



LA METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN: ESTADO DEL ARTE

Autores: R. Carabaño (1), C. Bedoya (1) y D. Ruiz (1)

(1) Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de
Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid. Autor de contacto: rocio.carabano@upm.es

RESUMEN

Ya en la época de la Revolución Industrial, la preocupación por el medio ambiente se hizo evidente al quedar patente las múltiples enfermedades que tenían los trabajadores en aquellas factorías. Tras muchos estudios sobre la evaluación ambiental de productos y procesos, por fin en los años 90 se pone nombre a la metodología que evalúa dichos impactos: Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

En este artículo se presenta la bibliografía más relevante sobre la evaluación del impacto ambiental en el sector de la construcción (edificios y materiales) a través del ACV, afirmando que la aplicación de esta metodología es fundamental para la sostenibilidad del sector.

Asimismo, las empresas deben entender que, con la aplicación del ACV en sus productos, no sólo satisfacen a los consumidores que demandan productos respetuosos con el medio ambiente, sino que también mejoran su productividad y eleva la competitividad en los mercados verdes (ecodiseño).

Palabras clave: Desarrollo sostenible, ACV, impacto ambiental, edificación, materiales de construcción, ecodiseño.

1 INTRODUCCIÓN

La preocupación por una industria con menor impacto ambiental se remonta a la época de la Revolución Industrial, cuando las factorías eran tan destructivas y contaminantes que tenían que ser controladas para no causar enfermedades entre sus trabajadores. Tras la II Guerra Mundial se hace patente que el desarrollo económico conseguido hasta la fecha se había conseguido a base de agotar los recursos naturales, poniendo en compromiso la calidad del medio ambiente [1].

En 1962, con la publicación de la *Primavera Silenciosa* [2] se empieza a considerar la variable ambiental a partir de bases científicas y con la celebración de la primera *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente* (Estocolmo, 1972), se pone de manifiesto el reconocimiento mundial de la gravedad de los problemas ambientales, adoptando un plan de acción para un nuevo enfoque productivo, armonizándose el proceso de industrialización con la preservación del medio en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

En 1983, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece la *Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo* (Comisión Brundtland, CMMAD), realizando diversos estudios, debates y audiencias públicas en los cinco continentes, culminando con la publicación del *Informe Brundtland* (1987). En este documento se emplea por primera vez el concepto de *Desarrollo Sostenible* como aquel « que satisface las necesidades del presente, sin

comprometer la capacidad para que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades » [3].

Desde su definición ha dado lugar a diferentes interpretaciones, coincidiendo todas ellas en lo que se denomina la *Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible*, según la cual las medidas que se tomen en consideración deberán respetar el medio ambiente, ser económicamente viables y socialmente equitativas [4].

Años más tarde, en la *Cumbre de la Tierra* (1992) y en la *Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible* (2002), tomaron como referencia dicha teoría de manera firme, buscando la reducción de los niveles de consumo de energía así como la disminución del impacto ambiental.

Los primeros estudios sobre la consideración del impacto ambiental de un producto, a lo largo de su ciclo de vida, se remontan a los años 60, siendo uno de los más referenciados el estudio desarrollado por el *Midwest Research Institute* para la empresa Coca-Cola en 1969, donde se presentaron los primeros trabajos sobre el perfil ambiental de diferentes tipos de envases.

A principios de los años 70, Meadows [5] y Goldsmith [6] publicaron dos estudios en los que se relacionaba el agotamiento de recursos naturales y energéticos con el rápido crecimiento de la población. Estos trabajos junto a la publicación de otros modelos europeos, se consideraron los predecesores de lo que hoy se reconoce por la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), ya que en ellos comenzaron a tenerse en cuenta factores ambientales y de salud humana [7].

El avance en el desarrollo de esta metodología fue rápido durante los años 70 y 80, debido a que las dos crisis del petróleo incentivaron la investigación hacia procesos de menor consumo de energía y materias, dando lugar a una falta de homogeneización a la hora de interpretar los resultados. Fue entonces cuando el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) junto con la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) organizaron, en 1989, el grupo de trabajo en el que, entre otras cosas, se puso nombre por primera vez a la metodología [8].

Durante la década de los 90 comenzaron a surgir las primeras publicaciones científicas [9] y libros relacionados con el tema [10], considerándose la metodología de ACV con altas expectativas para la evaluación ambiental de productos y procesos, aunque también hubo estudios en los que fue muy criticada [11].

Para normalizar todos los procedimientos y terminología usada sobre los conceptos medio ambientales, la International Organization for Standardization (ISO) publica en 1997 la primera norma referida al ACV [12], revisada en varias ocasiones siendo las últimas normas publicadas la ISO 14040:2006 y la ISO 14044:2006 [13; 14].

En el comienzo ya del siglo XXI, se aprueban otras normativas relacionadas con la evaluación de la sostenibilidad en los edificios y con las Declaraciones Ambientales de Productos (DAP) de construcción [15]. Además, debemos destacar que se ha ampliado el enfoque de ACV en los últimos años, considerándose la parte social y económica, proponiendo un análisis de ciclo de vida atendiendo a las tres dimensiones del Desarrollo Sostenible [16; 17; 18].

2 MÉTODOS

El ACV constituye una metodología importante para la evaluación de la sostenibilidad de la construcción, sin embargo existe aún ciertas lagunas respecto a los indicadores ambientales

elegidos para el estudio e incluso la representación y comprensión de los resultados obtenidos, traduciéndose en una difícil adaptación de la metodología para según qué tipo de estudios [19; 20; 21].

Esta metodología, desarrollada principalmente para el diseño de productos o materiales de bajo impacto ambiental, ha evolucionado y ya se utiliza para la evaluación ambiental de un edificio, marcando un periodo de estudio de vida en 120 años [17].

2.1 Herramientas de evaluación del impacto ambiental en la construcción

En la actualidad, existen diversas aplicaciones de evaluación que permiten llevar a cabo distintos grados de detalle en un estudio de ACV (componentes de construcción o edificios). Debido a la gran cantidad de datos necesarios para un estudio, se recomienda utilizar un programa informático adecuado en función al objetivo marcado en cada estudio.

A nivel de edificio, las aplicaciones utilizan una serie de parámetros que cumplen con ciertos valores establecidos previamente: recursos energéticos (máximo rendimiento y utilización de las energías renovables), materias primas (mínimo consumo), reciclaje y reutilización de recursos, mínima contaminación y utilización de compuestos tóxicos, residuos (mínima producción), agua (mínimo consumo y máximo tratamiento), emisiones atmosféricas (minimización y control), contaminación acústica y suelos (prevención de la contaminación). Las dos aplicaciones más extendidas en el mercado para la evaluación del impacto ambiental en edificación son Leed [22] y Breeam [23].

A nivel de producto, las aplicaciones necesitan, además de los parámetros anteriores, parámetros concretos que vendrán definidos por la metodología de evaluación de impactos. Una diferencia importante entre los diferentes métodos reside en la opción de analizar el efecto último del impacto ambiental (endpoint) o bien considerar los efectos intermedios (midpoint) [21]. Entre todas las aplicaciones destinadas a la certificación ambiental de productos o DAP [24] destacan GaBi [25] y Simapro [26].

Las certificaciones, tanto a nivel de edificio como de producto o material, tienen como objetivo promover la práctica coherente y sensata de la construcción sostenible, proporcionando una referencia para los procesos de diseño de los edificios, destinados a la ocupación humana, así como pautas para la prestación de servicios (proporcionar requisitos de salubridad, eficacia energética, impacto medioambiental, etc.).

3 CASOS DE ESTUDIO

La mayoría de los estudios de ACV realizados hasta el momento atienden, por un lado, a edificios donde se analizan los distintos consumos de energía, agua y emisiones que se producen a lo largo del ciclo de vida del mismo, ya sea para el diseño previo del mismo o enfocado a una posible rehabilitación, y por otro, a materiales o productos de construcción, cuyo fin es la mejora de alguna de las etapas de su ciclo de vida (reducción de impactos ambientales).

3.1 Estudios de ACV en edificación

La mayor parte de estos estudios han centrado siempre su objetivo en la demanda de energía necesaria en el ciclo de vida del edificio, tanto de forma directa (construcción, uso, rehabilitación y demolición) como indirecta (energía incorporada de los materiales) [27; 28; 29; 30; 31; 32]. Sin embargo, no todos los estudios consideran las mismas fases de estudio; en algunos casos se considera las fases de transporte de materiales hasta la obra, la construcción y la demolición y, en otros, se incluye la fase de reciclado de los materiales después de la demolición [33; 34; 35].

Asimismo, también podemos encontrar estudios que evalúan las emisiones de CO₂ resultantes a partir de los combustibles fósiles utilizados en el edificio, pudiendo conocer el grado de influencia del edificio sobre el calentamiento global [36; 37].

3.2 Estudios de ACV en materiales o productos

La mayor parte de los estudios de ACV de materiales y productos de la construcción están enfocados a la evaluación de los impactos ambientales generados en las etapas de ciclo de vida comprendidas de la cuna a la puerta. Esto es debido a que muchos estudios son realizados por las empresas fabricantes para la obtención de las DAP (ecoetiqueta tipo III) [38], o bien para conocer fases significativas del ciclo de vida del producto para la mejora de este (ecodiseño y/o ecoinnovación) [39; 40; 41].

No obstante, debemos indicar que existen estudios en los que sí se tienen en cuenta todas las etapas del ciclo de vida, incluida la etapa de reciclaje, esencial para la reducción de la carga ambiental de los materiales. Además, muchos de ellos son estudios comparativos, lo que hace que sean de gran interés para la comunidad científica, pues abrirá nuevas líneas de investigación sobre el comportamiento medio ambiental en la ecoinnovación de materiales, propiciando el diseño de nuevos sistemas constructivos que ayuden a la sostenibilidad en la edificación [42; 43; 44; 45; 46; 47].

4 CONCLUSIONES

A partir de la bibliografía consultada se observa que existen un gran número de estudios de ACV referidos solo a una parte específica del ciclo de vida del edificio o material, siendo muy pocos los contemplan el ciclo de vida de la cuna a la tumba.

La metodología del ACV debería ser utilizada en la fase de diseño, tanto de un edificio como de un producto o material, para conocer el impacto ambiental que genera el objeto bajo estudio y adoptar, en caso necesario, las medidas oportunas para la reducción de los mismos.

Para una obra nueva, el ACV ayuda a integrar técnicas avanzadas de ecodiseño arquitectónico, obteniendo la máxima eficiencia de los recursos disponibles. Para la rehabilitación en la edificación, ayuda a conocer el impacto asociado a cada etapa, ayudándonos a tomar decisiones en la intervención para que, después de la actuación, se minimice el impacto ambiental global.

En cuanto a productos o materiales, el ACV permite realizar una evaluación cuantitativa del impacto que generan, traduciéndose en información para la empresa que le servirá para conocer qué etapa del ciclo de vida necesita mejoras, ya sea en sus procesos, en la viabilidad económica o en la parte ambiental (marketing). Para ello es fundamental que la evaluación ambiental de los materiales sea estudiada incluyendo la reutilización, la recuperación y / o el potencial de reciclaje (de la cuna a la cuna) [48].

Por último cabe indicar que la mayoría de los casos de estudio se han realizado en Europa y EE.UU., y que apenas existe bibliografía al respecto en países en vías de desarrollo. Por este motivo es necesario que gobiernos y agencias ambientales elaboren Directivas o códigos de construcción y políticas ambientales, para incentivar la sostenibilidad en la construcción a nivel mundial.

5 REFERENCIAS

- [1] R. Carabaño. *Propuesta de Título de Tesis y su Director*. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, ETSAM, Spain, 2011.
- [2] R. Carson. *Primavera Silenciosa*. . Nueva York: Crítica, 1962.
- [3] CMMAD. *Nuestro futuro común. Informe Brundtland*. 1987.
- [4] M. Artaraz. *Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible*. Ecosistemas, 2002.
- [5] D.H. Meadows, D.L. Meadows. *Limits of Growth*. . Washington, DC: Potomac Associates, 1972.
- [6] E. Goldsmith, R. Allen. *A blueprint for survival*. The Economist, 1972.
- [7] L. Barnthouse, J. Fava, K. Humphreys, R. Hunt, L. Laibson, S. Noesen, J. Owens. *Life-cycle Impact assessment: The State of the Art. Report of the Work Group on LCA Impact assessment*. SETAC, 1998.
- [8] SETAC. *Life Cycle Analysis for Packaging Environmental Assessment. Proceedings of the Specialised Workshop*. 1990.
- [9] J. B. Guinée, H. A. Udo de Haes, G. Huppes. *Quantitative life cycle assessment of products*. Journal of Cleaner Production 1 (1993) 3-13.
- [10] H. Wenzel, M. Z. Hauschild, L. Alting. *Wenzel, H., Hauschild, MZ, Alting, L., 1997. Evaluation Ambiental de Productos. Metodología, Herramientas, Técnicas y Estudios de Casos, vol. 1*. Hingham, MA, EE.UU.: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [11] H.A. Udo de Haes. *Aplicaciones de la evaluación del ciclo de vida: las expectativas, las desventajas y perspectivas*. Journal of Cleaner Production 1 (1993) 131-137.
- [12] SETAC. *Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment*. SETAC, 1996.
- [13] UNE-EN ISO 14040. *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. 2006.
- [14] UNE-EN ISO 14044. *Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices*. 2006.
- [15] Reglamento 305/2011. *Reglamento 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo de 9 de marzo de 2011 por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción*. 2011.
- [16] UNE-EN ISO 21930. *Sostenibilidad en la construcción de edificios. Declaración ambiental de productos de construcción*. 2010.
- [17] UNE-EN ISO 15978. *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo*. 2012.
- [18] UNE-EN ISO 15804. *Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categorías de productos básicas para productos de construcción*. 2012.

- [19] M. Goedkoop, R. Spriensma. *The eco-indicator 99. A damage oriented method for life cycle impact assessment*. . Amersfoort, the Netherlands: Pré Consultants B.V., 2000.
- [20] J. Guinée. *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [21] W. Klöpffer. *The Hitch Hiker's Guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application*. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 11 (2006) 142.
- [22] Leadership in Energy & Environmental Design. *LEED*. <http://www.usgbc.org/leed> [consultado el 04/07, 2014].
- [23] Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology. *BREEAM*. <http://www.breeam.es/> [consultado el 04/07, 2014].
- [24] C. Gazulla. *Declaraciones Ambientales de Producto: instrumento para la mejora de productos*. *Ph D Thesis*, Universitat Autònoma de Barcelona. Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, Spain, 2012.
- [25] PE International. *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*. <http://www.breeam.es/> [consultado el 04/07, 2014].
- [26] PRé Consultants. *Software SimaPro 8*. Pré Consultores BV, Amersfoort, Países Bajos. <http://www.pre-sustainability.com/news> .
- [27] P. C. F. Bekker. *A life-cycle approach in building*. *Building and Environment* 17 (1982) 55-61.
- [28] A. H. Buchanan, B. G. Honey. *Implicaciones energéticas y de dióxido de carbono de la construcción de edificios*. *Energy and Buildings* 20 (1994) 205-217.
- [29] L. Reijnders, A. van Roekel. *Comprehensiveness and adequacy of tools for the environmental improvement of buildings*. *Journal of Cleaner Production* 7 (1999) 221-225.
- [30] C. Scheuer, G. A. Keoleian, P. Reppe. *Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications*. *Energy and Buildings* 35 (2003) 1049-1064.
- [31] I. Sartori, A. G. Hestnes. *Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article*. *Energy and Buildings* 39 (2007) 249-257.
- [32] R. Assiego, G. Calleja, J. M. Cejudo, M. Raugei, P. Fullana i Palmer. *A decision-making LCA for energy refurbishment of buildings: Conditions of comfort*. *Energy and Buildings* 70 (2014) 333-342.
- [33] K. Adalberth. *Energy use during the life cycle of buildings: a method*. *Building and Environment* 32 (1997) 317-320.
- [34] K. Adalberth, A. Almgren, E. H. Petersen. *Energy use in four multi-family houses during their life cycle*. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings* 1 (1999).

- [35] C. Thormark. *A low energy building in a life cycle--its embodied energy, energy need for operation and recycling potential*. *Building and Environment* 37 (2002) 429-435.
- [36] M. Suzuki, T. Oka. *Estimación del ciclo de vida del consumo de energía y las emisiones de CO2 de los edificios de oficinas en Japón*. *Energy and Buildings* 28 (1998) 33-41.
- [37] B. Kilkis. *Energy consumption and CO2 emission responsibilities of terminal buildings: A case study for the future Istanbul International Airport*. *Energy and Buildings* 76 (2014) 109-118.
- [38] UNE-EN ISO 14025. *Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos*. 2006.
- [39] S. Capuz, T. Gómez. *Ecodiseño. Ingeniería del Ciclo de Vida para el desarrollo de productos sostenibles*. Valencia: Editorial de la UPV, 2002.
- [40] S. M. Luz, A. Caldeira-Pires, P. M. C. Ferrão. *Environmental benefits of substituting talc by sugarcane bagasse fibers as reinforcement in polypropylene composites: Ecodesign and LCA as strategy for automotive components*. *Resources, Conservation and Recycling* 54 (2010) 1135-1144.
- [41] B. Rivela, I. Cuerda, F. Olivieri, C. Bedoya, J. Neila. *Análisis de Ciclo de Vida para el ecodiseño del sistema Intemper TF de cubierta ecológica aljibe*. *Materiales de la Construcción* 63 (2013) 15-24.
- [42] G. M. Nicoletti, B. Notarnicola, G. Tassielli. *Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles*. *Journal of Cleaner Production* 10 (2002) 283-296.
- [43] A. K. Petersen, B. Solberg. *Los impactos ambientales y económicos de la sustitución entre productos de madera y materiales alternativos: una revisión de los análisis de nivel micro de Noruega y Suecia*. *Forest Policy and Economics* 7 (2005) 249-259.
- [44] L. Gustavsson, R. Sathre. *Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials*. *Building and Environment* 41 (2006) 940-951.
- [45] F. Olivieri, F. J. Neila, C. Bedoya. *Energy saving and environmental benefits of metal box vegetal facades*. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 127 (2009) 325-335.
- [46] G. Benveniste, C. Gazulla, P. Fullana, I. Celades, T. Ros, V. Zaera, B. Godes. *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 (2011) .
- [47] R. Carabaño, C. Bedoya, D. Ruiz. *Análisis de ciclo de vida de una nueva solución arquitectónica que mejora el rendimiento térmico de la envolvente del edificio: Fachada Natural Aljibe*. *Informes de la Construcción*. Manuscrito aceptado [en línea] (2014).
- [48] M. Braungart, W. McDonough. *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, 2005.