



fig. 1 Captura de pantalla de la base de datos de ICARO/CTAV [6]

Esta base de datos (fig. 1) proporciona información fácilmente interpretable. En ella se muestra el comportamiento de un material desde el punto de vista medioambiental (barra superior) y económico (barra inferior). Su comportamiento

medioambiental es de 33 sobre 100 y el económico de 61 sobre 100. Estos valores se obtienen calculando la media de los puntos obtenidos por el material respecto a unos criterios identificados. Estos puntos pueden ser 0 ó 1.

La simplicidad y lo intuitivo con que la información se muestra en esta base de datos es acertada. Sin embargo, presenta otras desventajas que comentamos a continuación:

- La forma en que se obtiene la puntuación medioambiental no está basada en ningún método científico ampliamente aceptado.
- Los materiales son estudiados como elementos individuales, y no como elementos que trabajan conjuntamente para realizar una cierta función en una solución constructiva. Esto podría conducir a una decisión errónea al utilizar un producto que por sí solo tiene un buen comportamiento ambiental, pero que requiere la utilización de otros productos más perjudiciales para formar parte de un componente o de una solución constructiva. La información a ofrecer a los proyectistas es más significativa y más fácil de usar a nivel de solución constructiva que a nivel de producto de construcción.
- El impacto medioambiental de una solución constructiva no sólo depende de los productos de que se compone, sino también del proceso de construcción, de los requerimientos de mantenimiento, de la longevidad de la solución y sus componentes, de la distancia de los suministradores a la obra, etc.

Esto significa que la selección de soluciones constructivas requiere el rigor de una metodología científica, como el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), como ha sido señalado en la literatura [7].

En el mercado existen programas/esquemas de certificación de edificios, como BREEAM (UK), LEED (USA) y VERDE (España). Estos son voluntarios e introducen una aproximación al ACV para la evaluación y certificación de edificios completos, que ya están siendo ampliamente utilizados en los mercados más exigentes.

Por otro lado, en el mercado existen programas/esquemas de certificación de productos y materiales de construcción, como BRE, EPD y DAPc. Estos son voluntarios y permiten el registro de los certificados ambientales de productos de la construcción según normas internacionales mediante la realización del ACV.

En este contexto se requiere tomar en consideración el nivel de solución constructiva que no ha sido suficientemente desarrollado hasta ahora, de manera que permita:

- Integrar en este nivel intermedio los requisitos técnicos-funcionales de sostenibilidad en la edificación.
- Facilitar a los agentes que realizan la elección de las soluciones constructivas la caracterización, comparación y selección de alternativas a un nivel intermedio entre el edificio y los materiales o productos de la construcción, teniendo en cuenta los requisitos integrados.
- Integrar en las bases de datos de la construcción y catálogo de elementos constructivos españoles criterios ambientales y económicos, con las especificaciones técnicas y funcionales que hoy se contemplan.

Desarrollar la información medioambiental a nivel de solución constructiva requiere determinar y valorar el conjunto de indicadores de sostenibilidad de las soluciones

constructivas, la definición de los algoritmos para la obtención de los resultados de los indicadores de sostenibilidad, y la definición de los datos de inventario necesarios para la aplicación de los algoritmos. Es, por tanto, una empresa de gran envergadura que, de realizarse, supondrá un gran esfuerzo científico al que se deberán sumar, al menos, centros de investigación e instituciones de referencia en el campo edificatorio, contando además con la colaboración de empresas fabricantes.

Durante 2006-2009, la autora de este trabajo, junto con un equipo de profesores de la Universitat Jaume I de Castellón, desarrolló un trabajo de investigación, financiado por el Ministerio de Fomento (C54/2006, Modelo de evaluación para la asistencia en la selección eco-eficiente de sistemas constructivos en España) cuyo objetivo fue, entre otros, estudiar el uso de la metodología de ACV para la evaluación de impacto ambiental de sistemas constructivos. En este trabajo, se presentan las principales conclusiones obtenidas.

2.- La metodología de Análisis de Ciclo de Vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV, en inglés LCA) es una metodología científica ampliamente utilizada para evaluar la carga medioambiental de un producto, proceso o actividad en todo su ciclo de vida. Pretende evaluar los potenciales impactos ambientales causados durante todas las etapas, desde la extracción de las materias primas hasta su residuo final y posible reutilización [8].

La metodología ha de usarse conforme a la norma UNE EN ISO 14040 [9], que especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV, así como conforme a la norma UNE EN ISO 14044 [10], que establece las siguientes fases para llevar a cabo el análisis:

- a) la fase de definición del objetivo y el alcance,
- b) la fase de análisis del inventario,
- c) la fase de evaluación del impacto ambiental, (EICV) y
- d) la fase de interpretación.

Los elementos que se tienen en cuenta en el ACV son:

- Inputs o entradas: recursos, materias primas, productos, energía utilizada, transporte, etc.
- Outputs o salidas: emisiones, residuos, etc.

Según el Athena Institute las etapas a tener en consideración para los inputs de los productos de construcción son [11]:

- Extracción de materias primas. Esta fase incluye la recogida, explotación de minas o explotación de canteras, y actividades como la reforestación y el transporte de las materias primas.
- Fabricación. Esta fase incluye la energía y las emisiones asociadas a la fabricación de los productos de construcción utilizados, incluyendo su embalaje, y posibles transportes asociados.
- Puesta en obra. Esta fase incluye el transporte de los productos de construcción de fábrica a distribuidores, y de estos a obra, así como la energía y recursos consumidos durante la ejecución de las fachadas.

- Ocupación/mantenimiento, también llamada 'fase de uso' o 'fase operacional'. Esta fase tiene en consideración funciones como las de calefacción, refrigeración, iluminación artificial, uso del agua, así como la de utilización de nuevos productos de mantenimiento como pinturas, barnices, solados y otros tipos de acabados.
- Demolición. Esta fase marca el final de la vida del edificio. Incluye la energía y recursos consumidos durante su demolición, y los transportes asociados.
- Reciclado/reutilización/retirada. Esta fase incluye el tratamiento que reciben los materiales de construcción después de la demolición, como reciclado, reutilización, retirada a vertedero o incineración, así como el procesado y transportes asociados.

3.- Aplicación del ACV a los sistemas constructivos

El ACV de edificios difiere del ACV de otros tipos de productos en la importancia de la fase uso debido a la larga vida de los edificios. Los impactos medioambientales son fundamentalmente debidos a la fase de uso de energía durante la ocupación del edificio [7]. En el proyecto de investigación, se pensó que esto debería quedar reflejado en el ACV de los sistemas constructivos, al menos, en el de los pertenecientes a la envolvente térmica del edificio. Por este motivo, se decidió realizar dos casos de estudio diferentes, uno de un sistema constructivo no perteneciente a la envolvente térmica del edificio, y otro que sí lo fuera. Un tercer caso surgió de la necesidad de tomar en consideración en el ACV las diferencias en longevidad de diferentes soluciones constructivas, así como el tratamiento de los materiales en su etapa final de retirada.

De esta manera, se desarrollaron los siguientes casos de estudio de comparación de impacto ambiental:

- Forjados de losas alveolares frente a forjados de hormigón armado in situ. Los forjados in situ son la solución más común en edificación residencial en España. Las placas alveolares están siendo progresivamente más usadas, pero su uso en edificación residencial no es extendido aún. Las placas alveolares se suponen de mayor calidad y de más rápida ejecución. Este estudio nos permitió saber si el impacto ambiental también era un buen argumento o no para favorecer el uso de placas alveolares en el sector residencial.
- Fachada ventilada frente a fachada caravista. Una fachada ventilada en España se suele componer de tres elementos principales: una hoja de ladrillo perforado que constituye el muro base, un aislamiento por el exterior de este muro base, y un revestimiento exterior, a menudo cerámico, transventilado y anclado al muro base por medio de una subestructura de aluminio. Su comportamiento energético es mejor que el de las fachadas de doble hoja cerámica con aislamiento interior, ampliamente usadas en el sur de Europa porque el aislamiento exterior reduce significativamente los problemas de puentes térmicos asociados a la doble hoja cerámica y por los efectos de la cámara ventilada. Sin embargo, el uso del aluminio en la fachada ventilada podría no compensar las ventajas de ahorro energético. Este estudio nos permitió llegar a conclusiones en dicho respecto.
- Cubierta invertida frente a cubierta convencional. Sobre estos tipos de cubierta planas, ampliamente usadas en edificación residencial, existen recomendaciones enfrentadas en lo relativo a su ventaja medioambiental. Por

un lado, se recomienda el aislamiento con lana mineral por ser su fabricación medioambientalmente menos dañina que la de poliestireno extruído utilizado en cubiertas invertidas. Por otro lado, la cubierta invertida se recomienda frente a la convencional por su mayor vida útil. Esta falta de concreción se debe a que en la literatura suelen aparecer datos de materiales de manera aislada, es decir, comparando material a material, cuando lo interesante para un proyectista es conocer el impacto ambiental de la solución constructiva en su conjunto.

3.1.- Aplicación del ACV a sistemas constructivos fuera de la envolvente térmica: el caso del forjado con placas alveolares frente al forjado in situ

El ACV se aplicó al caso de un forjado de placas alveolares frente al de un forjado de hormigón armado in situ en un edificio plurifamiliar compuesto de dos sótanos, planta baja más cuatro plantas de 430 m² (fig. 2) [12].

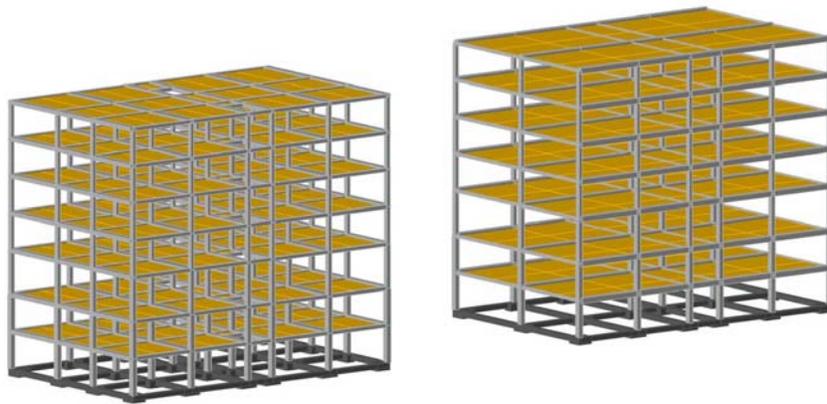


fig. 2 Estructura con forjados hormigón armado in situ frente a estructura con forjados de placas alveolares [12]

La unidad funcional inicialmente pensada fue 1 m² de cada uno de los forjados que cumpliera los mismos requerimientos de resistencia estructural, seguridad de incendio, aislamiento acústico y aislamiento térmico, como había sido propuesto por Dobbelsteen et al. [13]. El problema con esta unidad funcional era que la placa alveolar de menor espesor en el mercado español (de 15 cm) tenía un comportamiento mucho mejor desde el punto de vista de la resistencia estructural que un forjado de hormigón armado in situ dimensionado para un edificio residencial. Por tanto, de haber usado esa primera unidad funcional pensada, la comparación habría sido entre un forjado de 15 cm de losa alveolar y un forjado sobredimensionado para edificaciones residenciales de hormigón armado in situ. Esto nunca podría conducir al estudio de la conveniencia real o no de forjados de losa alveolar.

En lugar de la mencionada unidad funcional, se optó por 1 m² de forjado. Como las placas alveolares permiten más luz de forjado, el número de pilares y zapatas se reduce en relación a los forjados de hormigón armado in situ, y presumiblemente también su impacto ambiental se ve reducido. Por tanto, para realizar una comparación justa, la carga ambiental de los pilares y zapatas también debería considerarse. Finalmente, la comparación se realizó entre dos estructuras, cada una con una solución de forjado diferente. El resto de características de las estructuras (vigas, pilares, zapatas, etc.) era igual. Las restantes características de los forjados

(acústica, fuego, térmica) fueron los mínimos que nos permitían cumplir con la normativa vigente.

Una vez definidas las soluciones estructurales a comparar, se realizó un inventario de entradas, para lo que fue necesario crear un panel de expertos, consultar catálogos de fabricantes, catálogos de elementos constructivos, catálogos de precios de la construcción y realizar algunas consultas a empresas. Para obtener los datos de salida, se utilizó el programa SimaPro 7.0 [14] y la base de datos Ecoinvent v1.1 [15].

En relación al método de evaluación de impacto ambiental, se decidió usar EPS 2000 [16] por dos motivos:

- Incluye categorías de impacto que no todos los métodos incluyen (uso del suelo, ruido y partículas en suspensión), sugeridas en la norma ISO.
- Utiliza un método de costes para el paso final de valoración, recomendado en la bibliografía [13] por ser más objetivos que otros tipos de métodos (basados en paneles de expertos y de distancia al nivel objetivo).

Los resultados del análisis mostraron que los forjados de placas alveolares producían mayor impacto que los forjados de hormigón armado in situ. Sin embargo, cuando consideramos el global de la estructura, incluyendo pilares y zapatas, la solución con placas alveolares suponía un impacto ambiental un 12,2% menor que la de forjados in situ, debido al ahorro en número de pilares y zapatas (y a pesar de que estos salían más armados).

Como investigación futura, se sugirió analizar el tamaño de superficie y número de plantas a partir del cual es ventajoso desde el punto de vista medioambiental utilizar forjados de losas alveolares frente a losas de hormigón armado in situ.

3.2.- Aplicación del ACV a sistemas constructivos de la envolvente térmica del edificio: el caso de la fachada ventilada frente a la fachada caravista

El ACV se aplicó al caso de la fachada ventilada frente a la fachada caravista de doble hoja cerámica con aislamiento interior (fig. 3) en una vivienda unifamiliar aislada, en un edificio plurifamiliar entre medianeras y en un edificio plurifamiliar aislado [17, 18]. El estudio se realizó para dos orientaciones diferentes en cada una de las zonas climáticas identificadas en el Código Técnico de Edificación (CTE), permitiéndonos saber si las fachadas ventiladas dan mayores beneficios en función de la dureza del clima o la orientación.

La unidad funcional considerada fue 1 m² de las soluciones de fachada mencionadas. La vida útil de los edificios se estimó en 100 años para un grado de conservación medio [19]. Las soluciones de fachada consideradas en cada zona climática se ajustaron a los requerimientos del CTE, sin excederlos, excepto para ajustar la solución a productos de formato comercial.

La mayor innovación del método propuesto fue la incorporación de la fase uso al inventario de las soluciones de fachada. La fase uso implica la consideración del ahorro energético de climatización debido al uso de la fachada ventilada frente a la doble hoja cerámica. Ahora bien, la consideración del ahorro energético no es sencilla a priori, dado que la energía de climatización que ahorramos en un edificio,

no solamente depende de sus soluciones de fachada, sino también de otros parámetros como el resto de soluciones empleadas para los demás elementos de la envolvente, o la zona climática en la que se sitúa, el grado de enterramiento del edificio, su orientación, la cantidad de superficie de acristalamiento, las renovaciones/hora de sus espacios, los posibles puentes térmicos presentes en el edificio, las instalaciones de climatización, etc. Por este motivo, es difícil asignar unas cargas absolutas de impacto ambiental operacional a un tipo de fachada.

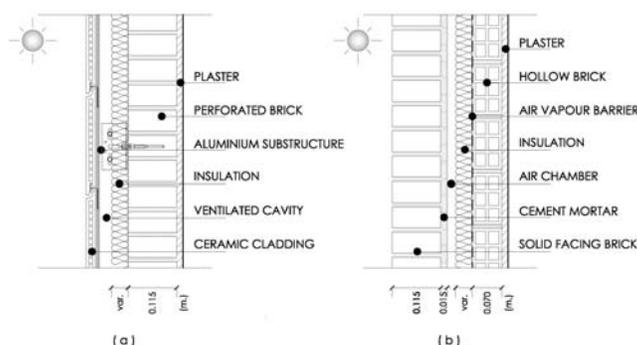


fig. 3 Fachada ventilada frente a fachada caravista de doble hoja cerámica con aislamiento interior [17, 18]

Para resolver este problema, se decidió establecer una comparación, de manera que analizando dos edificios idénticos, excepto por su tipo de fachada, pudiéramos asignar una cantidad de ahorro energético de una solución de fachada (en este caso, la fachada ventilada) como carga medioambiental a otra solución (en este caso, la doble hoja cerámica con aislamiento interior). Es decir, que las cargas ambientales operacionales debidas a los consumos energéticos de climatización de los edificios siempre hay que calcularlas de forma relativa.

Para el cálculo del ahorro energético, se propuso el uso de dos herramientas:

- El software gratuito Lider v1.0 [20], que ayuda a comprobar si un edificio cumple las exigencias energéticas establecidas en el Código Técnico de la Edificación. Cabe mencionar algunos aspectos en relación a su uso:
 - o Merece la pena considerar los puentes térmicos en [21], que son más precisos que los incluidos por defecto en el programa Lider v1.0.
 - o Dado que los algoritmos para fachadas ventiladas no están incluidos en Lider v1.0, utilizamos para la introducción de la fachada ventilada el método propuesto en la norma UNE-EN ISO 6946 [22].
- El software gratuito Calener VYP v1.0 [23], se utiliza para el cálculo del consumo energético de climatización. Esta versión del programa no sólo permite evaluar la eficiencia energética de edificios, sino también conocer sus consumos energéticos. Para su uso, se importan datos del programa Lider v1.0, y se introducen datos de los equipos de climatización.

Una vez realizada la simulación, la diferencia de consumo energético al cabo de 100 años de vida útil del edificio entre la fachada de doble hoja cerámica y aislamiento interior y la fachada ventilada se incluyó en el inventario de la fachada de doble hoja cerámica porque la fachada ventilada siempre conllevó un consumo energético inferior. El impacto ambiental se calculó con el programa SimaPro 7.0 [14].

El método propuesto nos permitió evaluar los dos tipos de fachada desde un punto de vista medioambiental. Se encontró que el uso de fachadas ventiladas, en los

edificios residenciales estudiados, ahorran entre 6,8% y 17,6% de la energía a lo largo de la vida útil del edificio. El ahorro de energía es menor cuanto menor volumen tiene el edificio y cuando el edificio presenta medianeras. Sin embargo, las fachadas ventiladas no siempre resultan ventajosas cuando también se considera el impacto producido por los materiales. Dado que la fachada ventilada implica el uso de perfiles de aluminio, con un impacto medioambiental alto, el ahorro energético no siempre lo compensa. En el estudio observamos que en las zonas climáticas D y E, la fachada ventilada producía ventajas medioambientales, es decir el ahorro de energía compensa el impacto de los materiales. Sin embargo, en el caso de las zonas climáticas A, B y C, que haya ventaja o no depende de que haya o no medianeras, del tamaño del edificio y del régimen de uso de la vivienda.

Encontramos, una limitación al método propuesto, que debería ser objeto de futura investigación. Se trata del hecho de que los algoritmos de la fachada ventilada no estén incluidos en el programa de simulación energética Lider v1.0. Esto nos llevó a usar la aproximación propuesta en la norma UNE-EN ISO 6946 [22] para la introducción de la fachada ventilada en el programa. Sin embargo, esta aproximación no considera los efectos de la cámara de aire en función de la zona climática, orientación de la fachada o características de la cámara y revestimiento cerámico. Consideramos que estos efectos podrían ser objeto de estudio, para una mayor precisión mediante el empleo de la herramienta americana EnergyPlus, lo que nos podría ayudar en la comprensión de la ventaja de la fachada, dependiendo de la orientación del edificio.

3.3.- Aplicación del ACV a soluciones constructivas con diferentes vidas útiles: el caso de la cubierta invertida frente a la cubierta convencional

El ACV se aplicó al caso de la cubierta plana invertida frente al de la cubierta plana convencional, con capa de protección a base de terminación cerámica (fig. 4) [24]. La diferencia en las vidas útiles de las dos soluciones se plasmó estableciendo como referencia la vida útil del edificio. De esta manera, la unidad funcional fue 1 m² de cubierta en un edificio compuesto de dos sótanos, planta baja más cuatro plantas de 430m² en Castellón de la Plana (zona climática B3) con una transmitancia térmica, un aislamiento a ruido aéreo ajustados a lo exigido por el CTE, incluso su mantenimiento para prolongar la vida útil de dicha cubierta hasta los 100 años, que es la vida media de los edificios según la Orden ECO 805/2003 de 27 de marzo sobre normas de valoración de bienes inmuebles [19] y la instrucción EHE-2008. En este estudio se utilizaron los métodos Eco-indicador 99 y EPS 2000.

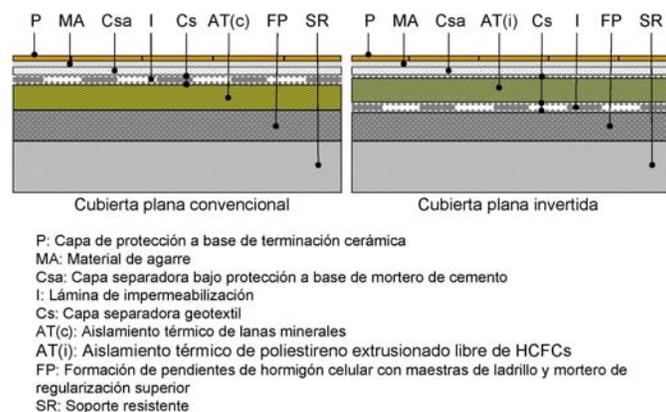


fig. 4 Cubierta plana convencional frente a cubierta plana invertida [24]

Para obtener los datos relacionados con la disposición final de los materiales tras su vida útil, se consideraron dos referencias: la primera relacionada con el Plan Nacional Integrado de Residuos 2009-2010, del que obtuvieron los porcentajes mínimos a los que se pretende llegar desde el punto de vista del reciclaje y vertido de residuos, considerándose estos porcentajes mínimos como los de referencia para nuestro estudio. La segunda referencia considerada para la ubicación de los vertederos en la provincia de Castellón es el sitio web de la Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge de la Generalitat Valenciana [25]. En este caso se obtuvieron las distancias medias respecto a los vertederos señalados en dicha página a fecha de 5 de diciembre de 2009.

Con respecto al mantenimiento, se consideró una durabilidad de la lámina impermeabilizante en la cubierta convencional de 30 años [26], por tanto para alcanzar los 100 años de vida útil es necesario realizar 3,33 mantenimientos, mientras que en el caso de la cubierta invertida se ha considerado una durabilidad de la lámina de 40 por estar más protegida de la intemperie gracias a tener la capa de aislamiento entre ella y el exterior. Por lo tanto, para alcanzar la vida útil de 100 años es necesario realizar 2,5 mantenimientos.

Los resultados mostraron que la cubierta invertida es algo más ventajosa que la tradicional, a pesar de que necesite el uso de aislante a base de poliestireno extruido más impactante que el de la cubierta convencional de lana de roca, debido a que en la cubierta invertida la vida útil de la lámina impermeabilizante es más larga, reduciendo los mantenimientos necesarios a lo largo de la vida del edificio.

De estos resultados, se extrajo la importancia de conseguir un revestimiento reutilizable tras el mantenimiento periódico de la cubierta (como por ejemplo pavimentos flotantes, baldosas aislantes, etc.), dado que el importante impacto ambiental se derivaba del hecho de que en los mantenimientos se tienen que reponer muchos de los materiales por encima de la lámina impermeabilizante. Con soluciones como el pavimento flotante, el nivel de reutilización de los materiales en la misma solución constructiva es mucho mayor, lo que significaría un descenso importante en los impactos de la etapa de mantenimiento.

4.- Conclusiones e investigación futura

En el presente trabajo se ha destacado la importancia que tiene para los proyectistas el proporcionar información sobre el comportamiento medioambiental de los edificios a nivel de sistema constructivo, pues este es un nivel intermedio en que se integran los requisitos técnico-funcionales de sostenibilidad en edificación.

Para generar información sobre comportamiento medioambiental de los sistemas constructivos del edificio, es fundamental basarse en metodologías con rigor científico, como es la metodología de Análisis de Ciclo de Vida.

En los tres estudios de caso vistos en este trabajo ha quedado de manifiesto la complejidad metodológica del Análisis de Ciclo de Vida aplicado a la construcción:

- El impacto medioambiental de la solución constructiva depende del edificio en que dicha solución se plantea, por lo que la ventaja o no de las soluciones constructivas dependen de las características del edificio. Así, en los ejemplos

vistos, hemos comentado la dependencia de los resultados de impacto ambiental en función del nº de plantas, la superficie, la orientación, el volumen, el grado de exposición, el régimen de uso, etc.

- La contribución que las soluciones constructivas de la envolvente térmica tienen en los consumos energéticos debe quedar reflejada para proporcionar al proyectista información significativa que haga conocer al proyectista del sistema constructivo más apropiado desde el punto de vista medioambiental.

Esta complejidad pone de manifiesto la necesidad de acordar unas reglas para la realización de Análisis de Ciclo de Vida en los sistemas constructivos, que permitan la comparación de los resultados de unos estudios con otros.

Cabe finalmente, señalar algunos aspectos metodológicos que se han observado necesarios para la realización de Análisis de Ciclo de Vida aplicados a los sistemas constructivos en el proyecto de investigación presentado en este trabajo:

- La comparación medioambiental de soluciones constructivas ha de hacerse usando como unidad funcional la unidad de superficie que permite alcanzar determinadas exigencias sin excederlas, salvo para ajustar la solución a productos de formato comercial.
- Es necesario incorporar las distintas vidas útiles de las soluciones constructivas a estudiar, y sus materiales. Esto se puede hacer incluyendo los mantenimientos necesarios de cada solución constructiva y material a lo largo de la vida útil del edificio, que en los estudios de caso aquí analizados ha sido de 100 años, según la Orden ECO 805/2003 de 27 de marzo sobre normas de valoración de bienes inmuebles [19].
- Es necesario incorporar datos de disposición final de los materiales basados en los Planes Nacionales de Residuos de Construcción.

REFERENCIAS

[1] European Parliament legislative resolution of 24 April 2009 on the proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised conditions for the marketing of construction products (COM(2008)0311 – C6-0203/2008 – 2008/0098(COD)).

[2] Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products.

[3] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives.

[4] ISO 21930:2007 Sustainability in building construction -- Environmental declaration of building products.

[5] European Committee for Standardization. Extended search for standards and/or projects Consultado el 16 de mayo de 2011 de la página web <http://esearch.cen.eu/>

[6] Directorio de materiales de construcción organizados por categorías: Materiales sostenibles Consultado el 16 de mayo de 2011 de la página web http://www.ctav.es/ctav/icaro/materiales/materiales_lista_categ.asp?clasificacion=categorias&modo=ecologico

[7] Cole, R.J., Howard, N., Ikaga, T., Nibel, S. (2005), Building Environmental Assessment Tools: Current and Future Roles, En *2005 World Sustainable Building Conference*, 27-29 September 2005, Tokyo, Japan.

- [8] Capuz S., Gómez T., Vivancos J., Viñoles R., Ferrer P., López R., Bastante M. (2002) *Ecodiseño Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*. Editorial de la UPV, Valencia.
- [9] UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- [10] UNE-EN ISO 14044:2006 Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices.
- [11] Athena Institute, <http://www.athenasmi.ca>
- [12] López-Mesa B., Pitarch A., Tomás 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.
- [13] van den Dobbelaer A., Arets M., Nunes R. (2007) Sustainable design of supporting structures - optimal structural spans and component combinations for effective improvement of environmental performance. *Construction Innovation: Information, Process, Management*. 7, 54-71.
- [14] Goedkoop M, Schryver AD, Oele M. (2006) *Introduction to LCA with SimaPro*. PRe' Consultants, Amersfoort.
- [15] Frischnecht R, Jungbluth N, Althaus H-J, Doka G, Heck T, Hellweg S, et al. (2007) *Overview and methodology. Ecoinvent report No. 1*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- [16] Steen B. (1999) *A systematic approach to environmental strategies in product development (EPS). Version 2000 - general system characteristics*. CPM report 1999:4. Chalmers University of Technology, Sweden.
- [17] Ruá M.J., Vives L., Civera V., López-Mesa B., (2010) Aproximación al cálculo de la eficiencia energética de fachadas ventiladas y su impacto ambiental. En *XI Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico*, 15-16 febrero 2010. Castellón, España.
- [18] Ruá M.J., López-Mesa B., Vives L., Civera V. Environmental advantage of back-ventilated cladding façades in comparison with brick cavity walls in residential buildings. En: Morena V. Acosta (Ed.), *Advances in Energy Research*, Volume 8, ISBN 978-1-61324-208-7, capítulo de libro en proceso de publicación por Nova Science Publishers Inc.
- [19] Orden ECO/805/2003, de 27 de marzo, sobre normas de valoración de bienes inmuebles y de determinados derechos para ciertas finalidades financieras.
- [20] Lider v1.0. Manual de usuario. Madrid: Ministerio de Vivienda e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007.
- [21] Sole, J. Aislamiento térmico en la edificación. Limitación de la demanda energética DB HE1 e iniciación a la calificación energética. Tarragona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona, 2007.
- [22] UNE-EN ISO 6946:1997/A1:2005 • Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method (ISO/DIS 6946:2005).
- [23] Calener VYP v1.0. Manual de usuario. Madrid: Ministerio de Vivienda e Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007.
- [24] Belando J., López-Mesa B. (2010) Utilización del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en la selección de cubiertas planas de edificación. En *XIV Congreso Internacional de Proyectos de Ingeniería*, 30 junio – 2 julio 2010. Madrid, España, 1351-1364.
- [25] Consellería de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge de la Generalitat Valenciana <http://www.cma.gva.es/intro.htm>
- [26] BWA-Europe (2009) Environmental Declaration for Bitumen Roof Waterproofing Systems. Bitumen Waterproofing Association – Europe. Downloaded from the World Wide Web On December 2009: http://www.bwa-europe.com/content/BWA_Enviro_Declaration.pdf.