

PROPUESTA DE LA METODOLOGIA DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS

Llaverias, N; Ruyet, D

Abstract

Life cycle assessment (LCA) is a technique for assessing the environmental aspects associated with a product or service during its life cycle, i.e. from cradle to grave. This powerful methodology has not been strongly applied to architectural design. It is necessary to consider LCA is a relatively young technique and there is a lack of base studies focused on construction.

The most important results to expect about LCA in the construction field are a numerical translation of sustainability, as an objective measure of the overall environmental load of a construction, and a integration of Energy in the Design process; it allows to get together the work of architecture and engineering disciplines at the same time to produce buildings that impact less to the environment.

LCA provides the more quantitative and scientific basis for all these new concepts. According to this, the Industrial Engineering Department in the IQS Technical Collage in Barcelona has made up an investigation group, specialized in this field; its main aim is develop a useful, powerful and extendable methodology for LCA within the building design.

Keywords: Life cycle assessment (LCA), sustainability, buildings construction, emissions,

Resumen

El uso del análisis del ciclo de vida –en adelante, ACV- es una técnica para evaluar los aspectos ambientales en un producto o servicio durante su ciclo de vida, esto es de la cuna a la tumba. Esta potente metodología no ha sido excesivamente utilizada como herramienta para el diseño arquitectónico. Cabe considerar que la metodología ACV aún está viviendo sus primeros estudios y proyectos, siendo pocos de estudios de base que se focalicen en la construcción.

Las principales ventajas de la ACV en la construcción serían la valoración numérica, es decir de forma objetiva y sin matices, los efectos ambientales de la arquitectura y sus respectivos impactos en el medio del proceso constructivo y la consideración de forma simultánea las fases de construcción y uso del edificio, para conseguir edificios con menor impacto ambiental.

El Departamento de Ingeniería Industrial del IQS de Barcelona ha iniciado una línea de investigación al respecto, contando entre sus proyectos con aplicaciones prácticas y el desarrollo de esta metodología. En este sentido, una de las primeras propuestas de trabajo ha sido desarrollar esta metodología básica como herramienta piloto para la evaluación objetiva de la sostenibilidad de promociones de VPO.

Palabras clave: Análisis de ciclo de vida (ACV), sostenibilidad, edificación , emisiones .

1. Introducción

El uso del análisis del ciclo de vida –en adelante, ACV- como instrumento para el diseño arquitectónico resulta una herramienta especialmente potente en tanto permite valorar objetivamente la sostenibilidad de una propuesta, valorando el impacto ambiental y energético de todos y cada uno de sus elementos constructivos (desde la obtención de las materias primas, su transformación, incorporación al proceso constructivo, vida útil y, finalmente, muerte como residuo).

Desde este punto de vista, presenta dos grandes ventajas:

- Permite valorar numéricamente, es decir de forma objetiva y sin matices los efectos ambientales de la arquitectura y sus respectivos impactos en el medio del proceso constructivo.
- Permite considerar de forma simultánea las fases de construcción y uso del edificio, con lo que la concepción de arquitectura –edificio- y energía –instalaciones- no se separa. Esto favorece la integración de la energía en el proceso obteniéndose edificios con menor impacto medioambiental .

Dentro del departamento de Ingeniería Industrial de la Escola Tècnica Superior de l'IQS de Barcelona se ha iniciado una línea de investigación al respecto, contando entre sus proyectos con aplicaciones prácticas y el desarrollo de esta metodología. En este sentido, una de las primeras propuestas de trabajo ha sido desarrollar esta metodología básica como herramienta piloto para la evaluación objetiva de la sostenibilidad de promociones de VPO. Dada la necesidad facilitar el acceso a la vivienda en los próximos años se deberán construir un número importante de viviendas protegidas ya sean de promoción pública o privada. Es en estas viviendas donde las administraciones pueden impulsar los cambios necesarios en el proceso de diseño para reducir el impacto ambiental.

En cualquier caso, cabe recordar que la metodología ACV aún está viviendo sus primeros estudios y proyectos (en otros ámbitos, como los productos de la industria manufacturera, está mucho más desarrollada) por lo que la mayoría de elementos que la componen se fundamentan en la bibliografía especializada o en buenas prácticas o, incluso, en puras medidas coste-beneficios más relacionadas con la introducción de la cultura de la sostenibilidad dentro del mundo de la construcción que no la ortodoxia técnica dada la falta de estudios de base.

2. Planteamiento metodológico base

Dada la variabilidad posible de las construcciones, serán las condiciones concretas de cada propuesta (singularidad, tamaño, uso, etc.) las que deben determinar la extensión y sensibilidad del trabajo a realizar. Sin embargo, con intención de aumentar el alcance del método se establecen una serie de criterios metodológicos generales que deberían considerarse para plantear el uso de esta metodología como válida en la ponderación de la sostenibilidad de proyectos constructivos

2.1 Metodología de referencia

Desde esta perspectiva, es preciso disponer de unas directrices básicas comunes de aplicación del ACV con respecto a los proyectos constructivos que establezcan un marco común; por tanto, se propone el soporte inicial y la referencia en una metodología más global, transparente, pública y generalmente aceptada y validada.

En este sentido, se propone utilizar como referente aquello expuesto la norma ISO 14040:2006, norma ISO de la serie 14000 en lo referente a los sistemas de gestión medioambiental. Esta norma, ofrece una visión general de la práctica, aplicaciones y

limitaciones de ACV en relación a un amplio rango de usuarios potenciales. Aceptando este punto de partida, la aplicación de lo establecido en la ISO 14040 sobre ACV implica una aproximación sistemática constituida por cuatro fases diferentes:

- **Primera fase o de definición del objetivo y del alcance;** esta fase implicaría la definición y descripción del producto, proceso o servicio a estudiar, estableciendo el contexto dónde se desarrollará la evaluación, identificando los límites y efectos ambientales a revisar dentro del ACV.
- **Segunda fase o de análisis del inventario;** que se traduce en la identificación y cuantificación de la energía, agua y materiales utilizados y las emisiones ambientales (es decir, emisiones atmosféricas, residuos sólidos y aguas residuales) durante todo el ciclo de vida del producto, proceso o servicio analizado.
- **Tercera fase o de evaluación del impacto;** en otras palabras, el estudio de los efectos sobre los seres humanos y los ecosistemas de los consumos de agua, energía y materiales, y sus emisiones identificadas previamente durante el inventario.
- **Cuarta fase o de interpretación:** esto es, la evaluación de los resultados del análisis del inventario y de los impactos ambientales, con intención de seleccionar el producto, proceso o servicio escogido, teniendo en cuenta la incertidumbre y las hipótesis utilizadas para obtener los resultados.

Hace falta recordar que el ACV es una técnica iterativa y, por lo tanto, su aplicación va más allá de dar un resultado; efectivamente su bondad se encuentra como una metodología de mejora del diseño en sí misma. En todo caso, se entiende que la metodología deberá considerar siempre estas cuatro fases de forma directa o indirecta.

2.2 Metodología Adaptada

Pese a la utilidad, solidez y sencillez conceptual de referenciarse en la ISO 14040, el resultado que se precisa de la aplicación del ACV en la edificación, pide una simplificación de la metodología concreta a aplicar.

Dado que el ámbito dónde hace falta considerarla es muy concreto (un edificio o actuación definida, en un entorno físico conocido y delimitado), y que las bases constructivas son también bastante limitadas se podría plantear una simplificación de su aplicación con dos objetivos concretos:

1. Reducir el coste de la aplicación; efectivamente, el hecho de reducir el alcance y aquello que hace falta definir como resultado de la aplicación del ACV a la edificación en un formato más sencillo y directo podría universalizar su uso.
2. Uniformizar los resultados, con intención de proceder a una correcta evaluación de los mismos y, si procede, como herramienta de valoración dentro de los concursos de obra (como mejora del diseño original, como objetivación del diseño, como coste-beneficio, etc.).

Este alcance reducido en ningún caso debería ser incoherente respecto de la propia metodología ACV establecida en las ISO 14040. Por ejemplo, podría adelantar resultados de base (por ejemplo, los capítulos constructivos a considerar) u objetivos (como el ahorro a demostrar una vez aplicada la metodología), pero no permitir una aplicación sui generis de la misma.

2.3 Fondo documental y bases de datos

El cálculo de los flujos energéticos asociados a las fases constructivas se podría basar en el cálculo agregado de los consumos asociados a cada una de ellas, particularizándose los

materiales empleados en función de los datos disponibles del banco de precios y pliegos de elementos genéricos BEDEC PR/PCT® del Institut de Tècniques de la Edificació de Catalunya (ITeC).

El cálculo agregado permite valorar las emisiones asociadas a cada una de las unidades de obra, de forma que permite comparar los diferentes esfuerzos constructivos desde el punto de vista de la comparativa de demanda, energía y emisiones con la traducción común de coste y, especialmente, coste específico en emisiones evitadas tanto en valor absoluto como relativo (esto es por metro cuadrado construido).

Hace falta recordar que el banco BEDEC PR/PCT® de l'ITeC permite procesar información constructiva junto con su equivalente ambiental y económico, este se actualiza de forma periódica, tiene un coste razonable siendo bastante accesible en su uso.

Existen otros programarios informáticos expertos que permiten trabajar de forma compacta el ACV, como por ejemplo el SimaPro® de PRé Consultants , el EIOLCA® - Economic Input-Output LCA at Carnegie Mellon University o, entre otros, el GaBi ®de Pe interantional; sin embargo hay ningún software especialmente diseñado para el estudio ACV en la construcción.

3. Propuesta

Acto seguido se adjuntan una serie de recomendaciones respecto a definir una variante de la metodología ACV en la evaluación de proyectos arquitectónicos:

1. Como objetivo principal, incluir la evaluación del ciclo de vida en todas las propuestas arquitectónicas a visarse a partir de un cierto tamaño crítico (según número de viviendas, presupuesto, etc.) que lo justifique, valorándose como dato la cantidad de CO2 emitido durante el ciclo de vida del edificio.
2. Proponer la base de datos BEDEC PR/PCT® del ITeC como elemento para la evaluación de los impactos ambientales de las diferentes propuestas constructivas.
3. Incluir la evaluación económica específica (€/kg de CO2 ahorrado) o absoluta (€ ahorrados) por la comparativa entre referencia y propuesta mejorada.
4. A partir de los hitos anteriores, la propuesta base pasa por establecer un protocolo o una metodología concreta sobre como aplicar la evaluación de ACV a la edificación, con el desarrollo de una primera fase enfocada a la vivienda de protección oficial, con intención de homogeneizar y facilitar su aplicación en las propuestas arquitectónicas y licitaciones.

3.1 Metodología para aplicar la evaluación de ACV

En este sentido, se definen según la ISO 14040, las cuatro fases que se deberán considerar:

3.1.1 Etapa I. Definición del alcance

A partir de la definición básica del edificio, la propuesta pasaría por:

1. Evaluar únicamente los flujos energéticos (demandas y consumos) y de emisiones ambientales equivalentes (CO2 equivalente).
2. Definir tres fases en el cálculo de flujos del edificio: en primer lugar, el diseño y construcción, en segundo lugar el uso y para finalizar; su retiro o derribo:
 - Diseño y construcción: definición de las soluciones constructivas propuestas, complementándolo con la evaluación de las posibles soluciones adicionales que

presenten mejoras respecto de las convencionales, minimizando efectos, pero sin modificar los sistemas más habituales de construcción.

Recordar que esta fase de evaluación determina la energía contenida en el edificio (en inglés “embodied energy”) pues incluye las materias primas (ya sean renovables o no renovables) desde la fase de extracción hasta la fabricación de materiales y el posterior proceso constructivo, dando como resultado la equivalente energético y ambiental del edificio en el día 0 de su vida útil.

Con intención de dotar de coherencia a la propuesta, las bases del diseño consideradas en la edificación deberían, incluir la definición y justificación de los siguientes elementos:

- Análisis específico del potencial de aprovechamiento de las condiciones naturales del entorno (orientación, insolación, vientos predominantes, topografía y acceso al edificio) pese estar condicionadas por el planeamiento urbanístico que generalmente otorga poco margen de maniobra al respecto.
- Definición de los datos climatológicos concretos (temperaturas medianas horarias, diarias y mensuales; humedad relativa, direcciones de viento predominantes), y en el caso de no disponerse (por ejemplo, en la utilización de las bases de datos provinciales del LIDER) hacer una comparativa de tipo cualitativo con intención de contrastar los resultados.
- Fuentes de energía primaria disponibles en el emplazamiento, tanto fósiles como renovables, y sus equivalentes en emisiones genéricas.
- Infraestructuras energéticas disponibles y valoración del acceso a las mismas como redes eléctricas de media y alta tensión, redes de gas natural o GLP (propano), posibles conexiones a redes de climatización de distrito, conexiones bilaterales físicas con centrales de generación eléctrica o térmica local, etc. entendidas como las obras y actuaciones necesarias para la conexión.
- Definición de las curvas de demanda mensual, semanal y diaria previstas versus potencia demandada para aplicar correctamente los valores de demanda energética (kWh/m²) resultado de la simulación dinámica. Asimismo, se deberán ponderar en función de los posibles perfiles de uso y ocupación considerados, con la adecuada justificación de criterios sociodemográficos, si fuese necesario.
- Uso. Evaluación de la demanda de los recursos energéticos para cobertura de la climatización (refrigeración y calefacción), agua caliente sanitaria, iluminación y electrodomésticos básicos. Esto se hará en función de las características constructivas del edificio, su emplazamiento y las condiciones climáticas existentes. Este análisis se debería contrastar haría en función de, al menos una herramienta de simulación dinámica (tipo TRNSYS® o ENERGY PLUS ®).

El análisis se deberá completar con la definición y justificación de los siguientes elementos.

- Estudio de las potencias punta de demanda de energía para justificar la propuesta tecnológica considerada (calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, renovables) y su disposición (centralización, equipos individuales, acumulación, etc.).
- Propuesta de cobertura de la demanda energética, con la definición de los equipos de producción energética propuestos, indicando las bases del dimensionado, en especial para la energía solar térmica para contribución de agua caliente sanitaria o calefacción, tecnología empleada, clase energética, potencia unitaria y rendimiento previsto.
- Propuesta de iluminación planteada con el uso combinado de técnicas para la iluminación natural y de equipos de bajo consumo, y distinguiendo las características

propuestas para la iluminación según se consideren los dormitorios, cocina, comedor-salón u otros aposentos, indicando expresamente los sistemas propuestos para los espacios comunes.

- Consideración de la domótica y del control y regulación de espacios y equipos como base de la gestión de la demanda energética del edificio.

- Periodicidad y renovación de los aparatos energéticos propuestos: asignándoles una vida útil concreta (electrodomésticos, calderas, etc.)

Todo esto en una pequeña memoria resumen que incluiría ya la justificación de las medidas de eficiencia establecidas y la propuesta tecnológica concreta para incorporación de energías renovables, climatización, calefacción, iluminación y electrodomésticos.

Recordar que esta fase de evaluación es, propiamente, la del consumo de energía del edificio para su funcionamiento; la que establece los flujos energéticos derivados de su ocupación y la que, a priori, pedirá más energía y, por lo tanto, será la de mayores emisiones asociadas.

- Derribo: Evidentemente es la etapa más compleja de evaluar, pues incluye procesos asociados a la retiro total (vertedero) o el reciclado. El esfuerzo de evaluar la retirada o reciclado según unidades constructivas no equivaldría a la cantidad de las emisiones que se pueden evitar con un buen diseño comparado con la fase de uso, por ejemplo. Obviamente, los esfuerzos de reciclaje o reutilización, además de reducir emisiones en el proyecto, debería traducirse en una mejor valoración ambiental al nivel correspondiente (puntuación, etc.).

3.1.2 Etapa II. Análisis del inventario

Además de usar el software BEDEC PR/PCT® del ITeC como banco de datos base para la propuesta, como ya se ha mencionado, es preciso establecer unas bases de diseño coherentes, lo que implica:

- Utilización de software de simulación dinámica por evaluar las mejoras constructivas justificadas en la aplicación de la metodología ACV (estableciendo el resultado de demanda energética en kWh/año y traduciéndose a m²).
- Traducción ambiental (kg CO₂/capítulo/m²) y económica (€/material/m²) de los diferentes capítulos constructivos, con la relación particularizada de las emisiones de los diferentes grupos con emisiones por capítulo superiores a 20 kg/m²). Estos son, a priori, estructura, carpintería, ramo de albañil, cimientos, pavimentos e instalaciones en los ya se concentraría más del 80% de las emisiones asociadas a la etapa del diseño.
- Traducción ambiental (kg CO₂/material/m²) y económica (€/material/m²) de los diferentes materiales considerados en la construcción, con la definición particularizada de las emisiones específicas asociadas a los capítulos anteriores que tuvieran emisiones superiores a los 20 kg CO₂ por m² y más de un 5% de contribución total al edificio. Recordar que, a priori, sólo seis materiales (acero, cemento, aluminio, ladrillo, mortero y cerámico) ya concentrarían más del 73% de las emisiones, de los 19 que tienen más de l'1%.
- Traducción ambiental (kg CO₂/m²) y económica (€/m²) de la instalación y consumo de energía primaria de los sistemas energéticos considerados en función de las curvas de demanda planteadas. Hace falta recordar que el resultado de la simulación dinámica establecerá el valor total de demanda anual (kWh/año) del edificio, pero

que será la tecnología empleada que traduzca este valor demanda de energía primaria (gas natural, propano, etc.) según el formato considerado. Por lo tanto, la traducción de esta demanda en emisiones equivalentes (kg CO₂/año) deberá considerar las emisiones específicas del formato energético o del “mix eléctrico” en el supuesto de que la demanda del edificio se cubra total o parcialmente con electricidad de la red de distribución.

3.1.3 Etapa III. Evaluación del impacto

En función de los resultados obtenidos a la etapa II o de inventario se procederá a evaluar sus emisiones equivalentes identificadas en las sendas fases (diseño, uso y derribo).

En este sentido, y dado que el resultado de aplicación de la Etapa II establece unos valores de demanda de energía específicos (kWh/m²/año) o anuales (kWh/año) o en sus equivalentes de emisiones, hará falta capitalizar todos estos consumos y emisiones durante la vida útil del edificio con el objetivo de traducir numéricamente l'impacto del edificio en el ambiente,

En función de este resultado se podría plantear la revisión y rediseño de la propuesta inicial según las emisiones asociadas a cada alternativa constructiva (diferentes materiales, productos y técnicas con prestaciones similares y menores emisiones asociadas), si fuera el caso.

Desde este punto de vista podría ser interesante establecer la traducción según la ACV del edificio de referencia (es decir el del cumplimiento mínimo de las condiciones establecidas por el Código Técnico de la edificación) para poder establecer claramente la mejora obtenida.

3.1.4 Etapa IV. Interpretación

En función de los resultados obtenidos anteriormente a las Etapas II e III haría falta finalizar la evaluación con una pequeño memoria-resumen del mismo, haciendo mención a la traducción económica del mismo. Efectivamente, determinadas soluciones constructivas pueden derivar en inversiones demasiadas intensivas tanto con respecto a la obra en sí misma como en la relación coste-beneficio de la ganancia ambiental.

Por lo tanto, y además de la valoración general de la solución planteada, en este apartado se hará la comparativa de costes (recordar que a la etapa II, se habrían valorado con el banco de precios BEDEC PR/PCT® del ITeC los diferentes capítulos constructivos, para poder establecer la validez final y completa de la propuesta económica y ambientalmente.

4. Conclusiones

La propuesta de utilización de la metodología de ACV como elemento de concepción y contraste de la edificación de protección oficial resulta ambiciosa. Siendo ciertamente innovadora, pues implica introducir el concepto de ciclo de vida en una actividad tan compleja como la edificación y en particular la promoción de vivienda protegida, resulta una herramienta estructurada para la definición óptima desde el punto de vista energético y ambiental del edificio.

Aun así, la ausencia de tradición y antecedentes en el uso de esta metodología , la reciente normativa energética aplicable a la edificación, la falta de estudios de referencia y base, la dificultad para acceder a software especializado, y el numero reducido de profesionales con experiencia en estas metodologías hacen que se deba plantear esta metodología de forma paulatina, desde ámbitos formativos, profesionales, y con la participación activa de las administraciones publicas con intención de dotar el proceso del soporte adecuado.

Referencias

- [1] Internacional Standards Organization, *“Environmental Management-Life Cycle Assessment. – Principles and Framework”* ISO 14040. 1997
- [2] Internacional Standards Organization, *“Life Cycle Assessment. – Impact Assessment”* ISO 14042. 1998
- [3] Curran, M.A., *“Life cycle Assessment. Principles and practice”*, Scientific Applications International Corporation (SAIC),2006
- [4] Hendrickson, C.T., Lave, L. and Matthews, H.S., *“Environmental Life cycle Assessment. of goods and services”*, Resources for the future. 2006.
- [5] Cuchi,A., Castelló,D.,Díez,G.,Sagrera, A.,and Mañà, F., *“Parámetros de sostenibilidad”*, Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, 2003.
- [6] VV AA, *“A green Vitruvius Principles and practice of sustainable architectural design*, James & James Ltd, 1999.
- [7] Bruntland Gro Harlem, *“Nuestro futuro común “*,Comisión Mundial para el medio ambiente y el desarrollo. PNUMA. Naciones Unidas . Alianza Editorial, 1987.
- [8] Green Building Council U.S., *“Green Building Rating System For Core and Shell Development (LEED-CS)*, 2003
- [9] UNEP-DTIE , *“Evaluation of environmental impacts in Life Cycle Assessment.”*, Meeting report Brussels, 29-30 November 1998, and Brighton, 25-26 May 2000, United Nations Publications. 2003

Correspondencia (Para más información contacte con):

Nuria Llaverias Baqués.
Departamento de Ingeniería Industrial
Escuela Técnica Superior IQS .
C/ Via Augusta 390, 08017 Barcelona (España).
Phone: +34 932 67 20 00
E-mail: nuria.llaverias@iqs.es
URL: <http://www.iqs.es>