

Repensar edificios mediante el análisis de ciclo de vida

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 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 útil de un edificio.

Según la Comisión Europea¹, 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.

¹ 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*

ficas, sin que se produzca una mejora real desde el punto de vista global.

A pesar de que existen estudios de ACV de productos industriales desde hace más de cuarenta 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 aun estando contruidos con los mismos materiales), o 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 estas–.

El ACV es, por tanto, 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 global². 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 pe-

Regions on the Sustainable Consumption and Production and Sustainable Industrial Policy Action Plan. Bruselas, (COM (2008) 397).

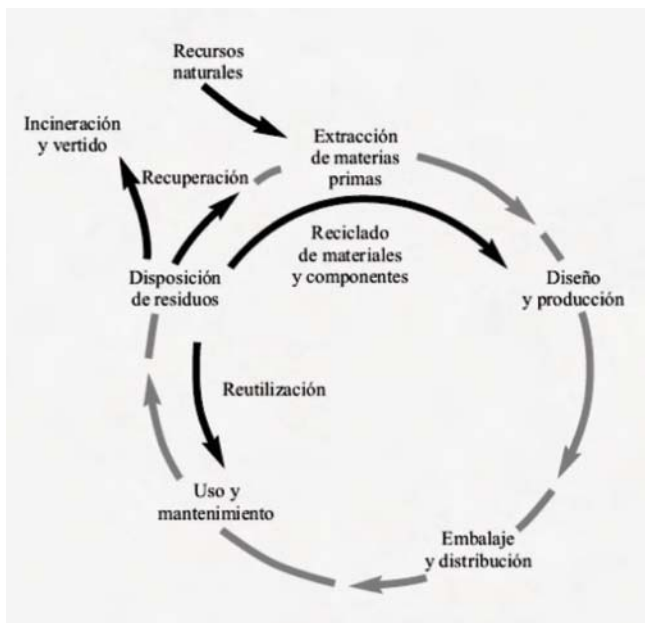
2 C. Thormark, «A low energy building in a life cycle-its embodied energy, energy need for operation and recycling potential», *Building and Environment*, 2002; 37:429-435.

Y. G. Yohanis y B. Norton, «Life-cycle operational and embodied energy for a generic single-storey office building in the UK», *Energy*, 2002;27: 77-92.

K. Adalberth, A. Almgren y E. Holleris, «Life cycle assessment of four multi-family buildings», *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, 2001;2: 1-21.

B. Peuportier, «Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context», *Energy and Buildings*, 2001;33: 443-450.

I. Sartori y A. G. Hestnes, «Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: a review article», *Energy and Buildings*, 2007;39: 249-257.



Ciclo de vida de un producto

queña 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

Hasta la década de los 90 la metodología del ACV no estuvo

suficientemente desarrollada, siendo su aplicación bastante limitada³. Fue, precisamente, la SETAC⁴ quién en 1993 estableció la primera definición oficial de ACV, según la cual, el ACV es «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*⁵, que sirvió de base para la elaboración de las primeras normas⁶ sobre ACV publicadas entre 1997 y 1998.

En el ámbito nacional, las primeras publicaciones sobre ACV destacaban sus enormes posibilidades⁷ y marcaron de algún modo el comienzo de la difusión y aplicación de la metodología del ACV⁸ en nuestro país. 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*⁹.

3 I. Boustead, «LCA. How it came about. The beginning in the U.K.», *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1996, 1(3): 147-150.

4 Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), *Guidelines for Life Cycle Assessment: A "Code of Practice"*, 1993.

5 Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), *Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment*, 1996.

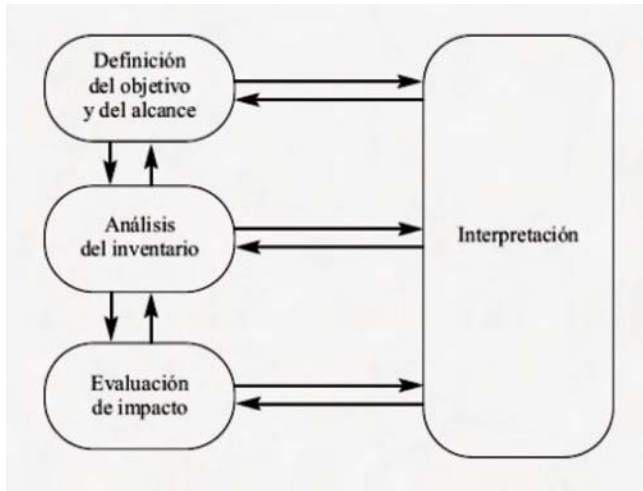
6 UNE-EN ISO 14040:2006. *Gestión Ambiental. Análisis del*

ciclo de vida. Principios y marco de referencia.

7 A. Valero, *On the energy costs of present day society*. ASME. AES, Vol. 35. *Keynote presentation. Thermodynamics and the design, analysis and improvement of energy systems*. Ed. R. J. Krane, ASME, Book nº H01045:1-15. San Francisco, California; y P. Fullana y J. Rieradevall, «Análisis de Ciclo de Vida del Producto – ACV (I)», *Innovación Química*, 1995, 9: 41-44.

8 P. Fullana y R. Puig, *Análisis del Ciclo de Vida. Cuadernos de Medio Ambiente*, Ed. Rubens, 1997.

9 B. P. Weidema, «The Integration of Economic and Social Aspects in Life Cycle Impact Assessment», *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2006, 11 (Special 1): 89-96. W. Klöpffer, «Life cycle sustainability assessment of products», *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2008, 13(2): 89-94. E. S. Andrews, et al., *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*, UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2009, ISBN: 978-92-807-3021-0; y R. Heijungs, G. Huppes y J. B. Guinée, «Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and



Metodología general del ACV

METODOLOGÍA DEL ACV

En la actualidad, la metodología general de ACV está totalmente estandarizada en las normas UNE-EN ISO 14040:2006¹⁰ y UNE-EN ISO 14044:2006¹¹.

En el caso de los edificios, existe un conjunto de estándares metodológicos actualmente en proceso de desarrollo 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 edificios¹². 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:

Fase 1: Definición de objetivos y alcance, donde se establece la finalidad del estudio, los límites del sistema, los datos necesarios y otras hipótesis.

Fase 2: Análisis de inventario, donde se cuantifican todos los flujos de energía y de materiales que entran y salen del sistema durante toda su vida útil.

Fase 3: Evaluación de impactos, donde se realiza una clasificación y evaluación de los resultados del inventario, relacionándolos con efectos ambientales observables a través de un conjunto de categorías de impactos seleccionadas.

Fase 4: 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.

La metodología del ACV tiene un carácter dinámico, y 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 fases¹³.

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 coherentes con la aplicación que se persigue. En la definición del objetivo de un estudio de ACV se debe indicar claramente su aplicación, las razones para desarrollar el estudio, el público al que va dirigido y si los resultados se van a utilizar con fines comparativos. Es evidente que, en el caso de los estudios de ACV en

technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis», *Polymer Degradation and Stability*, 2010, 95(3): 422-428.

10 UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.

11 UNE-EN ISO 14044:2006. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.

12 CEN/TC 350. prEN 15643-1, Sustainability of Construction Works - Assessment of Buildings - Part 1: General Framework. CEN/TC 350. prEN 15643-2,

Sustainability of Construction Works - Assessment of Buildings - Part 2: Framework for the Assessment of Environmental Performance. CEN/TC 350. prEN 15643-3, Sustainability of Construction Works - Assessment of Buildings - Part 3: Framework for the Assessment of social Performance. CEN/TC 350. prEN 15643-4, Sustainability of Construction Works - Assessment of Buildings - Part 4: Framework for the Assessment of economic Performance y CEN/TC 350, 2008. prEN 15804:2008 Sustainability of Construction Works - Environmental product declarations -

Product category rules.

13 A. Aranda, I. Zabalza, A. Martínez, A. Valero y S. Scarpellini, *El análisis de ciclo de vida como herramienta de gestión empresarial*, ISBN: 84-96169-74-X, Fundación Confemetal, Madrid, 2006.

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.

Según la norma ISO, en la definición del alcance del ACV se consideran los siguientes aspectos, entre otros:

1. 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 dos sistemas diferentes, es preciso que desarrollen la misma función. Por ejemplo, no es posible comparar un estudio de ACV de un edificio que contiene viviendas y oficinas con otro destinado solo a viviendas, ya que la función desempeñada por cada uno de ellos es distinta. Del mismo modo, tampoco es posible comparar el impacto de soluciones constructivas a aplicar en edificios ubicados en distintos países, y que, por tanto, se rigen por normativas y climatologías diferentes.
2. 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, que se utiliza a menudo como valor predeterminado¹⁴, ya que, por múltiples motivos, es muy difícil prever la duración real de un edificio. En estudios de ACV comparativos de edificios, debido a las múltiples funciones que puede desempeñar un edificio y

las distintas exigencias normativas existentes en función de su ubicación, se suele utilizar el concepto de «equivalente funcional», definido como la unidad de referencia que cumple con la legislación vigente y con los requisitos de la propiedad y que considera la cantidad analizada (1 m², 1 m³, 1 edificio, etc.), la/s función/es (proporcionar espacio para vivir y/o trabajar, etc.), la calidad de dicha/s función/es (requisitos de confort térmico, calidad de vida, etc.), el patrón de uso (porcentaje de ocupación), su ubicación (condiciones ambientales de radiación, humedad y temperatura, requisitos normativos, etc.) y su duración (50 años, 80 años, etc.).

3. El sistema, que se define como el conjunto de procesos unitarios o subsistemas necesarios que, interconectados material y energéticamente, permiten la presencia del producto estudiado en el mercado.
4. Los límites del sistema, que se definen como los procesos unitarios que serán incluidos dentro del sistema estudiado. 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, el sistema para analizar debe incluir las siguientes cuatro etapas o subsistemas del edificio: producción, construcción, uso y disposición final, tal como se indica en la tabla 1.

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 y en el peso asignado a

¹⁴ Malmqvist, Glaumann, Scarpellini, Zabalza, Aranda, Llera y Díaz, «LCA in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines», *Energy*, 2010 (en prensa).

Etapa de producto	Etapa de procesos de construcción	Etapa de uso	Etapa de fin de vida
A1 Suministro materias primas	A4 Transporte	B1 Uso, producto instalado	C1 Deconstrucción
A2 Transporte	A5 Procesos on site	B2 Mantenimiento	C2 Transporte
A3 Manufactura		B3 Reparación	C3 Reciclado / reutilización
		B4 Reemplazo	C4 Disposición final
		B5 Remodelación	
		B6 Consumo energía operacional	
		B6.1 Consumo energía operacional - calefacción	
		B6.2 Consumo energía operacional - refrigeración	
		B6.3 Consumo energía operacional - ventilación	
		B6.4 Consumo energía operacional - agua caliente	
		B6.5 Consumo energía operacional - iluminación	
		B6.6 Consumo energía operacional - automatización y control del edificio	
		B7 Consumo agua operacional	

Etapa	I	II	III					IV	
	Etapa de producto	Etapa de procesos de construcción	Etapa de uso / operación	Etapa de mantenimiento				Etapa de fin de vida	
Módulo	A1 A2 A3	A4 A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1 C2 C3 C4	
	Suministro materias primas Transporte Manufactura	Transporte Procesos on site de construcción	Uso	Mantenimiento (transporte incluido)	Reparación (transporte incluido)	Reemplazo (transporte incluido)	Remodelación (transporte incluido)	Deconstrucción - demolición Transporte Reciclado / reutilización Disposición final	Impactos y aspectos relacionados con los productos
		escenario escenario	escenario	escenario	escenario	escenario	escenario	escenario escenario escenario escenario	
			B6 B7						Impactos y aspectos relacionados con la operación
			Consumo energía operacional Consumo agua operacional						
			escenario						

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

Categoría de impacto	Unidad
Calentamiento global	kg CO ₂ -equivalentes
Destrucción de la capa de ozono estratosférico	kg CFC-11-equivalentes
Acidificación de la tierra y el agua	kg SO ₂ -equivalentes
Eutrofización	kg PO ₄ -equivalentes
Formación de ozono troposférico	kg C ₂ H ₂ -equivalentes
Agotamiento de recursos abióticos	Kg Sb equivalentes

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

cada una de ellas. La tabla 2 muestra la base del mayor consenso científico existente.

Otro aspecto que definir dentro del alcance son los requisitos de calidad de los datos, que deberán precisarse de modo que permitan lograr los objetivos del estudio. Estos requisitos deberían especificar la cobertura temporal (antigüedad de los datos utilizados), la cobertura geográfica (local, regional, nacional, continental, global, etc.), la cobertura tecnológica (mejor tecnología disponible, media ponderada de tecnologías, etc.), la precisión, amplitud y representatividad de los datos, la consistencia y reproducibilidad de los métodos usados en el ACV, y las fuentes bibliográficas de los datos y su representatividad.

Análisis de inventario

El análisis de inventario comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de 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 toda su vida útil para la unidad funcional seleccionada. Los flujos elementales son los flujos energéticos y de materiales que provienen de la naturaleza (como, por ejemplo, el

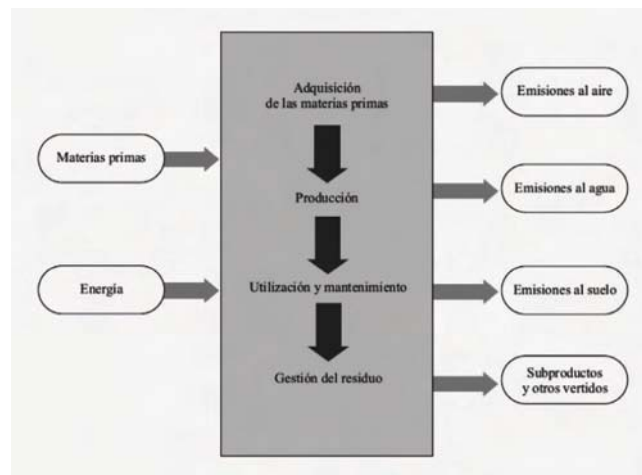


Figura 1. Inventario del ciclo de vida aplicado a un proceso unitario del sistema.

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 figura 1. 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.

Evaluación de impactos

En esta fase se seleccionan un conjunto de indicadores medioambientales, denominados categorías de impacto (como por ejemplo, el calentamiento global potencial, la acidificación de la tierra y el agua, etc.) y se utilizan indicadores numéricos de categoría (como, por ejemplo, los kilos de CO₂ equivalentes según el modelo del IPPC) para agrupar y evaluar los impactos

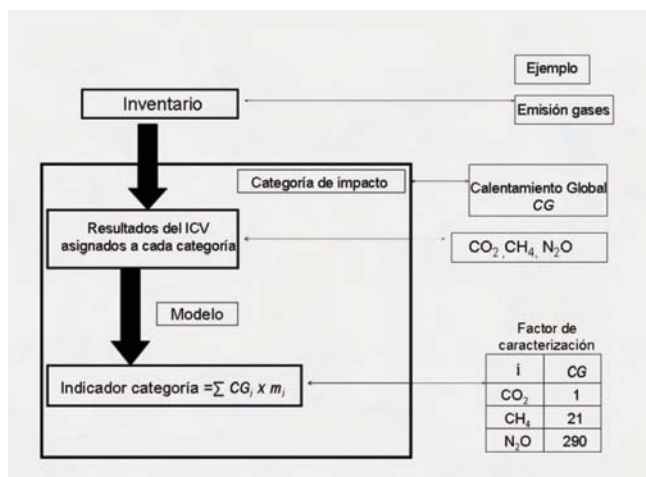


Figura 2. Fases de clasificación y caracterización en la EICV. Categoría de calentamiento global.

del inventario de ciclo de vida.

En la tabla 3 se muestran las principales categorías de impacto según la SETAC. La evaluación de impactos incluye obligatoriamente las siguientes etapas:

1. Clasificación: Asignación de los datos del inventario a las categorías de impacto previamente seleccionadas. Consiste en seleccionar las categorías de impacto a evaluar y asignar los resultados del ICV a estas. Cada método de evaluación considera unas determinadas categorías de impacto. El resultado final es un inventario agrupado y simplificado donde solo aparecerán aquellos flujos energéticos y materiales que afecten a las categorías seleccionadas.
2. Caracterización: Cálculo de los indicadores numéricos de categoría para cada categoría de impacto. Se basa en la conversión de los resultados del ICV a unidades comunes utilizando factores de caracterización, obteniendo como resultado un indicador numérico para cada categoría de impacto. En definitiva, en esta fase se multiplican los resultados del ICV en la fase de clasificación por factores de caracterización de cada sustancia incluida dentro de cada categoría de impacto. El resultado de la caracterización es el perfil ambiental del sistema,

Categorías de impacto relativas a las entradas del ICV		
Categorías	Indicador	Carácter
Uso de recursos abióticos	Varios	Global
Uso de recursos bióticos		Global
Uso del suelo		Local
Categorías de impacto relativas a las salidas del ICV		
Categorías	Indicador	Carácter
Calentamiento global	kg CO ₂	Global
Disminución capa ozono	kg CFC 11	Global
Toxicidad humana	Varios	Varios
Acidificación	kg SO ₂	Continental, regional o local
Eutrofización	kg PO ₄ ³⁻	Continental, regional o local
Ruido	Varios	Local

Tabla 3. Principales categorías de impacto. Fuente: SETAC.

compuesto por el conjunto de indicadores ambientales de las categorías de impacto consideradas. 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:

Calentamiento global (kg CO₂) = Σ iCG_i x m_i; donde

CG_i: Factor de caracterización para el calentamiento global de la sustancia i (kg CO₂/kg).

m_i: Masa emitida de la sustancia i (kg).

El resultado final de la caracterización es un inventario agrupado por categorías de impacto, evaluadas cada una de ellas mediante un indicador numérico (figura 2).

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

1. Normalización: Cálculo de la magnitud de los resultados de los indicadores de categoría con relación a las magnitudes reales o previstas a escala nacional, continental o global para dichos indicadores. Es una etapa opcional de la fase de evalua-

ción de impactos que muestra el grado de contribución de cada categoría de impacto considerada sobre el problema general. De este modo, ayuda a comprender mejor la magnitud relativa de los indicadores numéricos obtenidos en la caracterización. Los factores de normalización constituyen la magnitud real o predicha de la categoría de impacto correspondiente al área geográfica y momento de tiempo.

2. Valoración o ponderación: Cálculo subjetivo de resultados ponderados para cada categoría de impacto y posible agregación de los mismos. La ponderación consiste en multiplicar los factores de ponderación por el resultado de la normalización para cada categoría de impacto y sumarlos posteriormente para poder obtener una puntuación total del sistema analizado. En un estudio de ACV puede resultar aconsejable utilizar factores de ponderación diferentes y realizar un análisis de sensibilidad para evaluar las consecuencias sobre los resultados de la EICV

de los diferentes factores de ponderación empleados. Los factores de valoración son obtenidos con criterios socioeconómicos y no científicos y la suma de todos ellos debe ser la unidad.

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. La siguiente tabla muestra las metodologías más comunes en los estudios de ACV.

Interpretación de resultados

En la 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 cuál de ellos se podría 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 Y APLICACIÓN DEL ACV EN EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN

Los potenciales usuarios del ACV en el sector de la edificación son fabricantes de productos de la construcción, consultores, arquitectos, ingenieros, gestores energéticos de la Administración local y autonómica, planificadores urbanísticos y promoto-

Metodología	Características	Entidad desarrolladora
CML 92	Método de impacto intermedio muy utilizado con una caracterización relativamente simple y diversas opciones de normalización	CML (Holanda)
CML2 baseline 2000	Actualización del método CML 92 con modelos más avanzados	CML (Holanda)
EPS 2000	Método orientado a daños, que considera la monetarización (disposición a pagar) como ponderación	IVL (Suecia)
Ecoindicador 99	Actualización del método Ecoindicador 95. Método orientado a los daños, utiliza indicadores de categoría de impacto final. Incluye 3 versiones que consideran distintas hipótesis	PRé (Holanda)
IMPACT 2002+	Método orientado a los daños con muchas semejanzas al método Ecoindicador 99, pero con los factores de toxicidad completamente recalculados	EPFL (Suiza)
Ecopuntos 97 y 2006	Método de distancia al objetivo, basado en los objetivos de la política suiza. También conocido como método Ecoscarcity o UBP. Existen dos versiones: 1997 y 2006, siendo ésta la última actualización	E2, ESU services (Suiza)
EDIP97 y 2003	Método de caracterización y normalización desarrollado por la DTU. Existen dos versiones: 1997 y 2003, siendo ésta la última actualización	EDIP - DTU (Dinamarca)
RECIPE	Método reciente que integra y actualiza los métodos Ecoindicador 99 y CML 2, incluyendo categorías de impacto intermedio y final	RUN, PRé, CML y RIVM (Holanda)
MEEUP	Metodología de impacto intermedio enfocada al diseño ecológico de productos	VhK (Holanda)

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
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 4. Usuarios de ACV para edificios

res inmobiliarios (tabla 4). 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)¹⁵ 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 vida¹⁶ 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.

El ACV permite realizar una evaluación cuantitativa del impacto de los materiales y productos de la construcción, favoreciendo su ecoetiquetado. El ecoetiquetado de productos es un mecanismo de carácter voluntario que permite diferenciar mediante el uso de un distintivo aquellos productos que han sido fabricados de forma sostenible con un menor impacto sobre el medioambiente. Las ecoetiquetas o etiquetas ecológicas proporcionan al consumidor información sobre las repercusiones medioambientales de los productos y constituyen un método estandarizado para comparar productos. De esta manera, en un producto ecoetiquetado se puede reconocer el cumplimiento de las especificaciones ambientales exigidas por un organismo otorgador. A través de los programas de ecoetiquetado, las empresas que desarrollan productos medioambientalmente sostenibles adquieren una ventaja competitiva usando el sello como un mecanismo para mantener y atraer a más clientes.

15 P. Gluch y H. Baumann, «The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making», *Building and Environment*, 2004, 39(5): 571-580 y D. Langdon, *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, 2007.

16 P. Hernandez y P. Kenny, «From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings

(LC-ZEB)», *Energy and Buildings*, 2010, 42: 815-821.

Sistema/Programa DAP	Administrador	País	Logotipo y página web
BRE	BRE Environmental Profiles Certification	Reino Unido	 http://www.bre.co.uk
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
EPD® system	International EPD Consortium	Internacional	 http://www.environdec.com
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/

Principales DAPs del sector de la edificación a nivel mundial: presenta los principales sistemas o programas de ecoetiquetas tipo III (normalizados según UNE-ISO 14025:2007, ISO 21930:2007 y EN 15804:2010) o *Declaraciones Ambientales de Producto* (DAP) relacionadas con productos del sector de la edificación y la construcción existentes en la actualidad a nivel mundial.

HERRAMIENTA	PÁGINA WEB
ECO-QUANTUM	www.ecoquantum.nl
LEGEP	www.legep.de
EQUER	www.izuba.fr
ATHENA	www.athena5MI.ca
OGIP	www.ogip.ch/
ECO-SOFT	www.ibo.at/de/ecosoft.htm
ENVEST 2.0	envest2.bre.co.uk
BE COST	www.vtt.fi/rte/esitteet/ymparisto/lcahouse.html
BEE5	www.bfrl.nist.gov/oa/software/bees.html
GREENCALC:	www.greencalc.com
ECOEFFECT	www.ecoeffect.se
ECO-QUANTUM	www.ecoquantum.nl
LEGEP	www.legep.de
EQUER	www.izuba.fr

Herramientas específicas de ACV en edificios.

Hay que reseñar que de cara a un análisis de inventario de un edificio, las DAP permiten disponer de información más precisa de sus materiales constructivos que la obtenida a partir de las bases de datos tanto públicas como comerciales existentes, que generalmente contienen valores promedios que, a menudo, no permiten realizar una evaluación precisa. No obstante, hoy por hoy, y debido al carácter voluntario de las DAP, estas solo existen para un reducido número de productos.

PRINCIPALES HERRAMIENTAS QUE PERMITEN APLICAR EL ACV EN EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN

El ACV de un edificio se puede realizar utilizando una aplicación informática de ACV de uso general (como GaBi o SimaPro), en la que 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 mucho

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. Por ello, lo recomendable es utilizar aplicaciones informáticas específicas, con interfaces más adaptados al análisis de edificios, que simplifiquen y agilicen la realización de estudios de ACV facilitando la entrada de datos y la interpretación de los resultados obtenidos e integrando los distintos cálculos requeridos en la misma aplicación¹⁷.

Como parte de las tareas realizadas en el marco del proyecto EnerBuiLCA, enmarcado dentro del Programa de Cooperación Territorial del Espacio Sudoeste Europeo SUDOE–Interreg IV B, y cofinanciado con fondos FEDER de la Unión Europea, se identificaron diferentes herramientas existentes en materia de evaluación de impactos ambientales y económicos de ciclo de vida de edificios.

17 I. Zabalza, A. Aranda y S. Scarpellini, «LCA in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification», *Building and Environment*, 2009, 44: 2510–2520.