

Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación

Proyecto EnerBuiLCA

Life Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings



UE/EU - FEDER/ERDF



Programa
de Cooperación
Territorial SUDOE
Interreg IV B

Manual explicativo del Análisis de Ciclo de Vida aplicado al sector de la edificación

Proyecto EnerBuiLCA

Life Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings



UE/EU - FEDER/ERDF

PROYECTO ENERBUILCA

Equipo de Trabajo:

Coordinadores:

Ignacio Zabalza
Alfonso Aranda
Sabina Scarpellini
*CIRCE - Centro de Investigación
de Recursos y Consumos Energéticos*

Participantes:

Cristina Gazulla
Marina Isasa
*Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida
y Cambio Climático (ESCI-UPF)*

Lara Mabe
Beatriz Sánchez
*TECNALIA - Corporación tecnológica. Unidad
de Construcción - División de Sostenibilidad*

Ferran Bermejo
Gloria Díez
iMat - Centro Tecnológico de la Construcción

Rogelio Zubizarreta
IAT - Instituto Andaluz de Tecnología

António Baio Dias
*CTCV - Centro Tecnológico da Cerâmica
e do Vidro Direcção Geral Unidade
de Ambiente e Sustentabilidade*

Lucie Duclos
NOBATEK - Centre de Ressources Technologiques

Paulo Partidário
Paulo Martins
Paula Duarte
Rui Frazão
*LNEG - Laboratório Nacional de Energia
e Geologia, IP*



Índice

1. Introducción	5
2. Descripción del concepto de enfoque de ciclo de vida	7
3. Descripción de los orígenes y desarrollo del ACV	11
4. Metodología del ACV	13
4.1. Definición de objetivos y alcance	14
4.2. Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)	18
4.3. Evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV)	19
4.4. Interpretación de resultados	24
5. Oportunidades del uso o aplicación del ACV en el sector de la edificación	25
6. Principales herramientas que permiten aplicar el ACV en el sector de la edificación	31
7. La herramienta EnerBuiLCA	35
8. Un ejemplo práctico de aplicación del ACV en el sector de la edificación: ACV de baldosas cerámicas	39
8.1. Motivación / objetivos de la aplicación de la metodología de ACV	40

8.2. Descripción del producto	41
8.3. Utilización del ACV en el caso de éxito	41
8.4. Resultados	45
8.5. Conclusiones	47
9. Estado del arte del ACV en el sector de la edificación y propuestas de mejora	49
Referencias	53



Introducción

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), y su aplicación a los edificios, es percibido por muchos como una metodología complicada y que requiere de mucho tiempo para su aprendizaje y comprensión. Además de esto, se han identificado otras barreras a la aplicación más generalizada del ACV como son la falta de bases de datos gratuitas y también de exigencias legislativas u otros incentivos, como puede ser la desvinculación de los actuales procedimientos de certificación energética y el ACV. Algunas de las acciones propuestas para sobrellevar estas barreras incluyen la formación y concienciación general sobre la importancia del ACV, la oferta de información sintetizada y guías sencillas y el establecimiento de requerimientos normativos relativos a la consideración de los impactos ambientales en la totalidad del ciclo de vida de los edificios, y no sólo en la fase de uso, como sucede actualmente. Las acciones de formación y concienciación quedan recogidas en el marco del proyecto EnerBuiLCA mediante el desarrollo de este manual explicativo de ACV, el manual de uso de la herramienta EnerBuiLCA y los cursos de formación.



Descripción del concepto de enfoque de ciclo de vida

Los edificios producen impactos en el medioambiente a lo largo de todas las etapas de su vida útil, comenzando por la extracción de las materias primas y su transporte, el consumo de energía necesario para la fabricación de los materiales constructivos y su transporte desde las plantas de producción hasta la obra, los movimientos de tierra, consumos energéticos y residuos que se producen durante la construcción de los edificios, el consumo de energía y agua para satisfacer las distintas demandas en el uso de los edificios, su mantenimiento y finalmente su demolición, así como la disposición final de todos sus elementos constructivos al final de su vida útil. Además, todas estas etapas de la vida de los edificios están fuertemente interrelacionadas, de modo que los impactos en una de las etapas condicionan los impactos de las etapas siguientes.

A pesar del elevado impacto energético y ambiental que presentan los edificios en su fase de uso, es imprescindible también analizar el resto de fases del ciclo de vida, con el objetivo de poder contemplar todas las oportunidades de mejora, tanto actuales como futuras. En este sentido, hay que tener en cuenta que la aplicación del actual marco normativo forzará necesariamente una disminución de los impactos en la etapa de uso de los edificios, aumentando el peso relativo de las restantes etapas que forman parte del ciclo de vida de los edificios, especialmente en lo referente al impacto de la producción de los materiales de construcción utilizados.

Por todo ello, la reducción del impacto medioambiental de los edificios requiere la aplicación de metodologías de evaluación de impacto adecuadas, de carácter global, y que incluyan todas las etapas de la vida de un edificio.

Según la Comisión Europea [COM (2003) 302; COM (2005) 666; COM (2005) 670 y COM (2008) 397], en la actualidad, la metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) constituye el mejor marco disponible para evaluar los impactos ambientales potenciales de cualquier tipo de actividad, producto o servicio sin límites geográficos, funcionales o temporales, ya que se examinan todos los procesos seguidos por las materias primas, desde su extracción, transformación y uso hasta su retorno a la naturaleza en forma de residuos. Por tanto, una ventaja clara del ACV es que permite detectar situaciones en las que un determinado producto parece más ecológico que otro simplemente porque transfiere cargas ambientales a otros procesos o zonas geográficas, sin que se produzca una mejora real desde el punto de vista global.



FIGURA 1. Ciclo de vida de un producto.

A pesar de que existen estudios de ACV de productos industriales desde hace más de 40 años, su aplicación al sector de la edificación es relativamente reciente y requiere de un esfuerzo investigador para la correcta adaptación de la metodología que

garantice su uso generalizado por parte de los agentes del sector. En general, la aplicación del ACV en la edificación conlleva una mayor complejidad con respecto a otros sistemas más sencillos, como por ejemplo, la fabricación de productos y componentes, que tienen lugar en entornos más controlados, en los que se dispone de más información. Es obvio que los edificios constituyen un tipo de “producto” muy especial, ya que tienen una vida relativamente larga (que supera mayoritariamente los 50 años), pueden sufrir modificaciones en su uso con cierta frecuencia (especialmente si se trata de edificios del sector terciario como oficinas o locales comerciales) lo que afecta a la unidad funcional utilizada en el ACV, a menudo tienen múltiples usos y funciones (ya que en un mismo edificio puede haber viviendas, garajes, oficinas, etc.), contienen una gran cantidad de materiales y componentes diferentes, se construyen en un entorno predeterminado, son normalmente únicos (rara vez se pueden encontrar dos edificios que sean iguales aún estando contruidos con los mismos materiales), están integrados dentro de una urbanización en la que existen diversas infraestructuras viarias, lo que complica el establecimiento de los límites del sistema a analizar y la asignación de los impactos medioambientales de dichas infraestructuras entre los distintos edificios que se benefician de las mismas.



En este contexto, el ACV es una metodología versátil y útil para disminuir los consumos energéticos y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector de la construcción y establecer las estrategias de mejora medioambiental más adecuadas desde una perspectiva global [Thormark C., 2002; Yohanis Y.G., Norton B., 2002; Adalberth K. et al., 2001; Peuportier B., 2001; Sartori I., Hestnes A.G., 2007].

Por ello, el ACV permite dar una respuesta clara para cada edificio particular, a cuestiones tales como: ¿cuál es la mejor combinación de materiales de construcción para la fachada?, ¿qué estructura es más respetuosa con el medioambiente?, ¿qué fuentes energéticas son las más adecuadas?, ¿cuál es el espesor de aislamiento óptimo?, ¿en cuánto se reduce el impacto medioambiental al instalar sistemas renovables como captadores solares térmicos, paneles fotovoltaicos, calderas de biomasa o aerogeneradores de pequeña potencia?, ¿cómo repercute la posibilidad de reciclado de una determinada solución constructiva?, ¿cuál es el impacto asociado a la movilidad de los ocupantes del edificio y a las infraestructuras de suministro de energía y agua necesarias?, ¿qué objetivos medioambientales es posible plantear para el edificio? y ¿cuál es el grado de cumplimiento de dichos objetivos medioambientales?



Descripción de los orígenes y desarrollo del ACV

Los primeros estudios de ACV datan de finales de los años 60 y principios de los 70 [Boustead I., 1972; Boustead I., Hancock G.F., 1979] En lo que respecta a la edificación, en 1982 se publicó un estudio que utilizando un diagrama de flujo input/output [Bekker P.C.F., 1982] realizó una aproximación al ciclo de vida de la edificación, remarcando el agotamiento de los recursos naturales causado por este sector.

No obstante, hasta la década de los 90 la metodología del ACV no estuvo suficientemente desarrollada siendo su aplicación bastante limitada [Boustead I., 1996]. Fue la SETAC —Society of Environmental Toxicology and Chemistry— quién en 1993 estableció la primera definición oficial de ACV, según la cual, se trata de “un proceso objetivo para evaluar cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar su impacto en el medioambiente y evaluar y poner en práctica estrategias de mejora medioambiental”.

A diferencia de otras metodologías que se centran en la mejora de los impactos medioambientales de los procesos, el ACV estudia los aspectos medioambientales y los impactos potenciales a lo largo de toda la vida de los productos y/o servicios, “desde la cuna hasta la tumba”, es decir, desde la extracción de las materias primas y la energía necesaria hasta la producción, uso y disposición de los productos desde una perspectiva global, sin ningún tipo de límites geográficos, funcionales o temporales.

En el año 1996, la SETAC elaboró el informe “Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment”, que sirvió de base para la elaboración de las primeras normas sobre ACV [ISO 14040-14044] publicadas entre 1997 y 1998.



Metodología del ACV

En la actualidad, la metodología general de ACV está estandarizada en las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006.

En el caso de los edificios, existe un conjunto de estándares metodológicos publicados por parte del Comité Técnico 350 “Sustainability of construction works” del Comité Europeo de Normalización bajo mandato de la Unión Europea para la Normalización en el campo de la gestión integral del comportamiento medioambiental de los edificios [EN 15643-1,-2,-3 y -4, EN 15804, EN 15978]. Estos estándares proporcionan un método de cálculo basado en el ACV para evaluar el comportamiento medioambiental de un edificio y comunicar los resultados de dicha evaluación.

La metodología general del ACV consta de cuatro fases, si bien es posible realizar estudios simplificados, en los que se elimine alguna de ellas:

- Definición de objetivos y alcance, donde se establece la finalidad del estudio, los límites del sistema a evaluar, los datos necesarios y otras hipótesis.
- Análisis de inventario, donde se cuantifican todos los flujos de energía y de materiales que entran y salen del sistema durante todo su ciclo de vida.
- Evaluación de los impactos ambientales derivados de los flujos de energía y materiales recopilados en el inventario y que son clasificados según los efectos ambientales que pueden generar.
- Interpretación, donde los resultados de las fases precedentes son analizados conjuntamente, en consonancia con los objetivos del estudio, con objeto de establecer las conclusiones y recomendaciones finales.

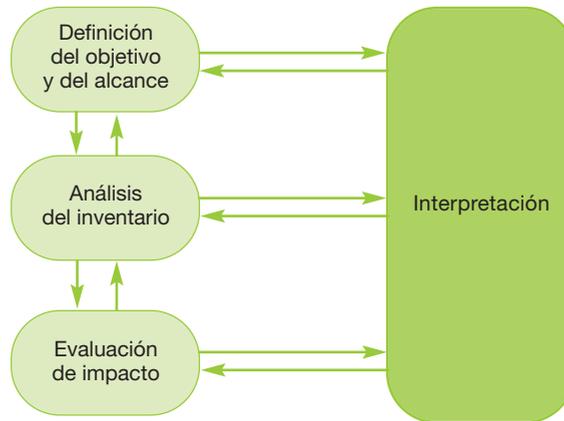


FIGURA 2. Metodología general del ACV.

La metodología del ACV tiene un carácter dinámico o iterativo, de manera que las cuatro fases de las que consta están interrelacionadas. Por ello, a medida que se obtienen resultados se pueden reconsiderar las hipótesis planteadas o refinar los datos utilizados en cualquiera de las fases [Aranda A., et al., 2006].

4.1. Definición de objetivos y alcance

De acuerdo con la norma ISO 14044, el objetivo y alcance de un estudio de ACV deben definirse claramente y ser consistentes con la aplicación que se persigue. Así, en cuanto al objetivo, se debe indicar claramente la aplicación y las razones para desarrollar el estudio, el público al que va dirigido y si los resultados se van a utilizar con fines comparativos [ISO 14040:2006]. Es evidente que en el caso de los estudios de ACV en edificios, el objetivo y alcance pueden variar notablemente en función del tipo y uso del edificio, de su localización geográfica y del momento de la vida del edificio en que se haga el estudio (etapa preliminar de diseño, construcción, uso, rehabilitación o demolición). No obstante, si se pretende comparar los resultados del ACV de distintos edificios, deberán utilizar la misma unidad funcional y consideraciones metodológicas equivalentes como la función, los límites del sistema, la calidad de los datos, la evaluación de impacto, etc.

En cuanto al alcance, entre otros aspectos se deben definir:

- *La función del sistema a estudiar*, que define sus características de operación. Hay que destacar que un sistema puede tener más de una función. Por ello, si se pretende comparar 2 sistemas diferentes, es preciso que desarrollen la misma función. Por ejemplo, no sería correcto comparar un estudio de ACV de un edificio que contiene viviendas y oficinas con otro destinado sólo a viviendas, ya que la función desempeñada por cada uno de ellos es distinta. Del mismo modo, a la hora de comparar soluciones constructivas, se debe asegurar que se rijan por las mismas normativas y que cumplan con las mismas exigencias y condicionantes de uso. Los productos, componentes o sistemas de los edificios deben ser comparados en el contexto del ciclo de vida del edificio. Por todo ello, en estudios de ACV comparativos de edificios o componentes de edificios se utiliza el concepto de “*equivalente funcional*”, definido como una representación de las características técnicas y funcionales del edificio. En la definición del equivalente funcional se deben tener en cuenta aspectos como legislación vigente, los requerimientos técnicos, la/s función/es desempeñadas, el patrón de uso y ubicación del edificio, su duración, etc.
- *La unidad funcional*, que constituye la unidad de referencia para todas las entradas y salidas del sistema que se obtendrán en el análisis de inventario. El “tamaño” de la unidad funcional depende del tipo de estudio que se pretenda realizar. Un ejemplo típico de unidad funcional aplicado a edificios podría ser: un edificio diseñado para un determinado número de residentes o trabajadores suponiendo una ocupación del 100%, en una localización concreta, cumpliendo unas normativas determinadas relativas al confort térmico, salubridad, limitación de demanda energética, etc., durante una vida útil estimada de 50 años. La vida útil estimada de 50 años se utiliza a menudo como valor predeterminado [Malmqvist T., et al., 2010], ya que, por múltiples motivos, es muy difícil prever la duración real de un edificio.

- *El sistema*, es decir, aquello que se está analizando y que incluye el conjunto de procesos unitarios o subsistemas necesarios que, interconectados material y energéticamente, permiten la presencia del producto estudiado en el mercado.
- *Los límites del sistema*, que delimitan los procesos unitarios que serán incluidos dentro del análisis. Hay que considerar que no es necesario gastar recursos para la cuantificación de las entradas y salidas que no cambien significativamente las conclusiones del estudio. Por ello, es necesario establecer unos límites en consonancia con los objetivos del estudio, que además posteriormente puedan ser refinados sobre la base de los resultados preliminares. En cualquier caso, toda decisión de omitir etapas del ciclo de vida, procesos o entradas/salidas debe quedar claramente justificada y los criterios o reglas de corte utilizadas para fijar los límites del sistema deben garantizar la precisión y representatividad de los resultados obtenidos.

En el caso de edificios, según las recomendaciones del CEN/TC 350, el sistema a analizar debe incluir las siguientes 4 etapas o subsistemas del edificio: producción, construcción, uso y disposición final, tal como se indica en la siguiente tabla.



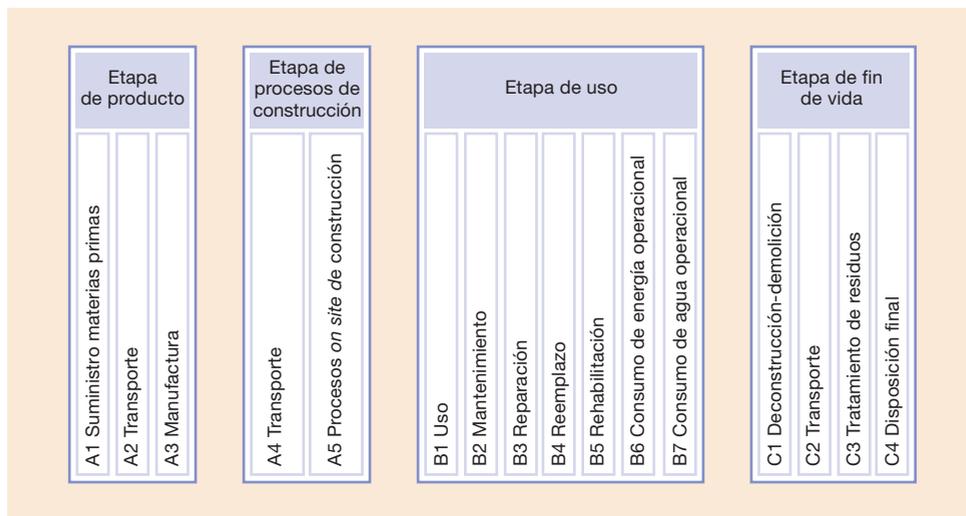


TABLA 1. Etapas del ciclo de vida de un edificio según el estándar EN 15643-2 del CEN/TC 350.

- Dentro del alcance, hay que definir también las *categorías y metodologías de evaluación de impacto* que se van a emplear en el estudio. Cada método de evaluación difiere en las categorías de impacto consideradas, los métodos de cálculo de los impactos y en el peso asignado a cada uno de ellos. La siguiente tabla muestra, sobre la base del mayor consenso científico existente, las categorías de impacto recomendadas por CEN/TC 350 para llevar a cabo estudios de ACV en edificios.

Categoría de impacto
Calentamiento global
Destrucción de la capa de ozono estratosférico
Acidificación de la tierra y el agua
Eutrofización
Formación de ozono troposférico
Agotamiento de recursos abióticos (elementos y fósiles)

TABLA 2. Categorías de impacto sugeridas para ACV en edificios por el CEN/TC 350.



- Otro aspecto a definir dentro del alcance son los *requisitos de calidad de los datos* necesarios para lograr los objetivos del estudio. Estos requisitos deberían especificar la cobertura temporal (antigüedad de los datos utilizados), geográfica (local, regional, nacional, continental, global, etc.) y tecnológica (mejor tecnología disponible, media ponderada de tecnologías, etc.), así como la precisión, amplitud y representatividad de los datos, entre otros aspectos.

4.2. Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

El análisis de inventario comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes a cada uno de los procesos unitarios que formen parte del sistema analizado. En definitiva, se trata de realizar un balance de los flujos elementales que entran y salen del sistema a lo largo de todo su ciclo de vida para la unidad funcional seleccionada. Los flujos elementales son los flujos energéticos y de materiales que provienen de la naturaleza (como por ejemplo, el petróleo, el carbón, el agua, la arena natural, etc.) sin ninguna transformación previa realizada por el ser humano, o que van directamente a la naturaleza (como por ejemplo, las emisiones al aire de CO₂, los vertidos de nitratos al agua, etc.). Para cada proceso unitario, las entradas cuantificadas incluyen el uso de energía y materias primas, mientras que las salidas cuantificadas incluyen las emisiones al aire, agua y suelo, subproductos y otros vertidos, tal como muestra la siguiente figura.

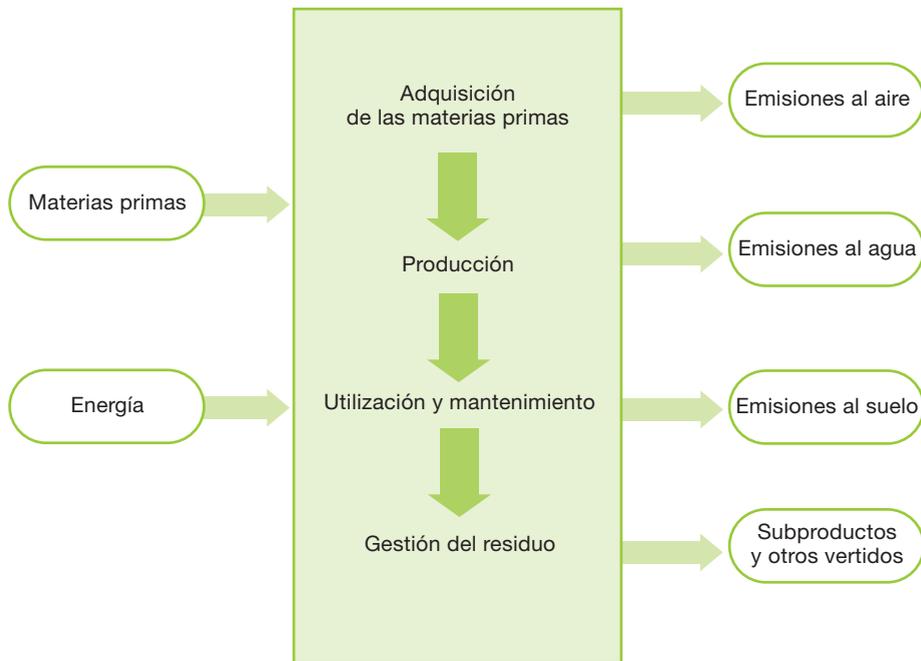


FIGURA 3. Inventario del ciclo de vida aplicado a un proceso unitario del sistema.

En caso de que existan procesos que den lugar a más de un producto, o los residuos del producto sean reciclados o reutilizados para crear un nuevo producto, se deben aplicar criterios de asignación que permitan un adecuado reparto de los impactos entre los distintos productos.

4.3. Evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV)

En esta fase se agrupan y evalúan los resultados del inventario de ciclo de vida de acuerdo a las categorías de impacto (como por ejemplo, el calentamiento global potencial, la acidificación de la tierra y el agua, etc.) seleccionadas en la fase de

definición de objetivos y alcance. Cada categoría se cuantifica mediante indicadores numéricos (como por ejemplo, los kg de CO₂ equivalentes), para lo cual se aplican métodos de evaluación de impactos determinados.

La evaluación de impactos incluye obligatoriamente las siguientes etapas:

- *Clasificación:* Asignación de los datos del inventario a las categorías de impacto previamente seleccionadas y siguiendo el método de evaluación escogido. Todas las entradas y salidas del inventario se clasifican en las diferentes categorías de impacto, de acuerdo con el tipo de cambio que pueden ocasionar en el medioambiente. El resultado final es un inventario agrupado y simplificado donde solo aparecerán aquellos flujos energéticos y materiales que afecten a las categorías seleccionadas.
- *Caracterización:* Evaluación de la relevancia de los distintos flujos energéticos y materiales para poder así calcular los indicadores numéricos de cada categoría de impacto (como por ejemplo, kg de CO₂ equivalente para el calentamiento global). Se basa en la conversión, para cada categoría de impacto, de los resultados del ICV a unidades comunes utilizando factores de caracterización que representan la cantidad de ese compuesto que, de ser emitido, tendría un efecto en el medio ambiente cuantitativamente comparable a la unidad base de la categoría de impacto (por ejemplo, 1kg de CH₄ tiene el mismo efecto de calentamiento global que 21 kg de CO₂). El resultado de la caracterización es el perfil ambiental del sistema, compuesto por el conjunto de indicadores ambientales de las categorías de impacto consideradas.

El resultado final de la caracterización es un inventario agrupado por categorías de impacto, evaluadas cada una de ellas mediante un indicador numérico.

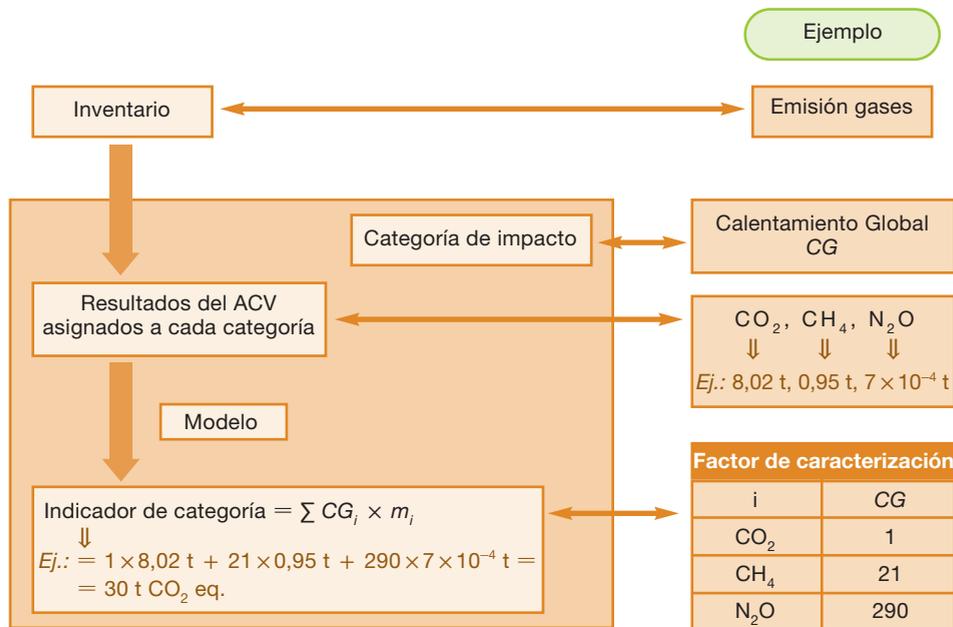


FIGURA 4. Fases de clasificación y caracterización en la EICV. Categoría de calentamiento global.

Opcionalmente los resultados numéricos de la caracterización pueden además normalizarse, agruparse y ponderarse en las siguientes etapas:

- **Normalización:** Cálculo de la importancia relativa de los indicadores de impacto del sistema analizado en relación a las magnitudes reales o previstas a escala nacional, continental o global para dichos indicadores. Conocer el grado de contribución de cada categoría de impacto considerada en un contexto más global puede ayudar a comprender mejor la magnitud relativa de los indicadores numéricos obtenidos en la caracterización. En la normalización se dividen los resultados de la caracterización por factores normalizados que expresan los resultados de impacto para área geográfica y momento de tiempo determinados (como, por ejemplo, los impactos ambientales generados por un ciudadano medio europeo en un año).

- **Ponderación:** Ponderación (subjetiva) de los resultados de las distintas categorías de impacto con el fin de poder compararlas directamente e incluso agregarlas en un único indicador global. En esta etapa, los resultados de los indicadores normalizados de las diferentes categorías de impacto son convertidos a unidades comunes utilizando para ello factores de ponderación numéricos basados en valoraciones subjetivas o juicios de valor. Así, por ejemplo, en un país afectado por las consecuencias del cambio climático, esta categoría de impacto tendrá una gran importancia. Los factores de valoración son obtenidos con criterios socioeconómicos, que se pueden basar en valores monetarios, estándares fijados por las autoridades o criterios establecidos por un panel de expertos. En cualquier caso, tal y como reconoce la norma ISO 14044, no se trata de factores que tengan relevancia científica.

Conviene destacar que en un estudio determinado se pueden utilizar diferentes metodologías de evaluación de impacto con objeto de contrastar los resultados obtenidos para distintas categorías de impacto. Las metodologías de evaluación incluyen normalmente varios de los indicadores medioambientales presentados anteriormente. Entre las más utilizadas en estudios de ACV, destacan las de CML 2001 [Guinée J.B., et al., 2002], Ecoindicador [Goedkoop M, Spriensma R., 2001] o Recipe [Sleeswijk A.W., et al., 2008].

Ejemplo de clasificación, caracterización y normalización de impactos

Para comprender mejor las etapas anteriores se propone el siguiente ejemplo. Dentro de la categoría de impacto “calentamiento global”, se incluyen principalmente las emisiones de gases como CO_2 , CH_4 y N_2O , emitidos por la acción humana contribuyendo al sobrecalentamiento del planeta. No obstante, cada uno de estos gases contribuye con distinto peso al calentamiento global. Para realizar la caracterización se toma como indicador de referencia los kg de CO_2 emitidos, por lo que su factor de caracterización es la unidad (1). A partir de ahí, sobre la base de estudios científicos (como los que publica periódicamente el Panel Intergubernamental para el Cambio

Climático) se conoce que el CH₄ tiene un efecto sobre el calentamiento global 21 veces mayor que el CO₂, mientras que el N₂O es 290 superior. Por tanto los factores de caracterización del CH₄ y del N₂O para el calentamiento global serían de 21 y 290 respectivamente. Utilizando estos factores, el indicador numérico de la categoría “calentamiento global” se obtendría a partir de la suma ponderada de la masa emitida de cada contaminante multiplicada por su factor de caracterización, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Calentamiento global (kg CO}_2 \text{ equivalente)} = \sum_i \text{CG}_i \times m_i$$

Donde:

- CG_i: Factor de caracterización para el calentamiento global de la sustancia i (kg CO₂/kg_i).
- m_i: Masa emitida de la sustancia i (kg_i).

Supongamos que el sistema analizado, emite 8,02 t de CO₂ (=8,02 t de CO₂ eq.), 0,95 t de CH₄ (× 21 = 19,95 t de CO₂ eq.) y 0,0007 t de N₂O (× 290 = 2,03 t de CO₂ eq.), dando un resultado de caracterización de 30 t de CO₂ eq. para la categoría de calentamiento global.

En la normalización se persigue determinar la trascendencia de esta cifra comparándola con un valor de referencia. Para ello, sobre la base de estudios científicos, se conoce que la cantidad anual de CO₂ emitida a escala global que contribuye al calentamiento global es de 38 × 10⁹ t de CO₂.

Esta cifra constituirá el factor de normalización para la categoría “calentamiento global”, por lo que las 30 t de CO₂ eq. del sistema analizado se dividirán por esta cantidad: 30 t de CO₂ / 38 × 10⁹ t de CO₂ = 89,47 × 10⁻¹².

Este resultado, cifra adimensional, representa el orden de magnitud del impacto ambiental del producto comparado con la carga ambiental total para la categoría de impacto “calentamiento global”.

4.4. Interpretación de resultados

En la fase de interpretación se combinan los resultados de las fases anteriores del ACV para obtener conclusiones y recomendaciones útiles para la toma de decisiones sobre el sistema analizado. En la interpretación se engloban 3 elementos fundamentales:

- *Identificación de las variables significativas:* qué procesos conllevan un mayor impacto y cuáles se podrían obviar.
- *Verificación de los resultados:* Se pretende establecer y reforzar la confianza y fiabilidad de los resultados del estudio mediante análisis de integridad, de sensibilidad y de consistencia. El análisis de integridad pretende asegurar que toda la información relevante y los datos necesarios para la interpretación están disponibles y completos. En el análisis de sensibilidad se evalúa la fiabilidad de los resultados finales y de las conclusiones determinando si se ven afectados por incertidumbres en los datos o en los métodos de evaluación seleccionados. El análisis de consistencia valora si las hipótesis, métodos y datos son coherentes con el objetivo y alcance del estudio.
- *Conclusiones y recomendaciones.*



Oportunidades del uso o aplicación del ACV en el sector de la edificación

La aplicación de la metodología de ACV en edificios conlleva innumerables oportunidades para el sector de la construcción al facilitar la toma de decisiones por parte de las empresas de la construcción, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales con vistas a la planificación de estrategias de ecoeficiencia en la edificación, como por ejemplo:

- la identificación de oportunidades para mejorar los impactos medioambientales en el sector de la construcción considerando el ciclo de vida completo de los edificios,
- el establecimiento de prioridades para el diseño ecológico o la eco-rehabilitación de edificios,
- la selección adecuada de proveedores de materiales constructivos y equipos energéticos,
- la comparación de distintas opciones de diseño y de productos concretos,
- el establecimiento de estrategias y políticas fiscales para gestionar los residuos de la construcción y el transporte de materiales,
- la definición de nuevos programas de I+D+i y de normativas de ecoeficiencia,
- la implantación de políticas de ayudas a la construcción y a la rehabilitación, etc.

Además, los estudios de ACV pueden facilitar la consecución de un etiquetado medioambiental de los edificios, que dependiendo de las políticas nacionales o regionales, podría permitir la obtención de ayudas y subvenciones, así como posibles reducciones de las tasas e impuestos, como consecuencia directa de la reducción del impacto ambiental.

Los potenciales usuarios del ACV en el sector de la edificación lo forman un grupo muy variado de actores, como son fabricantes de productos de la construcción, consultores, arquitectos, ingenieros, gestores energéticos de la administración local y autonómica, planificadores urbanísticos o promotores inmobiliarios, entre otros.

Tipo de usuario	Fase del proceso de construcción	Propósito del ACV
Planificadores urbanísticos y asesores municipales	Fases preliminares	Establecimiento de objetivos a nivel municipal, regional o estatal
Promotores inmobiliarios y clientes		Información de políticas de edificación/rehabilitación Contratación y compra pública verde Establecimiento de objetivos para las zonas a desarrollar
Fabricantes de productos de la construcción	Primeros diseños y diseños detallados	Elección del emplazamiento del edificio Dimensionamiento del proyecto Establecimiento de objetivos medioambientales para el edificio dentro de un Programa determinado
Arquitectos	Primeros diseños y diseños detallados de nuevos edificios, en colaboración con ingenieros Diseño de proyectos de rehabilitación	Evaluación del impacto de los productos de la construcción (Ecoetiquetas y Declaraciones Ambientales de Producto)
Ingenieros/ Consultores	Primeros diseños y diseños detallados de nuevos edificios, en colaboración con arquitectos Diseño de proyectos de rehabilitación	Comparación de opciones de diseño (geometría/orientación, opciones técnicas)

TABLA 3. Usuarios de ACV para edificios.

Un estudio de ACV permite evaluar la influencia que tienen las principales decisiones adoptadas en la fase de diseño del edificio sobre el mantenimiento y los gastos

asociados al funcionamiento, así como los impactos medioambientales reales del edificio. De este modo es posible evaluar el potencial de ahorro energético y disminución de emisiones asociadas a la implantación de distintas soluciones constructivas y arquitectónicas de bajo impacto a nivel local, regional y global.

Así el ACV permite la toma de decisiones teniendo en cuenta la globalidad de impactos ambientales del ciclo de vida de los edificios evitando evaluaciones parciales de una etapa o un impacto ambiental (por ejemplo la certificación energética evalúa un solo aspecto ambiental, consumo energético, y en una única etapa del ciclo de vida del edificio, uso del edificio).



Mediante la combinación del ACV con el Análisis de Costes de Ciclo de Vida (ACCV) [Gluch P., Baumann H., 2004; Langdon D., 2007], se obtiene una mayor rentabilidad económica de las inversiones relacionadas con la edificación y la rehabilitación, contribuyendo a una mejora de la gestión energética de los edificios. Esta combinación puede, por ejemplo, ser utilizada para la selección de soluciones constructivas alternativas, identificando la solución técnica que cumple con un objetivo medioambiental establecido con el menor coste, o la contabilización del impacto medioambiental en dicho coste.

Asimismo el uso del ACV ayuda a promover la construcción de Edificios de Cero Emisiones de Ciclo de Vida [Hernández P., Kenny P., 2010] con un impacto medioambiental muy bajo, integrando técnicas avanzadas de ecodiseño arquitectónico, bioconstrucción, ahorro energético, agua y materiales, y energías renovables, obteniendo la máxima eficiencia de los recursos disponibles y el máximo confort térmico.



También hay que señalar que el ACV permite realizar una definición objetiva de los criterios más adecuados para la contratación y la compra pública verde. En la actualidad, a pesar de que el 40% de la demanda de obras de construcción proviene del sector público, frecuentemente se desaprovechan las posibilidades de contratación pública, que podría facilitar la demanda de soluciones sostenibles orientadas a la innovación considerando las evaluaciones del ciclo de vida y del coste-beneficio.

A nivel de materiales y productos de la construcción, el ACV permite realizar una evaluación cuantitativa de sus impactos, favoreciendo su mejora y ecoetiquetado para comunicar los beneficios obtenidos. El ecoetiquetado de productos es un mecanismo de carácter voluntario que permite distinguir aquellos productos que han sido fabricados con un menor impacto sobre el medioambiente. Las ecoetiquetas o etiquetas ecológicas proporcionan al comprador (profesional o privado) información sobre las repercusiones medioambientales de los productos, ayudándole a comparar y escoger entre varias alternativas. Existen diferentes tipos de ecoetiquetas, siendo las de tipo III (o Declaraciones Ambientales de Producto, DAP) las más relacionadas con la metodología del ACV. Este tipo de ecoetiquetas consisten en una declaración sobre los impactos ambientales que genera un determinado producto a lo largo de su ciclo de vida (de la cuna a la tumba) o hasta la fase de producción (de la cuna a la puerta); la información declarada se basa en la metodología del ACV, aplicada siguiendo unas reglas específicas para la categoría de producto en cuestión. La tabla 4 presenta los principales programas de DAP (normalizados según ISO 14025:2006, ISO 21930:2007 y EN 15804:2012) relacionadas con productos del sector de la construcción existentes en la actualidad a nivel mundial.

Las DAP de productos concretos pueden utilizarse en la elaboración de estudios de ACV de sistemas más complejos e incluso de edificios. En este sentido, las DAPs permiten disponer de información más precisa de sus materiales constructivos que la obtenida a partir de las bases de datos (públicas o comerciales) existentes, que generalmente contienen valores promedios. No obstante, a día de hoy y debido al carácter voluntario de las DAPs, éstas sólo existen para un reducido, aunque creciente, número de productos.

Sistema/Programa DAP	Administrador	País	Logotipo y página web
Déclaration sur les caractéristiques écologiques de produits utilisés dans la construction	SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein)	Suiza	 http://www.sia.ch
BRE	BRE Environmental Profiles Certification	Reino Unido	 http://www.bre.co.uk
MRPI® (Milieu Relevante Product Informatie)	NVTB (Nederlands Verbond Toelevering Bouw)	Holanda	 http://www.mrpi.nl
Umwelt-Deklarationen (EPD)	IBU (Institut Bauen und Umwelt e.V.)	Alemania	 http://bau-umwelt.de
Programme de Déclaration Environnementale et Sanitaire pour les produits de construction (FDE&S)	AFNOR Groupe	Francia	 http://www.inies.fr
RT Environmental Declaration	The Building Information Foundation RTS	Finlandia	 http://www.rts.fi
EPD - Norge	Næringslivets Stiftelse for Miljødeklarasjoner	Noruega	 http://www.epd-norge.no
EPD® system	International EPD Consortium	Internacional	 http://www.environdec.com
The Green Standard EPD System	The Green Standard	Estados Unidos	 http://www.thegreenstandard.org
DAPc - Declaración Ambiental de Productos en el sector de la Construcción	CAATEEB (Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona)	España	 http://es.csostenible.net

TABLA 4. Principales programas de DAP del sector de la edificación a nivel mundial.

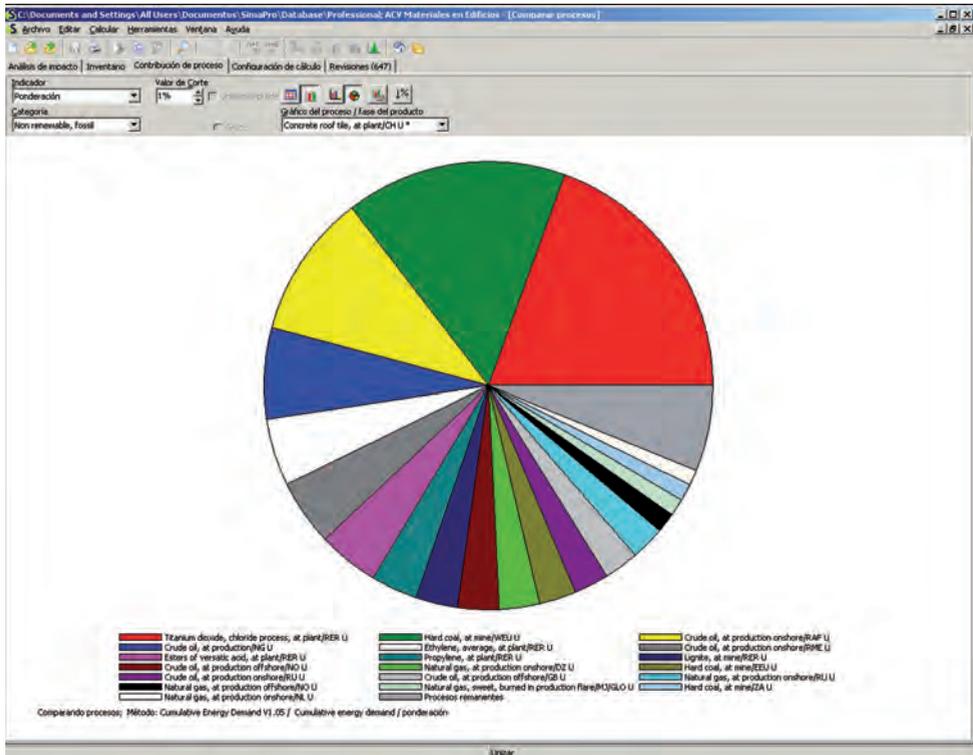


Principales herramientas que permiten aplicar el ACV en el sector de la edificación

Con el objetivo de facilitar la aplicación del ACV, en las últimas décadas se han desarrollado programas informáticos que ayudan al analista a confeccionar el inventario de ciclo de vida, calcular los resultados de la evaluación de impactos e interpretar los resultados.

Algunas de estas herramientas son de carácter general, como GaBi (PE International, Alemania) o SimaPro (PRé Consultants, Países Bajos), es decir, que pueden utilizarse para evaluar cualquier tipo de producto. Otras han sido desarrolladas específicamente para su aplicación en el sector de la edificación, de manera que, por ejemplo, incluyen módulos pre-determinados para describir los principales componentes del edificio, permitiendo así que expertos no usuarios en la metodología del ACV puedan aplicarla. Son ejemplos de este tipo de herramientas, BEES (NIST, EUA), SBS (Fraunhofer, Alemania) o Elodie (CSTB, Francia).

En el caso de aplicaciones informáticas de ACV de uso general el usuario tiene más libertad a la hora de seleccionar las hipótesis de partida. No obstante, normalmente requieren de un alto conocimiento de la metodología del ACV y un mayor tiempo de uso, ya que además es preciso el uso de otras herramientas para cuantificar las masas de los distintos materiales de construcción utilizados, los consumos energéticos del edificio, etc. En el caso de las herramientas adaptadas, las interfaces están más adaptados al análisis de edificios, simplificando y agilizando la entrada de datos y la interpretación de los resultados obtenidos, e integrando los distintos cálculos requeridos en la misma aplicación.



Además de su facilidad de uso, otro aspecto importante a la hora de utilizar una de estas herramientas es conocer si disponen de bases de datos ambientales que ayuden a la realización del Inventario de Ciclo de Vida. Los datos pueden proceder de una o más bases de datos, en función de los requisitos de calidad definidos. La Tabla 5 muestra las principales bases de datos de inventario de ciclo de vida que se pueden utilizar en los estudios de ACV.

En los últimos años, a medida que más DAP son publicadas, se están desarrollando bases de datos con información sobre los impactos ambientales de productos de la construcción. Así, programas como Elodie se alimentan de la base de datos de DAP francesas (base de datos INIES), al igual que lo hace el Sustainable Building Specifier (SBS) con las DAP alemanas (base de datos Ökobau).

Base de datos (año)	Contenido	Entidad desarrolladora	Nº de procesos (2010)
ELCD core database v.II (2009)	Materiales, transformación de energía, transporte y gestión de residuos	Diversas entidades, asociaciones y organizaciones europeas < http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetCategories.vm >	316
U.S. Life-Cycle Inventory database v.1.6.0 (2008)	Flujos de energía y materiales para los procesos unitarios más comunes	National Renewable Energy Laboratory (Estados Unidos) < www.nrel.gov/lci/database >	355
Ecoinvent v1.2 (2005)	Gran variedad de procesos incluyendo energía, transporte, materiales de construcción, productos químicos, agricultura, gestión de residuos, etc. de Suiza y Alemania	Ecoinvent centre (Suiza) < www.ecoinvent.ch >	2.700
Ecoinvent v2.0 (2007)			4.000
IVAM LCA Data v.4.06 (2004)	Datos holandeses sobre materiales, transporte, energía y tratamiento de residuos	IVAM Environmental Research (Holanda) < www.ivam.uva.nl/index.php?id=164&L=1 >	1.350
Boustead Model v.5.0.12 (2006)	Amplia base de datos de materiales, producción de combustibles y energía	Boustead Consulting Limited (Reino Unido) < www.boustead-consulting.co.uk >	-
Athena database v.4 (2009)	Consumos energéticos y emisiones de productos de la construcción a lo largo de su vida útil	Athena Institute (Canadá) < www.athenasmi.org/tools/database/index.html >	1.200
Idemat (2001)	Base de datos holandesa, compilada a partir de distintas fuentes	Delft Technical University (Países Bajos) < www.io.tudelft.nl >	508
Gabi database	Base de datos que incluye procesos del sector agrícola, de la construcción, productos químicos, electrónica y TICs, energía, alimentación, metales, minería productos industriales, plásticos, etc.	PE International < www.gabi-software.com >	4.500
ETH-ESU (1996)	Amplia base de datos suiza centrada en energía, transporte y residuos	ETH-ESU (Suiza) < www.uns.ethz.ch >	1.200
GEMIS 4.5 (2009)	Base de datos gratuita que engloba procesos energéticos y de transporte, materiales, procesos de reciclaje y de tratamiento de residuos	Öko-Institut (Alemania) < www.gemis.de >	-

TABLA 5. Principales bases de datos para estudios de ACV.



La herramienta EnerBuiLCA

En el contexto de las herramientas adaptadas a la aplicación del ACV al sector de la edificación, desde el proyecto EnerBuiLCA se ha desarrollado un software que permite, mediante la introducción de información básica de un edificio completo o solución constructiva, la evaluación de los impactos ambientales de sus fases de producción, construcción y uso.

La herramienta EnerBuiLCA es accesible desde la plataforma on-line de la Red Temática del proyecto (www.enerbuiLCA-sudoe.eu), y se basa en la metodología del ACV, como se describe en la norma ISO 14040:2006 e ISO 14044: 2006. Las especificaciones técnicas y los métodos de cálculo que figuran en las normas EN 15.643-1, EN 15643-2, EN15804 y EN 15978 también se han considerado en el desarrollo de la herramienta.

En relación a la definición de los **objetivos y alcance del estudio**, la herramienta EnerBuiLCA permite la evaluación de las etapas de producción, construcción y uso de un edificio o solución constructiva. La etapa de fin de vida no se incluye en los límites del sistema a evaluar debido a las dificultades encontradas en la búsqueda de información sobre esta etapa en proyectos similares desarrollados previamente como CICLOPE (un Proyecto Singular Estratégico fundado por el Ministerio español de Ciencia e Innovación).

En la etapa de producción se incluyen los procesos relacionados con el suministro de materias primas, el transporte hasta la puerta de la fábrica y los procesos de fabricación de los productos de construcción, incluyendo el tratamiento de los residuos derivados de estos procesos (ver Tabla 1).

La etapa de construcción incluye el transporte de los productos de construcción de la puerta de la fábrica al lugar de construcción, la demanda de energía de la maquinaria utilizada en esta fase y el transporte de los residuos generados en el lugar de construcción (ver Tabla 1).

En la etapa de uso se tiene en cuenta la demanda final de energía para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación, así como la contribución de los sistemas de energía renovable. La demanda final de energía se calcula de acuerdo a la guía para el cálculo de la eficiencia energética de los edificios. El funcionamiento de los equipamientos (por ejemplo, el de una escalera mecánica) y los servicios relacionados al edificio (como la demanda de agua, el tratamiento de las aguas residuales en las instalaciones municipales de tratamiento de aguas residuales, la movilidad de los usuarios, los productos de consumo y residuos sólidos) han sido excluidos del análisis y por consiguiente del alcance de la herramienta. Los procesos de mantenimiento del edificio que generalmente incluyen el reemplazo de diferentes elementos de la envolvente como ventanas, puertas y otros elementos se incluyen en la etapa de uso. Estos incluyen la producción de nuevos productos o sistemas, el transporte desde la fábrica a la obra y la disposición final de los productos sustituidos/sistemas. La información sobre la vida útil de estos elementos se obtiene de las diferentes DAP de los productos.

En cuanto a las **categorías de impacto** a considerar, como primera aproximación, esta herramienta solo contempla una categoría de impacto ambiental (el calentamiento global) y un indicador de impacto (el consumo de energía primaria). Esto es debido a que se pretende que esta herramienta sea un paso preliminar o entrenamiento para un usuario no experto en ACV, antes de pasar a utilizar la metodología completa. Actualmente, la mayor parte de los impactos ambientales que ocasionan los edificios son debidos al consumo de energía, mientras que el cambio climático permite discriminar entre los efectos de las diferentes fuentes de energía utilizadas (renovables o no renovables y, dentro de las últimas, entre carbón, nuclear, petróleo, etc.).



Siguiendo los ejemplos de Elodie en Francia o SBS en Alemania, el software EnerBuiLCA se alimenta de una base de datos que ha sido específicamente creada para el proyecto. La estrategia seguida para el desarrollo de esta base de datos consiste en la recopilación de información ambiental disponible de Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) de productos de la construcción de diferentes sistemas de ecoetiquetado como el DAPc, Deklaration Umwelt, el Sistema Internacional EPD etc (CAATEEB de 2012; IBU 2012; Environdec de 2012), lo que simplifica en gran medida la fase de **análisis de inventario de ciclo de vida**. Se han desarrollado 3 bases de datos diferentes: (1) una de los productos de construcción, incluyendo 70 productos del Catálogo de Elementos Constructivos, (2) otra de soluciones constructivas, incluyendo información ambiental y técnica de las soluciones representativas para España, Francia y Portugal, y (3) una última con información genérica que incluye información sobre las fuentes de energía y el transporte.

Cálculo de resultados: La herramienta se presenta mediante una interfaz a través de la cual el usuario podrá crear un proyecto de edificio para su evaluación. Con este fin, el diseñador introduce información básica sobre el edificio objeto de estudio (ya

sea de nueva obra o rehabilitación) en la herramienta, tal como: tipo de edificio, requisitos técnicos y funcionales, tipo de uso y vida útil. Una vez hecho esto, el diseñador puede buscar en la base de datos las soluciones constructivas que forman parte del edificio y, tras la introducción de la información sobre el consumo de energía de la fase de uso (calculado con una herramienta de simulación), obtener información en tiempo real sobre el consumo de energía y emisiones de GEI asociadas.

El diseñador es capaz así de evaluar tanto edificios completos como soluciones constructivas. Dado que en la actualidad la base de datos de productos de la construcción y de sistemas constructivos contiene una cantidad limitada de información, el diseñador también puede modificar la información existente sobre los productos y/o soluciones constructivas y/o crear nuevos productos o sistemas constructivos para adaptar la información al escenario real en estudio. De esta información, únicamente pasará a formar parte de la base de datos publicable de productos de construcción la información que haya sufrido un proceso de validación por parte de los administradores de la herramienta. De esta manera, la base de datos medioambiental de los productos podrá ir ampliándose a medida que aumenta su uso.

La herramienta ha sido validada en 20 casos piloto diferentes en diversas regiones del área SUDOE de España, Francia y Portugal. Mediante el uso de la herramienta se obtienen, en tiempo real, resultados de impacto que permiten a los diferentes usuarios considerar diferentes opciones de diseño a la hora de proyectar edificios e interpretar los resultados fácilmente.



Un ejemplo práctico de aplicación del ACV en el sector de la edificación: ACV de baldosas cerámicas

La información que conforma este capítulo ha sido extraída por iMat (hoy en día integrado en el centro tecnológico ASCAMM), principalmente de Benveniste G., et al., 2011, así como de otros artículos y comunicaciones técnicas complementarias sobre las baldosas cerámicas y el uso de la metodología de ACV. El texto definitivo ha sido revisado por ASCER - Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos.

Recordamos que la finalidad de este documento es ofrecer una pincelada práctica sobre la utilidad de la metodología de ACV, para obtener información adicional o detallada sobre el impacto ambiental de las baldosas cerámicas se recomienda consultar la bibliografía correspondiente o contactar directamente con ASCER.



FIGURA 5. Imagen que muestra algunas de las aplicaciones de las baldosas cerámicas. Fuente: www.ascer.es.

8.1. Motivación / Objetivos de la aplicación de la metodología de ACV

Conocer la magnitud y naturaleza de los impactos ambientales durante el ciclo de vida de la baldosa cerámica (producción, distribución, uso y gestión del fin de vida), con la finalidad de focalizar los esfuerzos en la reducción y mejora de la sostenibilidad del producto frente a otros productos emergentes y materiales competidores.

Se considera el ACV como una herramienta valiosa a la hora de afrontar dificultades derivadas de la crisis económica global y detectar potenciales de mejora para así poder desarrollar planes estratégicos de diferenciación e innovación del producto basados en la variable ambiental.

Otro objetivo del estudio de ACV de la baldosa cerámica a nivel sectorial era disponer de la información de partida para la redacción de las Reglas de Categoría de Producto (en adelante RCP) para este tipo de recubrimiento. Las RCP son un conjunto de directrices que guían en la redacción de las Declaraciones Ambientales de Producto (etiqueta ecológica Tipo III según la clasificación ISO) y en la redacción del ACV que las sustenta. Entre otras cosas, las RCP determinan cuál debe ser la unidad funcional aplicada, las categorías de impacto evaluadas, los límites del sistema estudiado o los requisitos de calidad de los datos.

Cliente: ASCER (Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos) / Apoyo financiero: IMPIVA (Instituto de la Mediana y Pequeña Industria Valenciana de la Generalitat Valenciana, y los Fondos FEDER, a través de los Planes Sectoriales de Competitividad.

- Empresas colaboradoras fabricantes de productos o sistemas: Más de 50 empresas del sector de la fabricación de baldosas cerámicas y afines adheridas a ASCER (que representan aproximadamente el 50% de la producción española).
- Equipo que aplica la metodología de ACV: GiGa (ESCI-UPF) y el ITC (Instituto de Tecnología Cerámica de la Universidad Jaume I).

8.2. Descripción del producto

Las baldosas cerámicas son piezas planas de poco espesor fabricadas con arcillas, sílice, fundentes, colorantes y otras materias primas. Generalmente se utilizan como pavimentos para suelos, y revestimientos de paredes y fachadas.

Las arcillas utilizadas en la composición del soporte pueden ser de cocción roja o bien de cocción blanca. Las baldosas cerámicas, tanto de pavimento de suelo como de revestimiento de paredes, son piezas cerámicas impermeables que están constituidas normalmente por un soporte arcilloso y un recubrimiento vítreo: el esmalte cerámico.

La extensa gama de productos cerámicos existente en el mercado actual está condicionada por las variadas utilidades de este material en la arquitectura y la decoración de interiores. En función de su aplicación, existen diferentes tipologías de producto y características [ASCER].

8.3. Utilización del ACV en el caso de éxito

El estudio de ciclo de vida de las baldosas cerámicas a nivel sectorial se lleva a cabo de acuerdo con las normas ISO sobre ACV [UNE EN ISO 14040:2006 y UNE EN ISO 14044:2006].

A continuación se resumen algunos aspectos relativos a la metodología de ACV y las fases en las que se estructura el análisis: definición de los objetivos y el alcance del estudio, análisis del inventario, evaluación de impacto, e interpretación de los resultados [Benveniste G., et al., 2011].

Objetivos y alcance

- Función principal: pavimentar (suelos) o revestir (paredes).
- Unidad funcional (UF): revestimiento de 1 m² de superficie (pared o suelo) de un edificio con gres/azulejo durante 50 años considerando un uso residencial, comercial o sanitario.

- Descripción del producto analizado: En el estudio se han analizado los comportamientos ambientales de 3 tipos de baldosas (azulejo, gres porcelánico y gres esmaltado) considerando dos coloraciones del soporte distintas. Para el revestimiento de paredes, se ha considerado el azulejo de coloración blanca (AB) y roja (AR), agrupado como azulejo medio. Para el pavimento, se han considerado el Gres Porcelánico medio (GP), el Gres Esmaltado de coloración blanca (GEB) y roja (GER), agrupado como Gres Esmaltado medio.

Límites del sistema

- Se estudian todas las fases del ciclo de vida, distinguiendo 4 fases principales: extracción, transporte hasta fábrica y fabricación de la baldosa cerámica [A], transporte hasta el edificio y colocación [B], uso y mantenimiento [C], desconstrucción y fin de vida [D] (véase la Figura 6).

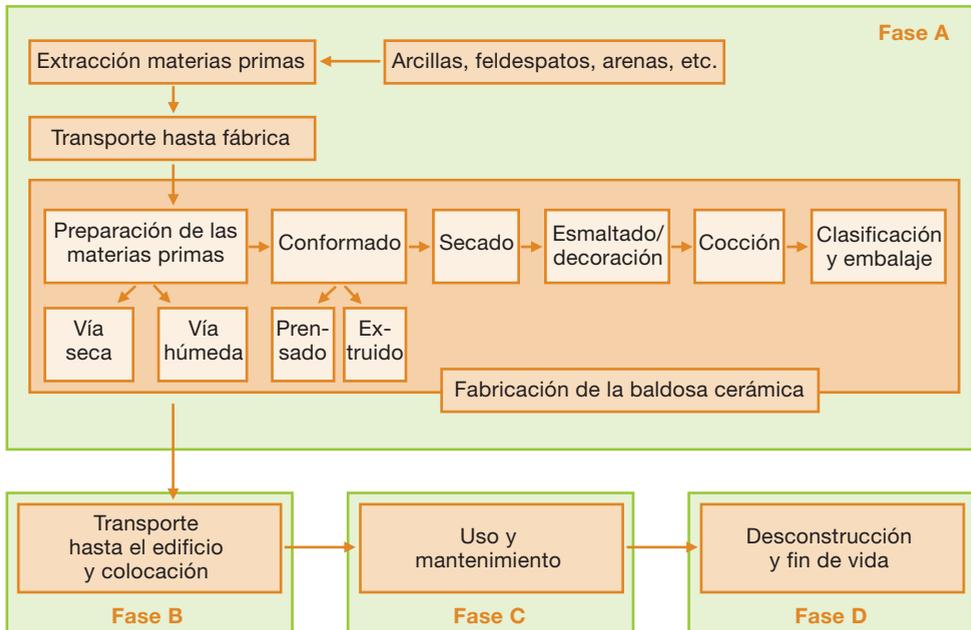


FIGURA 6. Fases consideradas en el Ciclo de Vida. Fuente: ITC y ASCER, 2008.

- Quedan fuera de los límites del sistema la producción de maquinaria y equipamiento industrial (por su poca relevancia en relación al proceso productivo), así como las operaciones de reciclaje de residuos (dado que forman parte del ciclo de vida del producto reciclado). Se han considerado despreciables los impactos generados por aquellas materias primas que componen la baldosa cuyo peso sea inferior al 1% sobre el peso total de la baldosa.

Análisis de inventario

La información se ha obtenido a partir de datos agregados de procesos en algunos casos y datos de procesos unitarios en otros, según la disponibilidad de datos de las empresas. Al tratarse de un análisis a nivel sectorial, los datos utilizados son promedios ponderados en función de la producción, establecidos entre un número representativo de fabricantes del sector, no pudiendo atribuir, por tanto, los datos y los resultados a un único fabricante.

- *Fase A:* Se recopilan datos medios de las materias primas que componen para cada tipo de baldosa, así como el tipo de transporte utilizado hasta la planta y las distancias medias recorridas. Para cada tipo de baldosa se han determinado los consumos de agua, de energía, las emisiones atmosféricas y los residuos generados a lo largo de todo su proceso de fabricación. La mayor parte de los residuos generados en el proceso de fabricación, excepto los residuos de los embalajes, son reintroducidos en la fase de producción de la baldosa o son excluidos por formar parte de las operaciones de mantenimiento de las instalaciones (fuera de los límites del sistema).
- *Fase B:* Las baldosas cerámicas se comercializan en todo el mundo. Las distancias medias y tipo de transporte utilizado respecto a la producción total de baldosas cerámicas se establece a partir de datos estadísticos. La colocación se realiza de manera manual y se ha considerado que se utiliza mortero adhesivo 1:4 para su fijación, con rendimientos por m² adecuados a cada tipo de baldosa. Para la definición de los posibles escenarios de gestión de los residuos

de los materiales de embalaje se utilizan datos medios de recogida selectiva de los diferentes tipos de residuos.

- *Fase C:* Se considera la limpieza higiénica, suponiendo una determinada frecuencia de limpieza a lo largo de su vida útil y estimando unos consumos de agua y detergente a partir de referencias bibliográficas. Para el marco temporal establecido de 50 años no se requiere otra actividad de mantenimiento ni reemplazo.
- *Fase D:* Se considera que el 87% de los residuos se depositan en vertederos y el 17% restante son revalorizados al ser reutilizados como material de relleno, estimándose una distancia media de 50 km entre el edificio y el vertedero.

Evaluación de impactos

Se escogen las categorías de impacto ambiental recomendadas en la EN 15804 sobre Declaraciones Ambientales de Producto de la construcción:

- Agotamiento de Recursos Abióticos (ARA).
- Potencial de Acidificación (PA).
- Potencial de Eutrofización (PE).
- Potencial de Calentamiento Global (PCG).
- Potencial de Destrucción de la capa de Ozono Estratosférico (PDOE).
- Potencial de Formación de Ozono Fotoquímico (PFOF).

Se ha utilizado la metodología de CML 2002 para la clasificación y caracterización de los impactos ambientales [Guinée J.B., et al., 2002].

Además se han incluido una serie de indicadores de flujo para ayudar a la toma de decisiones y la interpretación de resultados. Estos indicadores son: consumo de energía primaria (MJ) y consumo de agua (kg).

8.4. Resultados

La Tabla 6 muestra el perfil ambiental para cada tipo de baldosas.

Tipología	Unidades	Gres porcelánico medio	Gres esmaltado medio	Azulejo medio
Agotamiento de recursos abióticos	kg de Sb eq.	1,1 E-01	1,1 E-01	1,0 E-01
Potencial de acidificación	kg de SO ₂ eq.	7,9 E-02	7,0 E-02	6,8 E-02
Potencial de eutrofización	kg de PO ₄ ³⁻ eq.	9,6 E-03	9,1 E-03	8,9 E-03
Potencial de calentamiento global	kg de CO ₂ eq.	1,8 E+01	1,7 E+01	1,9 E+01
Potencial de agotamiento de ozono estratosférico	kg de R11 eq.	2,1 E-07	1,7 E-07	1,8 E-07
Potencial de formación de ozono fotoquímico	kg de C ₂ H ₄ eq.	2,0 E-02	2,0 E-02	1,9 E-02
Consumo de energía primaria	MJ	3,0 E+02	2,9 E+02	3,0 E+02
Consumo de agua	kg	3,4 E+02	3,3 E+02	3,4 E+02

TABLA 6. Perfil ambiental de cada tipo de baldosas (unidades/m²) [Benveniste G. et al., 2011].

En la Figura 7, la Figura 8 y la Figura 9 se puede observar, respectivamente, la contribución de cada fase del ciclo de vida al valor total de cada una de las categorías de impacto evaluadas para el Gres porcelánico medio, Gres esmaltado medio y el Azulejo medio.

Las fases que más influyen, tanto en los indicadores ambientales (agua y energía), como en las categorías de impacto estudiadas, son las de fabricación y uso. Aunque hay que tener en cuenta que la etapa de uso está sujeta a hábitos que dependen del usuario y del escenario en que se encuentre, por lo tanto puede ser un dato subjetivo.

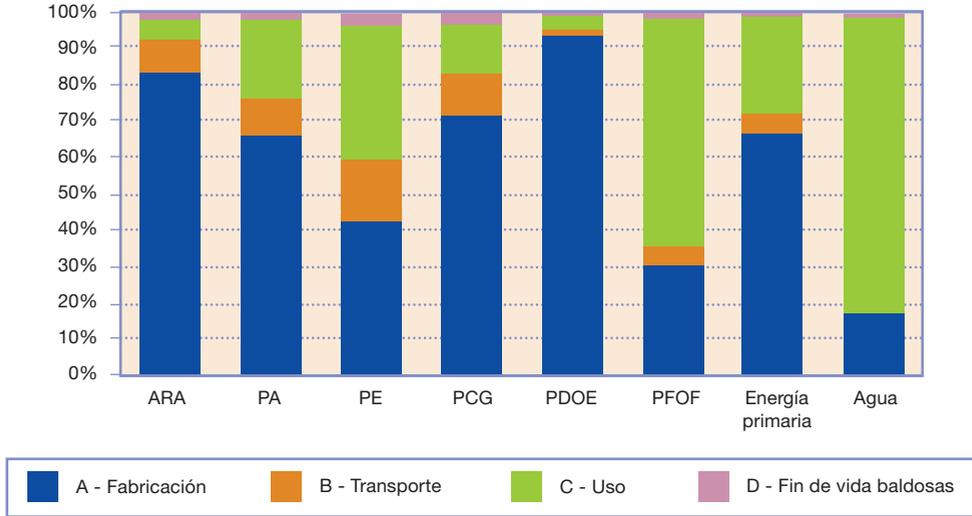


FIGURA 7. Contribución de las fases de ciclo de vida a las categorías de impacto para el Gres Porcelánico medio [Benveniste G. et al., 2011].

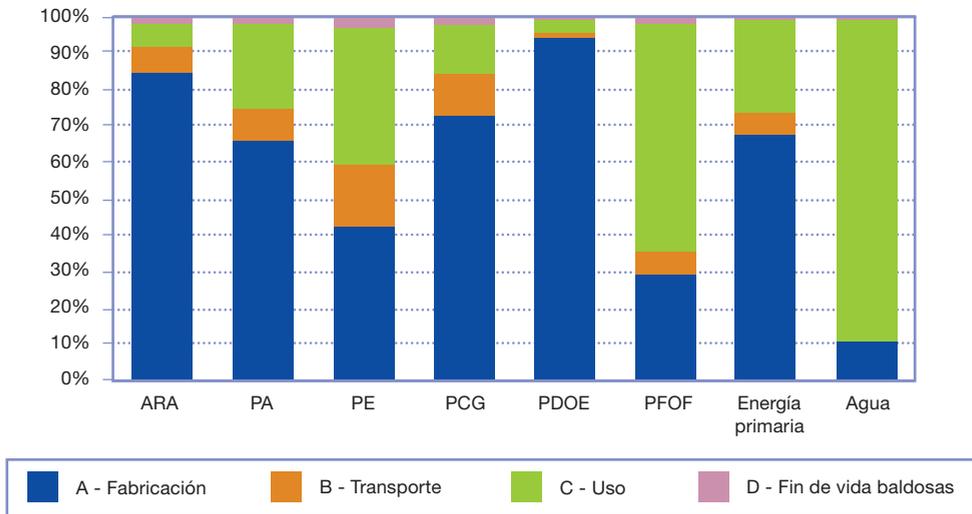


FIGURA 8. Contribuciones de las fases de ciclo de vida a las categorías de impacto para el Gres Esmaltado medio [Benveniste G. et al., 2011].

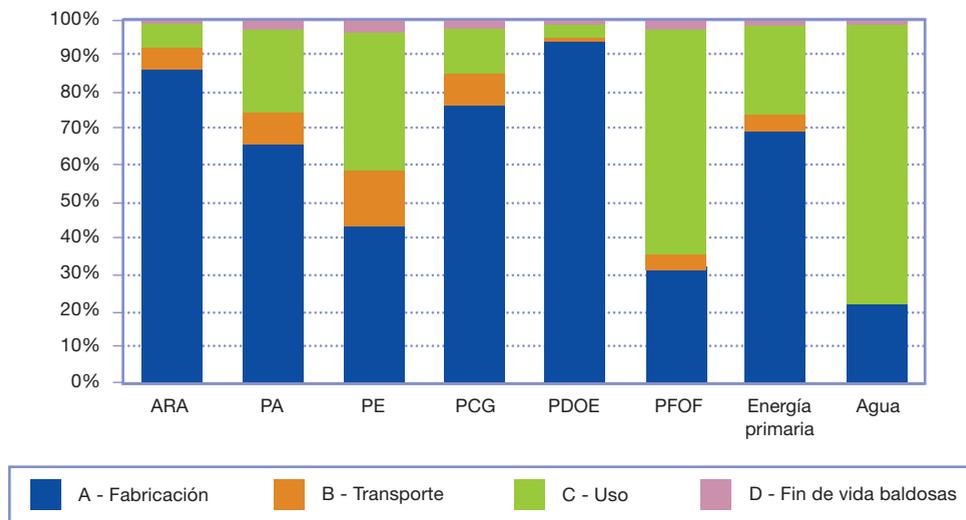


FIGURA 9. Contribuciones de las fases del ciclo de vida a las categorías de impacto para el Azulejo medio [Benveniste G. et al., 2011].

8.5. Conclusiones

El estudio ha permitido identificar las posibilidades reales de reducción del consumo energético para el sector de las baldosas cerámicas, teniendo en cuenta la elevada implantación de Mejores Técnicas Disponibles en dicho sector [Benveniste G. et al., 2011].

El estudio de ACV de las baldosas cerámicas a nivel sectorial ha permitido redactar las Reglas de Categoría de Producto, que son un conjunto de directrices que guían en la redacción de las Declaraciones Ambientales de Producto (etiqueta ecológica Tipo III según la clasificación ISO) [Reglas de Categoría de Producto para productos de recubrimiento cerámico, 2010].

Hasta la fecha se han obtenido 9 DAP de baldosas cerámicas aplicando estas RCP [Agenda de la construcción sostenible].

Se constata la metodología de ACV como una herramienta valiosa a la hora de afrontar dificultades derivadas de la crisis económica global y detectar potenciales de mejora para así poder desarrollar planes estratégicos de diferenciación e innovación del producto basados en la variable ambiental. Una muestra de ello es el proyecto DAPCER: “Desarrollo de una herramienta simplificada para la obtención de distintivos ambientales”, cuyo fin es aumentar la competitividad de las empresas mediante la elaboración de Análisis de Ciclo de Vida y Declaraciones Ambientales de Productos para baldosas cerámicas, de una forma más rápida y económica. DAPCER está siendo desarrollado por el ITC junto con la Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático, a petición de ASCER y financiado por IMPIVA a través de los europeos Fondos FEDER [RUVID].



Estado del arte del ACV en el sector de la edificación y propuestas de mejora

En la actualidad, se observa una baja aplicación del enfoque de ciclo de vida (“life cycle thinking”) en el sector de la edificación, quedándose restringida a edificios muy específicos, como por ejemplo, los de carácter demostrativo o piloto en el marco de proyectos de I+D+i, ecobarrios o ecociudades, edificios representativos como las sedes de grandes compañías, etc. Son ejemplo de ello, los casos del análisis ambiental comparativo realizado para VISESA entre dos promociones de viviendas de protección oficial emplazadas en Vitoria-Gasteiz con el objetivo de evaluar los efectos de la industrialización de la construcción, el ACV simplificado realizado para el Consorcio de Playa de Palma sobre la redacción del proyecto de rehabilitación de un bloque de viviendas plurifamiliar o el ACV realizado para 60 viviendas de nueva planta en Tossa de Mar (Gerona) promovidas por Incasòl. Mediante el proyecto EnerBuiLCA, se aportan 20 nuevos ejemplos de aplicación de la perspectiva de ciclo de vida de edificios.

Actualmente en las regiones del área SUDOE los estudios de ACV a nivel de edificios se desarrollan de forma incipiente y en casos muy puntuales, principalmente por centros de I+D y universidades así como por algunas consultoras especializadas. Por otra parte, a nivel de producto, el ACV es utilizado muy ocasionalmente (aunque de manera creciente), por las empresas fabricantes de materiales constructivos, en la elaboración de sus declaraciones ambientales de producto y otras informaciones.

Sin embargo, y a pesar de las importantes oportunidades que supondría una universalización en el uso del ACV, actualmente existen diversas barreras y obstáculos

a superar para conseguir su aplicación generalizada en los edificios. Las principales barreras son técnicas —asociadas a la disponibilidad de herramientas y bases de datos adecuadas al sector—, formativas —asociadas a la disponibilidad de un cuerpo técnico suficientemente capacitado, experto y extendido en el territorio— y económicas —asociadas al alto coste de implantación del ACV en la edificación, ya sea por la falta de herramientas e información, por la falta de personal cualificado, o por la cantidad de tiempo que supone la realización de este tipo de estudios—. En consecuencia, el ACV se percibe, en general, como una metodología complicada por parte de los agentes del sector de la construcción, existiendo dificultades en la comprensión de sus resultados. Causa de ello es, en gran parte, el escaso conocimiento de esta metodología como indican, por ejemplo, los resultados de diversas encuestas realizadas entre los profesionales.

Pero, seguramente la barrera más importante para un uso extendido del ACV en la edificación es la falta de exigencias legislativas y de incentivos, que conlleva una baja demanda para la realización de este tipo de estudios. Por ejemplo, en la actualidad no existe prácticamente ningún vínculo entre el ACV y los procedimientos de certificación energética que se han desarrollado durante estos últimos años. Por ello, en algunos casos se puede dar la contradicción de obtener una mejor calificación energética, a pesar de inducir un mayor consumo de energía primaria en términos globales, ya que la energía incorporada en los materiales de construcción no se considera en la certificación energética. La incorporación del ACV en los actuales procedimientos de certificación energética de edificios permitiría mejorar dichos procedimientos valorando la energía incorporada en los materiales de la construcción, el impacto de los transportes asociados y la disposición final de los materiales, obteniendo una mejor aproximación al impacto medioambiental real del edificio, y promoviendo la construcción sostenible de ecoedificios y la innovación en el sector de la construcción, así como promoviendo la rehabilitación de edificios aumentando su durabilidad y, a la vez, reduciendo los impactos ambientales debidos a la nueva edificación evitada.



Por tanto, las principales acciones que tendrían que ponerse en marcha para superar las barreras anteriores son: formación y concienciación general sobre la importancia del ACV dirigida a todos los agentes del sector, apoyo económico a la realización de estudios y proyectos, ofrecimiento de información sintetizada y guías sencillas como ayuda al proyecto de edificios de obra nueva y rehabilitación, y establecimiento de requerimientos normativos relativos a la consideración de los impactos ambientales en la totalidad del ciclo de vida de los edificios, y no sólo en la fase de uso, como sucede actualmente. Mediante el desarrollo del proyecto EnerBuiLCA, este manual explicativo junto con el manual de la herramienta, cursos formativos, etc., se pretende contribuir a las acciones de formación y concienciación para superar las barreras del ACV.

El intenso desarrollo de nueva normativa sobre eficiencia energética edificatoria que se ha producido durante los últimos años hace que los distintos agentes involucrados se quejen de falta de tiempo para adaptarse a la nueva legislación y aplicar todos los nuevos requisitos normativos. En este sentido, las herramientas simplificadas

de ACV, como EnerBuiLCA, podrían ser un excelente complemento de los procedimientos actuales de certificación energética de edificios para obtener una contabilidad real de la energía y emisiones de CO₂ asociadas al edificio, incorporando las etapas de producción de materiales, transporte y disposición final. Este mayor uso del enfoque de ciclo de vida produciría una mejora de la eficiencia energética del sector de la construcción en términos globales y, además, del perfil medioambiental de los materiales utilizados promoviendo su reutilización y/o reciclaje.



Referencias

- Adalberth K, Almgren A, Holleris E., 2001. *Life cycle assessment of four multi-family buildings*. International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings 2:1-21.
- Agenda de la construcció sostenible. <www.csostenible.net>.
- Andrews E.S., et al., 2009. *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. ISBN: 978-92-807-3021-0.
<http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf>.
- Aranda A., Zabalza I., Martínez A., Valero A., Scarpellini S., 2006. *El análisis de ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial*. ISBN: 84-96169-74-X. Fundación Confemetal, Madrid.
- ASCER - Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos. <www.ascer.es>.
- Bekker P.C.F., 1982. *A life-cycle approach in building*. Building and Environment, 17(1):55-61.
- 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.
- Boustead I., 1972. *The milk bottle*. Open University Press. Milton Keynes.
- Boustead I., Hancock G.F., 1979. *Handbook of Industrial Energy Analysis*. Ellis Horwood Ltd.
- Boustead I., 1996. *LCA - How it came about. The beginning in the U.K.* International Journal of Life Cycle Assessment, 1(3):147-150.
- CEN/TC 350. EN 15643-1:2010, Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 1: General Framework.
- CEN/TC 350. EN 15643-2:2011, Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 2: Framework for the Assessment of Environmental Performance.
- CEN/TC 350. EN 15643-3:2012, Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 3: Framework for the Assessment of social Performance.
- CEN/TC 350. EN 15643-4: 2012, Sustainability of Construction Works – Assessment of Buildings – Part 4: Framework for the Assessment of economic Performance.
- CEN/TC 350. EN 15804:2012. Sustainability of Construction Works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.

- CEN/TC 350. EN 15978:2011 Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method.
- Comisión Europea. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on Integrated Product Policy. *Building on Environmental Life-Cycle Thinking*. Bruselas, (COM (2003) 302).
- Comisión Europea. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *Taking sustainable use of resources forward: A Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste*. Bruselas, (COM (2005) 666).
- Comisión Europea. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *Thematic Strategy on the sustainable use of natural resources*. Bruselas, (COM (2005) 670).
- Comisión Europea. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy Action Plan. Bruselas, (COM (2008) 397).
- Gluch P., Baumann H., 2004. *The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making*. Building and Environment, 39(5):571-580.
- Goedkoop M. and Spriensma R. (2000). *The Eco-indicator 99 : A damage oriented method for life cycle impact assessment*. PRé Consultants. Amersfoort. The Netherlands. 142 p.
- Guinée J.B., Gorrée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H.A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts, M.A.J. *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, 2002.
- Heijungs R., Huppes G., Guinée J.B., 2010. *Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis*. Polymer Degradation and Stability, 95(3):422-428.
- Hernandez P., Kenny P., 2010. *From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)*. Energy and Buildings, 42:815-821.
- ISO 21930:2007 Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products.
- Klöpffer W., 2008. *Life cycle sustainability assessment of products*. International Journal of Life Cycle Assessment, 13(2):89-94.
- Langdon D., 2007. *Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction – Guidance on the use of the LCC Methodology and its application in public procurement*. David Langdon, Management Consulting.
- Malmqvist T., Glaumann M., Scarpellini S., Zabalza I., Aranda A., Llera E., Díaz S., 2010. *LCA in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines*. Energy, 36(4):1900-07.
- Peuportier B., 2001. *Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context*. Energy and Buildings 33:443-50.

- Proyecto singular estratégico CICLOPE - Análisis del impacto ambiental de los edificios a lo largo de su ciclo de vida en términos cuantificables de consumo energético y emisiones GEI asociadas. Subproyecto 2: Metodología de evaluación del impacto ambiental y económico de los edificios. Entregable E2.4.1.
- Sartori I, Hestnes AG., 2007. *Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: a review article*. Energy and Buildings 39:249-57.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).
- Red de Universidades Valencianas para el fomento de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación (RUVI). <<http://ruvid.webs.upv.es>>.
- Reglas de Categoría de Producto (RCP) para productos de recubrimiento cerámico RCP 002 Versión 1, 2010.
- Ros T., Celades I., Monfort E., Zaera V., Benveniste G., Cerdán C., Fullana i Palmer P., 2010. *Impactos ambientales de ciclo de vida de las baldosas cerámicas. Análisis sectorial, identificación de estrategias de mejora y comunicación*. Conama10 – Congreso Nacional del Medio Ambiente.
- Sleeswijk A.W., Van Oers L.F.C.M., Guinée J.B., Struijs J., Huijbregts M.A.J., 2008. *Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000*. Science of the Total Environment 390 (1):227-240.
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 1993. Guidelines for Life Cycle Assessment: A "Code of Practice".
- Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 1996. Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment.
- Thormark C., 2002. *A low energy building in a life cycle-its embodied energy, energy need for operation and recycling potential*. Building and Environment 37:429-35.
- Unión Europea, 2010. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).
- UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044:2006. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.
- UNE-ISO 14025:2007. Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos.
- Weidema B.P., 2006. *The Integration of Economic and Social Aspects in Life Cycle Impact Assessment*. International Journal of Life Cycle Assessment, 11 (Special 1):89-96.
- Yohanis YG, Norton B., 2002. *Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK*. Energy 27:77-92.
- Zabalza I., Aranda A., Scarpellini S., 2009. *LCA in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification*. Building and Environment, 44:2510-20.



Impreso sobre papel reciclado 100%.

Proyecto EnerBuiLCA

Life Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings

Coordinador:

- CIRCE - Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos



Participantes:

- Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático (ESCI-UPF)



- TECNALIA - Corporación tecnológica. Unidad de Construcción - División de Sostenibilidad



- iMat - Centro Tecnológico de la Construcción



- IAT - Instituto Andaluz de Tecnología



- CTCV - Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro Direcção Geral Unidade de Ambiente e Sustentabilidade



- NOBATEK - Centre de Ressources Technologiques



- LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, IP

