



Proyecto “EnerBuiLCA”: Desarrollo de una base de datos y una herramienta de análisis de ciclo de vida de edificios adaptada a la región sudoeste de Europa

Autor: Ignacio Zabalza Bribián

Institución: Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE)

Otros autores: José Alfonso Aranda Usón (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos); Sabina Scarpellini (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos)

Resumen

El proyecto 'EnerBuiLCA' es una iniciativa aprobada por la Unión Europea dentro del Programa Europeo de Cooperación Territorial SUDOE, que cuenta con la participación de socios pertenecientes a siete regiones del sudoeste europeo. El objetivo del proyecto es desarrollar una innovadora metodología cuantitativa de Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación de los impactos energéticos directos e indirectos de los edificios, y promover el uso de dicha metodología en el sector de la construcción y la edificación. Actualmente, los edificios consumen un 42% de la energía final y generan cerca del 35% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la UE. Mientras otras investigaciones actuales, se centran en minimizar el consumo energético directo (para abastecer la demanda de climatización, agua caliente e iluminación) únicamente en la etapa de uso de los edificios, la herramienta 'EnerBuiLCA' considera la energía incorporada en todo el ciclo de vida de los edificios: desde la fabricación de sus componentes y su construcción, hasta las etapas de uso y mantenimiento, y su rehabilitación o fin de vida. Se propone por tanto un enfoque más global y realista, que evalúa cuantitativamente los impactos directos e indirectos desde la cuna hasta la tumba, con objeto de promover un nuevo estándar de edificios de cero emisiones en su ciclo de vida (Life Cycle Zero Emission Buildings). Para ello se ha desarrollado una base de datos con la información ambiental y técnica necesaria con los productos y soluciones constructivas más representativas del sudoeste europeo y una herramienta de cálculo que permita a los usuarios no expertos desarrollar un auto-diagnóstico del ciclo de vida de un edificio. Los resultados obtenidos en el proyecto ayudarán a fomentar la I+D+i en el sector de la edificación, aumentando la colaboración e intercambio de información entre los centros de investigación, las empresas y la administración. De este modo, se promueve una actividad económica sostenible, a la vez que se sensibiliza a la sociedad sobre la necesidad y oportunidad de disponer de edificios más respetuosos con el medioambiente.

1. DESCRIPCIÓN DEL CONCEPTO 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 forzaría 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.

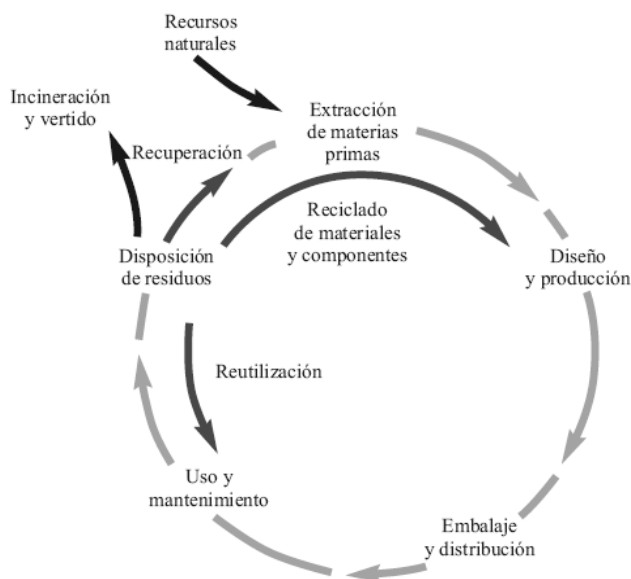


Figura 1. Ciclo de vida de un producto

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?.

2. 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.

En los últimos años, diversos autores han propuesto ampliar el enfoque del ACV atendiendo a la triple “P” de la sostenibilidad: people (social) – planet (ambiental) – profit (económica), proponiendo un análisis de ciclo de vida para la sostenibilidad (ACVS), que integre el ACV convencional con el Análisis del Coste del Ciclo de Vida (ACCV) y el análisis del ciclo de vida social [Weidema B.P., 2006; Klöpffer W., 2008; Andrews E.S., et al., 2009; Heijungs R., Huppes G., Guinée J.B., 2010].

3. 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.

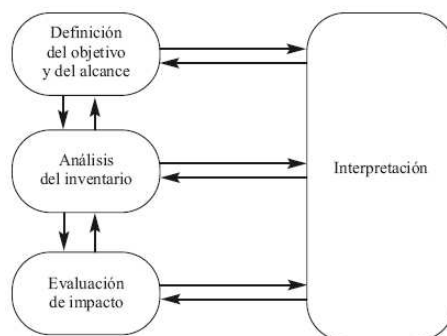


Figura 2. Metodología general del ACV

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).

3.1. 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.

ETAPA DE PRODUCTO	ETAPA DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN	ETAPA DE USO	ETAPA DE FIN DE VIDA
A1 Suministro de materias primas	A4 Transporte	B1 Uso	C1 Deconstrucción-demolición
A2 Transporte	A5 Procesos on-site de construcción e instalación	B2 Mantenimiento	C2 Transporte
A3 Manufactura		B3 Reparación	C3 Tratamiento de residuos
		B4 Reemplazo	C4 Disposición final
		B5 Rehabilitación	
		B6 Consumo de energía operacional	
		B7 Consumo de agua operacional	

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/TC350 para llevar a cabo estudios de ACV en edificios.

Categorías 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. 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. Información de políticas de edificación/rehabilitación. Contratación y compra pública verde. Establecimiento de objetivos para las zonas a desarrollar
Promotores inmobiliarios y clientes		Elección del emplazamiento del edificio. Dimensionamiento del proyecto. Establecimiento de objetivos medioambientales para el edificio dentro de un Programa determinado
Fabricantes de productos de la construcción	Primeros diseños y diseños detallados	Evaluación del impacto de los productos de la construcción (Ecoetiquetas y Declaraciones Ambientales de Producto)
Arquitectos	Primeros diseños y diseños detallados de nuevos edificios, en colaboración con ingenieros. Diseño de proyectos de rehabilitación	Comparación de opciones de diseño (geometría/orientación, opciones técnicas)
Ingenieros / Consultores	Primeros diseños y diseños detallados de nuevos edificios, en colaboración con arquitectos. Diseño de proyectos de rehabilitación	

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 21930:2010 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	 Institut. Bauen und Umwelt e.V. 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	 NÆRINGSLIVETS HOVEDORGANISASJON 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/dapc/

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

5. 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), Elodie (CSTB, Francia), EQUER (Armines, Francia), ECOEFFECT (KTH, Suecia) y ENVEST (BRE, Reino Unido).

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 [Zabalza I., Aranda A., Scarpellini S.; 2009.].

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.

Base de datos (año)	Contenido	Entidad desarrolladora
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 >
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 >
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 >
Ecoinvent v2.0 (2007)		
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 >
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/databases/index.html >
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 >
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

6. 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 (que puede ser tanto una obra nueva como una rehabilitación), la evaluación de la huella energética y la huella de carbono de sus fases de producción, construcción y uso.

La herramienta EnerBuiLCA tiene carácter gratuito y está accesible desde la plataforma on-line de la Red Temática del proyecto (www.enerbuilca-sudoe.eu). Está basada en la metodología general del ACV, descrita en las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, así como en las especificaciones técnicas y los métodos de cálculo que figuran en las normas EN 15.643-1, EN 15643-2, EN15804 y EN 15978 desarrolladas por el CEN/TC 350.

6.1. Definición de objetivos y alcance

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 ha incluido en la herramienta debido a las dificultades encontradas en la búsqueda de información sobre esta etapa en proyectos similares desarrollados previamente como CICLOPE (Proyecto Singular Estratégico financiado por el Ministerio 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 incluye la demanda final de energía para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación, así como la contribución de los sistemas de energía renovable. 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 urbanos) han sido excluidos 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 igualmente 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/sistemas sustituidos. La información sobre la vida útil de estos elementos se obtiene de las diferentes DAP de los productos.

6.2. Análisis de inventario y evaluación de impactos

La herramienta EnerBuiLCA se alimenta de una base de datos que ha sido específicamente creada para el proyecto a partir de 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., lo que simplifica en gran medida la fase de análisis de inventario de ciclo de vida. Se han desarrollado 3 bases de datos diferentes:

- Base de datos de productos de construcción, incluyendo 26 productos diferentes.
- Base de datos de soluciones constructivas, incluyendo información ambiental y técnica de las soluciones representativas para España, Francia y Portugal.
- Base de datos genérica, con información genérica sobre los impactos asociadas a los consumos de energía y el transporte.

En cuanto a las categorías de impacto consideradas, como primera aproximación y debido a la mayor disponibilidad de datos, esta herramienta solo contempla una categoría de impacto ambiental (el calentamiento global) y un indicador de impacto (el consumo de energía primaria). 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). En cualquier caso, la herramienta está abierta a la evaluación de otras categorías e indicadores de impacto.

6.3. Obtención e interpretación de resultados

La herramienta se presenta mediante una interfaz a través de la cual el usuario puede crear un proyecto de edificio para su evaluación, introduciendo la información básica sobre el edificio objeto del estudio: 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 final en la etapa de uso (que debe ser calculado con una herramienta de simulación), la herramienta muestra en tiempo real el consumo de energía primaria y las emisiones de GEI asociadas al ciclo de vida del edificio.

El diseñador puede 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, así como crear nuevos productos o soluciones en función del diseño a evaluar. 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. A través de este procedimiento la base de datos medioambiental de los productos podrá ir ampliándose a medida que aumenta su uso.

Configuración: Resultados del Proyecto

Código: E Tipo de proyecto/variante: Personalizado F. ult. mod: 17/05/2012 Us. ult. mod: Usuarios

Descripción: Resultados del Proyecto Estado: F. creación: 17/05/2012 Us. creación: Usuarios

RESULTADOS DE LA ETAPA DE PRODUCCION:

Descripción	Consumo energía primaria (MJ/edificio)	Huella de carbono (kg CO2 equivalente/edificio)
Muros Exteriores	36.972,956	6.434,037
Medianeras	0	0
Tabiques	0	0
Cubiertas	0	0
Pilares y muros de contención	184.498,886	12.751,929

RESULTADOS DE LA ETAPA DE PUESTA EN OBRA:

Descripción	Consumo energía primaria (MJ/e...)	Energ. primaria no renov. (MJ/e...)	Energ. primaria renov. (MJ/e...)	Huella de carbono (kg CO2 equivalente...)
Transporte	2.778,302	3,703	2.774,6	196,346
Consumo electricidad	222.443,428	40.996,88	181.446,548	9.032,958
Consumo diesel	22.488,338	29,97	22.458,368	172,515
Transporte de residuos	931,237	1,241	929,996	65,811

RESULTADOS DE LA ETAPA DE USO:

Descripción	Consumo energía primaria (MJ/edificio)	Huella de carbono (kg CO2 equivalente/edificio)
Uso:	3.373.483,246	159.382,015
Mantenimiento:	0	0

Figura 3. Principales resultados de la herramienta EnerBuiLCA

6.4. Validación de la herramienta

La herramienta ha sido validada en 20 edificios piloto diferentes en diversas regiones del área SUDOE de España, Francia y Portugal. Para la selección de los edificios piloto se ha desarrollado un sistema de selección multi-criterio basado en: el área geográfica, la zona climática, la tipología de edificio (residencial y terciario), la superficie útil, el año de construcción, el tipo de estructura y las soluciones constructivas.

Mediante el uso de la herramienta se han obtenido los resultados del impacto del ciclo de vida, permitiendo a los distintos agentes considerar diferentes opciones de diseño a la hora de proyectar edificios e interpretar los resultados fácilmente.

7. USO DEL ACV EN EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN. CONCLUSIONES 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 la 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.

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.

Bekker P.C.F., 1982. A life-cycle approach in building. *Building and Environment*, 17(1):55–61.

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.

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.

Hernández 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.

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.

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.

UNE-EN ISO 21930:2010 Sostenibilidad en la construcción de edificios – Declaración ambiental de productos de construcción.

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.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto “EnerBuiLCA” es una iniciativa cofinanciada por la Unión Europea dentro del Programa Europeo de Cooperación Territorial SUDOE, liderada por CIRCE – Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos, que cuenta con la participación de socios pertenecientes a siete regiones del sudoeste europeo: Cátedra UNESCO- ESCI – Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático, TECNALIA – Corporación tecnológica. Unidad de Construcción-División de Sostenibilidad, ASCAMM/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 y LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, IP.