



# Environmental impact comparative tool based on life cycle assesment

## Herramienta comparativa de impacto ambiental basada en método de análisis de ciclo de vida

**CLARA JIMÉNEZ GÁMEZ**

Máster en Innovación Tecnológica, Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid. e-mail: [c.jimenezg@alumnos.upm.es](mailto:c.jimenezg@alumnos.upm.es)

- ◊ The tool provides a visual report to assess the environmental impact.
- ◊ It is based on LCA with database composed of EPD.
- ◊ Appropriate to assess building systems.
- ◊ Use of BIM tools in the construction stage is minor.
- ◊ There is a development of limits that this tool is facing.

The Life Cycle Assesment LCA is a method used to quantify the environmental impact of a product or service along their life cycle. The tool offered is based on the LCA and will provide an easier and a visual comparative report to assess the impacts generated by two different facade's construction solutions. The source of the results are feed from a database composed of data from the Environmental Product Declaration which is a mechanism used for environmental communication. The Environmental Product Declaration is the most prestigious and well recognized mechanism due to the objectivity incurred on the data collection process. The tool enables selecting various facade's configurations through the combination of different layers. It was decided not to evaluate the actual environmental impacts with the aim of building a decision making tool where the technician will be able to go in depth for the specific impact of each material and identify and approach the important focal points using the comparative report. The LCA simplified tools represent a compromise for a precise evaluation, but it will be necessary to be realistic and transparent about their limits as stated at the end of the paper.

*Environmental impacts, Sustainability, Life cycle assessment, Building assessment tools, Façade comparative assesment*

- ◊ La herramienta proporciona un informe visual comparativo de impacto ambiental.
- ◊ Está basada en ACV con una base de datos compuesta por DAP.
- ◊ Adecuada para evaluar sistemas constructivos compuestos.
- ◊ Desarrolla los límites a los que se enfrenta esta herramienta.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un método que sirve para cuantificar el impacto ambiental de un producto o servicio durante su ciclo de vida. La herramienta que se presenta pretende, basándose en este método, proporcionar de forma simplificada y visual un informe comparativo de los impactos que generan dos soluciones constructivas de fachadas. Los resultados se nutren de una base de datos formada por datos de Declaraciones Ambientales de Producto, mecanismo de comunicación ambiental que goza actualmente de mayor prestigio debido a la objetividad en el proceso de obtención. La herramienta permite seleccionar distintas configuraciones de fachada mediante la combinación de diferentes capas. Se ha decidido no ponderar los impactos con el fin de la herramienta sea un asistente de decisión, donde el técnico pueda profundizar hasta el impacto específico de cada material para poder identificar los focos graves de impacto y actuar en consecuencia, teniendo siempre como referencia el carácter comparativo del informe. Las herramientas de ACV simplificadas representan un compromiso en la precisión de la evaluación, pero es necesario sean realistas y transparentes respecto a sus límites, que se presentan al final del escrito.

*Impacto mediambiental, Sostenibilidad, Análisis de ciclo de vida, Herramienta de edificación, Análisis comparativo de fachadas.*

### 1. INTRODUCTION

La industria de la construcción es una de las que más recursos naturales emplea, tanto renovables como no renovables. Se estima que el 41% del consumo de energía y el 35% de las emisiones de gases son debidos a las edificaciones, solo en Europa. La UE, comprometida con los

objetivos fijados en el Protocolo de Kioto, debe lograr reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en al menos un 50% para el año 2050 [1].

Es imprescindible que la construcción llegue a ser sostenible. Se ha avanzado en materia de gestión de residuos y conservación de la energía, ya reconocidos en la normativa

española [2, 3, 4], pero es necesario también el uso sostenible de los recursos naturales, contemplado desde la Unión Europea [5, 6].

Para ello ha de plantearse la estrategia a seguir desde la fase diseño. Con el fin de facilitar esa tarea al proyectista se ha desarrollado la herramienta de la que trata este artículo. Basándose en el método de Análisis de Ciclo de Vida y mediante una base datos de Declaraciones Ambientales de Producto se ha elaborado una herramienta que permite la comparación de los impactos ambientales de dos fachadas configuradas por distintos materiales con el fin de identificar los focos de impacto y tomar decisiones en consecuencia.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

### 2.1. VALOR TÉCNICO

Cada vez es más común que el desempeño ambiental de un producto tenga peso en su elección. Es fácil encontrar soluciones que gocen de una imagen ecológica, pero hay que ser conscientes de que esta percepción puede ser fruto del marketing. Se hace evidente la necesidad de herramienta que arroje datos cuantitativos, objetos, transparentes y verificables que ayuden al técnico a descubrir qué soluciones tienen menor impacto.

En su estudio comparativo de herramientas Abelleira [7] concluye que hay herramientas que analizan por un lado materiales concretos y por otros edificios completos, pero no es corriente encontrar una que analice soluciones constructivas compuestas. Este hueco es el que se ha querido cubrir con la configuración de la herramienta.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es un método para evaluar el impacto ambiental de un producto o proceso. Un estudio completo que contempla desde la extracción de la materia prima hasta su eliminación (de la cuna a la tumba) o reutilización (de la cuna a la cuna), considerando todas las etapas que intervienen (Fig.1).

Esto implica identificar y cuantificar la energía, los materiales usados y los desechos liberados al medio ambiente en cada etapa del ciclo de vida de un producto y expresarlos según categorías de impacto. De este modo se evalúa el impacto ambiental generado y se hallan opciones de mejora [8].

En este informe se presenta una herramienta que permite comparar categorías de impacto ambiental de dos configuraciones de fachada seleccionables. Es conocida la aportación sustancial del muro de fachada a las exigencias derivadas del medio ambiente debido a su capacidad de reducir el consumo energético.

Cada configuración estará compuesta por un conjunto de capas combinables entre sí. El estudio mediante el método de ACV se ha basado en Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), cuyos valores de impacto se ponderan para cada sistema según el espesor, y por tanto el peso, contenido en la solución constructiva.

Las Declaraciones Ambientales de Producto (EPD,

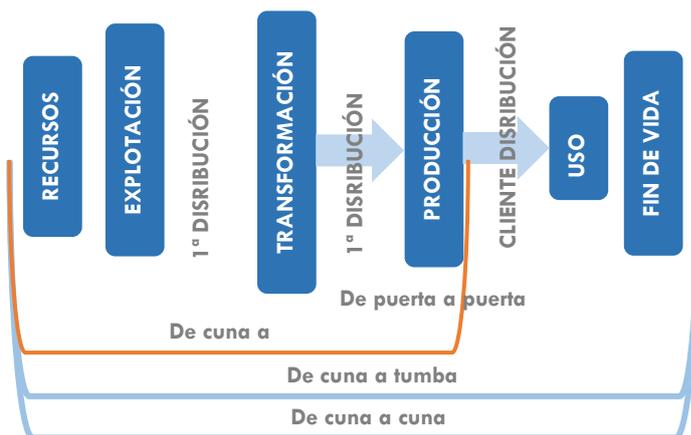


Figura 1: Fases análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono. Elaboración propia basada en Informe lhobe [9]

Environmental Product Declaration) son documentos que ofrecen de forma transparente y verificable por una tercera parte independiente, información relativa al comportamiento ambiental del producto o servicio certificado en base a un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del mismo [9].

Las EPD son una herramienta útil a la hora de elegir los materiales con el fin de disminuir el impacto de un edificio, pero tienen el inconveniente de que muchas de ellas consideran solo el comportamiento durante la extracción de materiales y su fabricación, ya que carecen de datos respecto a su instalación o ejecución en obra, así como de su uso o el plan que se tiene para demoler o deconstruir. Puede ocurrir que un producto tengo un impacto menor que otro durante estas etapas (llamado análisis de la cuna a la puerta) y que a posteriori, estudiando el conjunto de su ciclo de vida el impacto sea mayor.

Se han escogido estas declaraciones porque son el mecanismo de comunicación ambiental que goza actualmente de mayor prestigio debido a la objetividad en el proceso de obtención y por su contenido en información relevante y entendible sobre los productos [10].

Una ventaja clara del ACV es que permite detectar situaciones en las que un determinado sistema parece más limpio que otro simplemente porque transfiere las cargas ambientales a otros procesos o región geográfica, sin una mejora real desde el punto de vista global [11].

Para unificar criterios y por ser el caso más común en las DAP se analiza la etapa de ciclo de vida "de cuna a puerta" (Fig. 1.), que contempla los impactos por extracción del material, su transporte a fábrica y su procesamiento. Esto se debe a la falta de datos sobre el resto del ciclo de vida del material, ya que se desconoce la ubicación y ejecución de la obra, así como su fin de vida. Para realizar un ACV completo es necesario conocer los datos que este programa arroja, para completarlos con los característicos de la intervención que se quiera estudiar. Este método puede ayudar a diversas acciones como la identificación de oportunidades para mejorar el desempeño de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida [12].

## 2.2. VALOR COMERCIAL

Determinadas medidas, como las de mejora del diseño ecológico o las de prevención y reutilización de los residuos, podrían proporcionar un ahorro neto a las empresas de hasta 604 000 millones de euros en toda la UE (el 8% de su facturación anual) y, de paso, reducir las emisiones totales anuales de gases de efecto invernadero entre un 2 y un 4% [13].

En conjunto, la adopción de medidas adicionales para mejorar la productividad de los recursos en un 30% para 2030 podría elevar el PIB casi en un 1%, y se podrían crear más de dos millones de empleos [14] Los ciudadanos europeos están convencidos de que existe una fuerte correlación positiva entre crecimiento, empleos y eficiencia en el uso de los recursos.

El Eurobarómetro Flash 388 [15] revela que existe una mayoría sustancial de personas que piensa que un uso más eficiente de los recursos tendría efectos positivos en la calidad de vida de su país (86%), en el crecimiento económico (80%) y en las oportunidades de empleo (78%). Además, consideran que la reducción y el reciclaje de residuos en el hogar (51%) y en la industria y la construcción (50%) marcarían la mayor diferencia en la eficiencia con la que se utilizan los recursos. Por tanto, a medida que aumenta la concienciación social al respeto, aumenta el valor de un menor impacto ambiental como elemento diferenciador de un producto.

Además la Comisión trabaja en la creación de un marco que facilite la Economía Circular, mediante una combinación de leyes, instrumentos de mercado, investigación e innovación, incentivos, intercambio de información y apoyo a iniciativas voluntarias en áreas clave. Con el fin de acoplar todos estos elementos y vincularlos a la agenda de la eficiencia en el uso de los recursos, la EREP ha pedido a la UE que se marque un objetivo de mejora de la productividad en el uso de recursos superior al 30 % de aquí a 2030.

La UE ya ha dado pasos en esa dirección. En primer lugar, ha creado una jerarquía de los residuos, dando prioridad a su reducción y reciclaje. Por su parte, la política sobre productos químicos busca eliminar progresivamente las sustancias tóxicas peligrosas. Numerosos proyectos relacionados con la Economía Circular se financian con fondos europeos. Las iniciativas de contratación pública ecológica por parte de las administraciones públicas estimulan la demanda de productos y servicios más ecológicos, y propician elecciones similares en el sector privado. Igualmente, la Directiva sobre diseño ecológico de productos que utilizan energía, como electrodomésticos o ventanas con doble acristalamiento, ayuda a las empresas a desarrollar productos innovadores con menor impacto medioambiental.

## 3. OBJETIVOS

El objetivo principal de la herramienta es obtener de la manera más sencilla posible un informe que nos permita observar de forma clara y visual una comparativa de

impactos ambientales entre dos soluciones constructivas que previamente hemos seleccionado.

Existen en la actualidad numerosas herramientas que se basan en ACV. Las más utilizadas son SimaPro y GaBi [16], incluso algunas basadas en hojas de cálculo aplicadas a análisis de fachadas como EEFA [17].

Es importante señalar que el ACV se realiza en función de determinadas categorías de impacto, pero no son las únicas. Además, necesita dotar de preferencia a las categorías cuyo impacto nos resulte más grave para poder concluir qué sistema tiene menos impacto.

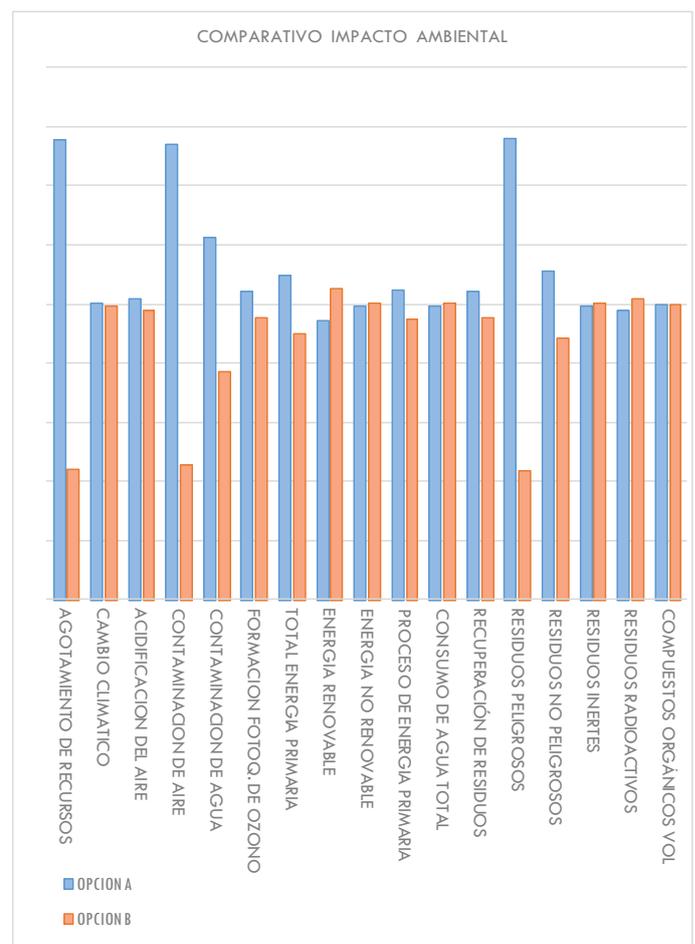


Figura 2: Ejemplo resultado de análisis comparativo

El fin de establecer esa jerarquía es poder obtener un valor normalizado que contenga todos los impactos, mediante una fórmula que multiplique cada impacto por un coeficiente que refleje y pondere su importancia, bien convirtiendo todos a la unidad de medida de uno utilizando un valor adimensional.

No obstante, y con el fin de no tener que utilizar este tipo de fórmula, se le ha dado al programa un carácter comparativo, que nos servirá para decidir siguiendo diferentes criterios.

Se deja a criterio del usuario la cuantificación de la importancia de cada impacto para la toma de decisiones, por considerarse característico de cada proyecto y ubicación.

Además, al haber utilizado DAP, toda la información contenida en el programa es de calidad verificable y libre acceso. El hecho de poder observar gráficamente tanto la comparativa entre sistemas como lo que aporta cada material en cada impacto nos permite localizar los focos de impacto más graves e identificar las mejoras ambientales a aplicar.

Se puede decir que el fin último de esta aplicación es proporcionar al técnico de la forma más sencilla y visual (Fig. 2) todos los datos que necesita para, bajo su conocimiento y criterio, tomar una decisión lo más respetuosa con el medio ambiente.

#### 4. METODOLOGÍA

Una vez definidos los objetivos se sigue con el análisis de inventario (Fig. 3). Para realizar el ACV de diferentes tipos de fachada en primer lugar definimos los materiales que van a componer los niveles seleccionables de la fachada, diferenciándolos en cuatro bloques que a su vez estarán formados por capas. Estos bloques son: capa exterior, capa portante, aislamiento y trasdosado. Se ha configurado de esta manera debido a la función tan distinta que desempeñan cada una de ellas en el comportamiento de la fachada. Se dotó de especial importancia la capa de aislamiento, ya que es la más determinante a la hora de cumplir con el Código Técnico de la Edificación, y con vistas a configurar en un futuro el cálculo del espesor necesario para cumplir en determinada zona geográfica con determinada orientación.

El criterio para la elección de materiales que se ha seguido

ha sido el de disponibilidad de datos, a medida que la base de datos madre aumente, la elección será más amplia y se le podrán aplicar otros criterios.

Los requisitos de calidad fijados nacen de la obligación de obtención de los datos de bases internacionales de datos existentes de materiales que dispongan de DAP.

Existen gran variedad de unidades funcionales (UF) en el estudio de edificios [18]. La elegida en este caso ha sido una UF de 1m<sup>2</sup> relativa a la cual se definirán valores característicos del material (Tabla 1) y de desempeño (Tabla 2). Además, se aportarán datos de numerosas categorías de impacto ambiental, de consumo de recursos e impacto en la salud humana, siguiendo las pautas la metodología CML 2001.

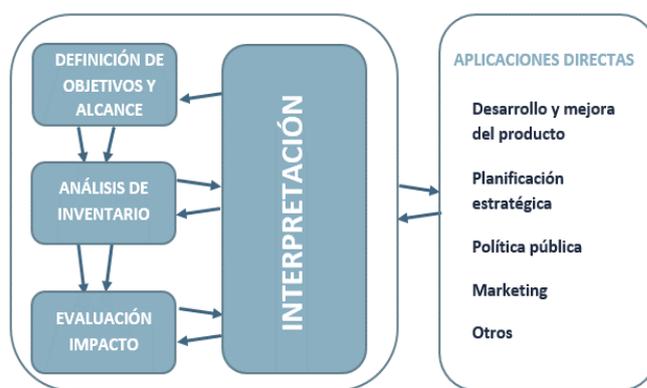


Figura 3: Estructura Metodológica del Análisis de Ciclo de Vida. Elaboración propia. [19]

W/m <sup>2</sup> K	TRANSMITANCIA	Se incorpora la transmitancia con el fin de que, en un futuro sea un valor variable que podamos también seleccionar a la hora de configurar la fachada
Kg	PESO	El peso está directamente relacionado con los impactos de generación de residuos y de transporte, por lo que es necesario conocerlo
cm	ESPESOR TOTAL	
kJ/K	CAPACIDAD CALORÍFICA (EXTERIOR AISLAMIENTO)	
	CAPACIDAD CALORÍFICA (INTERIOR AISLAMIENTO)	

Tabla 1: Parámetros considerados como valores característicos del material

€/año	MANTENIMIENTO	BAJO: si es cada 3 años, consiste solo en limpieza y no necesita operarios MEDIO: no cumple las características de los otros dos. ALTO: cada año por técnicos muy especializados con equipos especializados.
Año	DURABILIDAD	Se ha llegado a un acuerdo para adaptar todos los datos a una durabilidad de 50 años.
Kg/km	RADIO	El radio se expresa en Kg/Km en vez de en Km por la importancia que tiene el peso a la hora de dimensionar el transporte.

Tabla 2: Parámetros considerados como datos de desempeño del material

Las categorías que se considerarán serán las de impacto ambiental [20] y las que repercuten en salud humana. Para ello, y coincidiendo con las categorías que propone, se seguirá la metodología CML 2001.

La metodología de CML, elaborada por el Instituto de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Leiden en los Países Bajos, es la metodología más utilizada y que suele considerarse más completa. Para derivar los factores de impacto utiliza fundamentalmente datos europeos. Las categorías de impacto que se consideran son las siguientes :

◆ Agotamiento de Recursos Abióticos (ADP)

Se consideran recursos abióticos aquellos que rodean a los seres vivos y que junto con ellos conforman el ecosistema; los recursos abióticos son parte de la naturaleza. Incluyen todos los recursos “sin vida” que pueden ser explotados por el hombre entre ellos los recursos energéticos. El potencial de agotamiento abiótico, llamado ADP de sus siglas en inglés, es medido en cantidad de Sb equivalente por cantidad de recurso.

◆ Acidificación (AP)

La acidificación es el resultado de la emisión de contaminantes de carácter ácido, tales como SO<sub>2</sub> o NO<sub>x</sub> a la atmósfera. Estas emisiones producen daños al ecosistema. Algunos ejemplos de estas sustancias son: nitratos, sulfatos, etc. La unidad de caracterización de este impacto es Kg de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) equivalente por Kg de emisión.

◆ Eutrofización (EP)

Esta categoría se refiere al impacto sobre los ecosistemas acuáticos como resultado de la acumulación de nutrientes (materia orgánica y mineral). Este aumento incrementa el crecimiento de plantas que, debido a su respiración, reducen drásticamente los niveles de oxígeno. Los sedimentos provenientes de las aguas residuales domésticas e industriales favorecen la eutrofización. Dado que los principales nutrientes en los medios terrestres y acuáticos son el nitrógeno y el fósforo, el potencial de una sustancia de generar eutrofización se calcula a partir de la cantidad de nitrógeno y/o fósforo que esta sustancia aporta al medio al ser emitida. En el ACV, los efectos se expresan en relación a los fosfatos de forma que el efecto total sobre la eutrofización se expresa en kg equivalentes de PO<sub>4</sub>.

◆ Cambio climático (GWP)

Se refiere a los daños y enfermedades producidos en las personas como consecuencia del cambio climático. Ejemplos de sustancias: CO<sub>2</sub>, cloroformo o butano. La perspectiva temporal utilizada en este método para la categoría de cambio climático es a cien años vista. La unidad que define esta categoría son los Kg de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) equivalentes por Kg de emisión.

◆ Destrucción de la capa de ozono (ODP)

La destrucción de la capa de ozono se refiere a la

reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico debido a la emisión de sustancias químicas que atacan y descomponen las moléculas de ozono. Éstas producen daños en los seres humanos debido al incremento de la exposición a los rayos UV. Algunos ejemplos de estas sustancias son los CFC's. La unidad de cálculo que define esta categoría son los Kg de CFC-11 equivalentes por Kg de emisión.

◆ Formación fotoquímica de ozono (POCP)

Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) bajo la influencia de la radiación solar, reaccionan con los compuestos orgánicos volátiles (COVs), para producir ozono troposférico, este fenómeno tiene lugar principalmente durante los meses de verano. Además la presencia de CO puede igualmente contribuir a la formación de ozono [21]. La presencia de estos compuestos puede ser perjudicial para la salud humana y ecosistemas, pudiendo también ocasionar daño a los cultivos [22]. Las numerosas especies atmosféricas de COVs pueden variar ampliamente en su contribución a la formación de foto-oxidantes. El Potencial de Creación de Ozono Fotoquímico (POCPs) es usado como factor de caracterización para evaluar y agregar los resultados de inventarios para la categoría de impacto de formación de fotooxidantes. El factor de caracterización POCP, es expresado en kg etileno equivalente por kg de sustancia emitida.

◆ Toxicidad Humana

Actualmente muchos procesos industriales emplean sustancias peligrosas o tóxicas para las personas y/o los ecosistemas. La toxicidad de una sustancia dependerá de la propia sustancia, pero también de la vía de administración o exposición, la dosis, forma de administración, durabilidad, etc. Es muy difícil agrupar todos los posibles efectos tóxicos en un solo impacto. Generalmente, se distingue entre toxicidad para las personas (HTP) y toxicidad para los ecosistemas tanto acuáticos (FAETP y MAETP) como terrestres (TETP), ya que las vías de exposición en uno y otro caso son muy diferentes. La perspectiva temporal que se ha analizado para cada una de estas tres categorías de impacto ha sido de 20 años.

La vida útil de un edificio depende directamente de la vida de sus elementos. Estos pueden verse afectados por la obsolescencia funcional ligada a la demanda del mercado, que puede hacer que su reestructuración o demolición llegue antes de lo esperado [23].

La interfaz que permite la configuración de los materiales y las distintas capas de las fachadas se presenta, en esta versión, como en la figura 4.

Una vez seleccionados los materiales de las diferentes capas, la herramienta arroja un desglose de los impactos de cada material, con el fin de poder localizar, aparte de qué opción es más desfavorable, cuál es el foco del problema y poder actuar en él (Fig. 5). Este informe se produce por duplicado para cada una de las opciones.

OPCION A	FACHADA	SOPORTE	AISLAMIENTO*	TRASDOSADO
MATERIAL PPAL	PERFILERIA.METÁLICA	BLOQUE.DE.HORMIGÓN	RIGIDO	RASILLON
	PANEL.SANDWICH.4CM	CELULAR.THERMOPIERRE	EPS	MORTERO_JUNTAS
CARACTERISTICAS	PINTADO SILICONA	BH.CT.62,5X25X36,5	EPS.E93	YESO
			EPS.E:93.T:31x10 <sup>-3</sup>	PINTADO MATE

OPCION B	FACHADA	SOPORTE	AISLAMIENTO*	TRASDOSADO
MATERIAL PPAL	PERFILERIA.METÁLICA	MURO.DE.MAMPOSTERÍA	SEMIRRIGIDO	RASILLON
	PANEL.SANDWICH.10CM	PIEDRA.POMEZ	LANA.DE.VIDRIO	MORTERO_JUNTAS
CARACTERISTICAS		PP.50X20X35	LANA.DE.VIDRIO.E300	YESO
			LANA.DE.VIDRIO.E:300.T:4x10 <sup>-2</sup>	PINTADO MATE

Figura 4: Interfaz de la Herramienta de análisis medioambiental

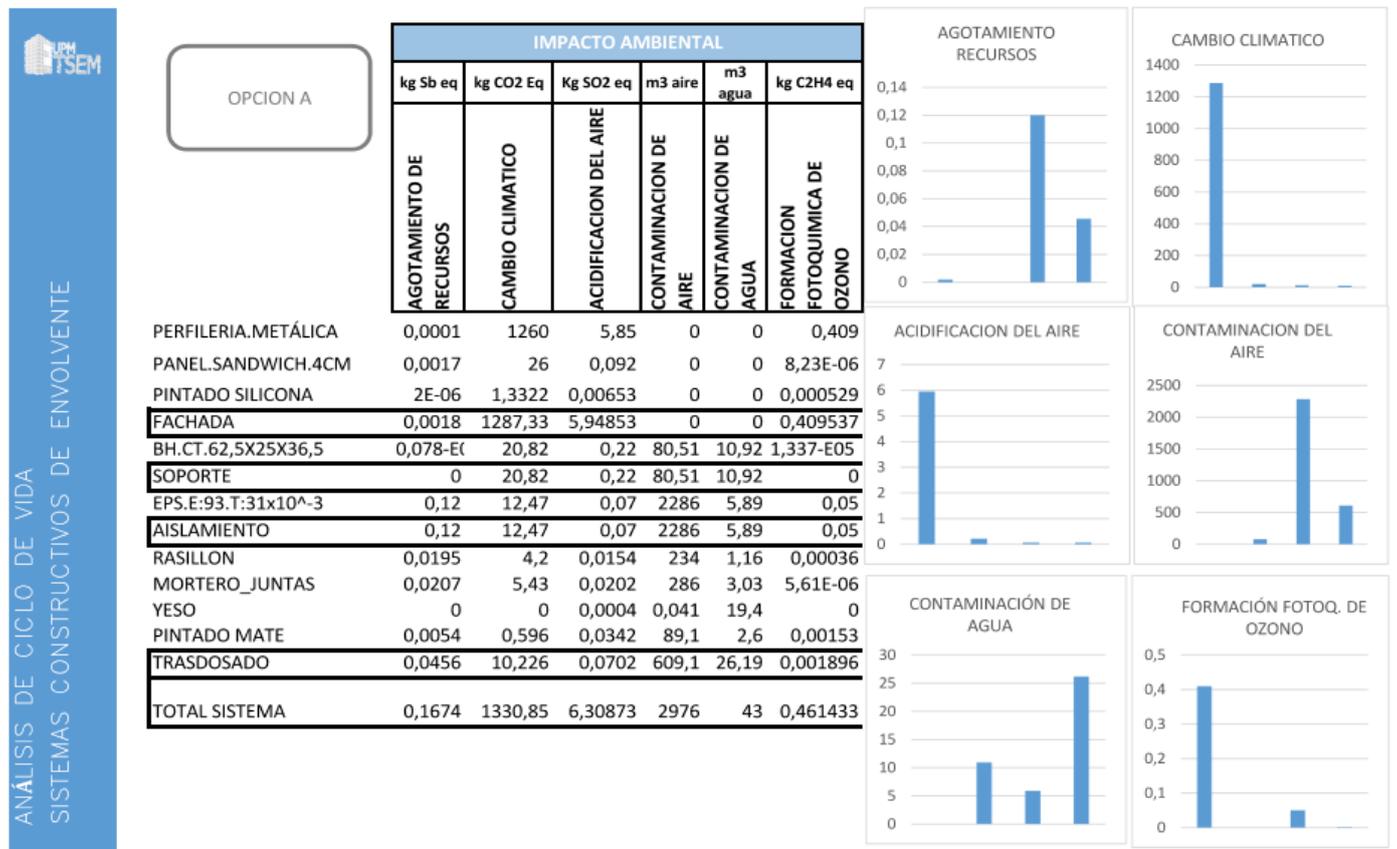


Figura 5: Resultados de la evaluación medioambiental desglosados

Por último, la herramienta genera un comparativo de impacto que, para unificar las unidades y dimensiones tan dispares de los datos, se ha expresado en porcentaje. (Fig. 6). Como se

puede observar en la figura, se obtienen los datos numéricos de la evaluación y se genera un gráfico comparativo que coincide con el mostrado en la figura 2 de este artículo.

			OPCIÓN A	OPCIÓN B
CARACTERÍSTICAS	W/m <sup>2</sup> K	TRANSMITANCIA	10,652	6,992667
	Kg	PESO	368,10782	26,40282
	cm	ESPESOR TOTAL	63,30001	93,00001
	kJ/K	CAPACIDAD CALORÍFICA (EXT AISLAM)	0	0
CAPACIDAD CALORÍFICA (INT AISLAM)		490,03729	490,0373	
DESEM	€/año	MANTENIMIENTO	0	0
	Años	DURABILIDAD	15,625	15,625
	kg/km	RADIO	0	0
	kg Sb eq	AGOTAMIENTO DE RECURSOS	0,1673993	0,047437
IMPACTO AMBIENTAL	kg CO2 Eq	CAMBIO CLIMÁTICO	1330,8482	1315,127
	kg SO2 eq	ACIDIFICACION DEL AIRE	6,30873	6,073164
	m3 aire	CONTAMINACION DE AIRE	2975,6012	885,3552
	m3 agua	CONTAMINACION DE AGUA	43	27,152
	kg C2H4 eq	FORMACION FOTOQ. DE OZONO	0,4614328	0,423432
	MJ	TOTAL ENERGIA PRIMARIA	1655,616	1363,235
	MJ	ENERGIA RENOVABLE	1171,264	1306,713
CONSUMO DE RECURSOS	MJ	ENERGIA NO RENOVABLE	34396,35	34737,03
	MJ	PROCESO DE ENERGIA PRIMARIA	1458,521	1324,58
	L	CONSUMO DE AGUA TOTAL	1884,448	1909,304
	kg	RECUPERACION DE RESIDUOS	0,8224	0,755708
RESIDUOS	kg	RESIDUOS PELIGROSOS	1,159664	0,322564
	kg	RESIDUOS NO PELIGROSOS	46,49605	36,87281
	kg	RESIDUOS INERTES	66,076	67,001
	kg	RESIDUOS RADIOACTIVOS	0,1226115	0,127312
	µg/m <sup>3</sup>	COMPUESTOS ORGANICOS VOL	214	214

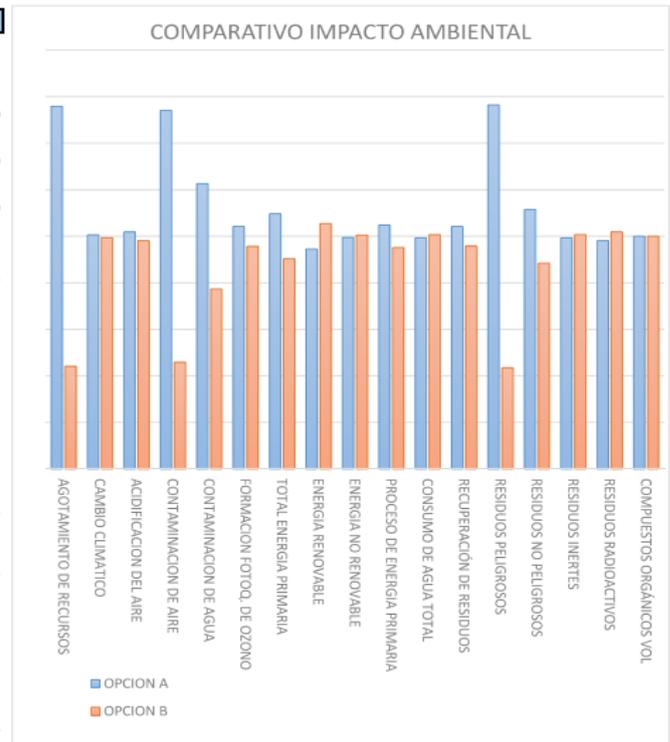


Figura 6: Comparativo final de los resultados de la evaluación medioambiental

#### 4.1. LÍMITES DEL SISTEMA

Si bien las herramientas de ACV simplificadas representan un compromiso en la precisión de la evaluación, es necesario que sean realistas y transparentes respecto a sus límites. De esta manera impulsan la adopción de conceptos, conocimientos e información sobre los impactos del ciclo de vida en entornos de toma de decisiones y procesos de cambio. [24]

A continuación se enumeran los límites con los que se ha enfrentado el análisis con el fin de poder subsanar parte de ellos y tener en cuenta en la interpretación de resultados el resto.

#### 4.2. COMPARACIÓN DE DATOS

Como se ha señalado en los objetivos, el ACV se realiza en función de determinadas categorías de impacto, pero no son las únicas. Además, necesita dotar de preferencia mediante coeficientes a las categorías cuyo impacto nos resulte más grave para poder concluir qué sistema tiene menos impacto. Con estos coeficientes se deberá generar una fórmula que al resolverse de un número que nos permita comparar de forma cuantitativa todos los impactos juntos.

#### 4.3. BASE DE DATOS

Se considera la base de datos tanto incompleta como ampliable. Se han obtenido los datos de la base de INIES [25] la cual pese a ser la más completa que se ha encontrado para el propósito que nos ocupa, no dispone de las

declaraciones que consideramos suficientes para ofrecer una base de datos importante.

#### 4.4. TRANSPORTE

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar una DAP es el transporte, estando presente tanto en su proceso de construcción, como en el de deconstrucción.

En construcción el transporte influye debido a las distancias que hay que recorrer desde el punto de fabricación del material, hasta los puntos de distribución o instalación, no contemplados en la etapa considerada en el estudio. Este proceso produce una parte muy significativa de las emisiones de CO<sub>2</sub> del ciclo de vida. Por ello se ha de valorar la cercanía de la obra a los puntos de fabricación del material, favoreciendo los proveedores locales.

Por no tener información sobre la ubicación de la intervención no se han podido calcular estos impactos.

#### 4.5. PUESTA EN OBRA.

Para completar los datos sobre el impacto de la puesta en obra, deberían recogerse de cada proceso datos como peso, residuos en volumen y peso, embalaje en volumen y peso. Conociendo su presencia y los impactos de cada producto se han de cumplimentar los datos de esta fase.

Debido a que la puesta en obra es un proceso externo los datos introducidos estarán supeditados a los datos que facilite la empresa constructora y no siempre serán 100% acreditables. La reducción del impacto ambiental en la puesta en obra se va a deber a dos aspectos:

- ♦ Control de los recursos: reducción de los contaminantes y minimización y correcta gestión de los residuos en el proceso de puesta en obra. Máximo aprovechamiento de los recursos en la puesta en obra, planificar la reutilización de los recortes.
- ♦ Empleo de maquinaria y productos menos contaminantes: maquinaria de mayor rendimiento, trabajo en zonas muy bien ventiladas, transporte de la zona de los acopios hasta el lugar específico para su aplicación o previsión embalajes que se convierten en residuos.

#### 4.5.1. TRATAMIENTO DE RESIDUOS EN OBRA

Controlar el acopio de los materiales es crucial para evitar su deterioro y contaminación, pasando así a ser residuos antes de finalizar su ciclo de vida.

Lo ideal sería reutilizar materiales y, en caso de no ser posible reciclar residuos, realizando una clasificación correcta para favorecer esta acción. La siguiente opción sería recuperar energía de los residuos, en centrales de incineración, buscando siempre enviar la cantidad mínima de residuos al vertedero.

#### 4.6. MANTENIMIENTO

El mantenimiento incide en el ACV de forma determinante, ya que el hecho de tener que reponer un elemento puede hacer que se produzca deterioros en otros que aún no agotado su vida. Por tanto es necesario tener una estrategia de mantenimiento desde la fase de proyecto.

Por ello, se ha cuantificado en años el ciclo de vida de los materiales para, en caso de ser inferior al del conjunto, multiplicar los impactos por el número de reposiciones necesarias.

Dicha actuación sobre un material supone, por tanto, un incremento cuantitativo en el cálculo de ACV, únicamente del material deteriorado o bien de todo el sistema constructivo en conjunto, dependiendo de la disposición espacial del elemento a tratar.

A modo de ejemplo, el coste que generaría sustituir un acabado interior no sería lo mismo que sustituir un aislamiento térmico, siendo este último de mayor coste, dado que para acceder al mismo es necesario remover todas las capas previas que lo envuelven.

A razón de ello, cuando se trate de un elemento entrepuesto, la vida útil del conjunto será la que presente dicho elemento y se deberá tener en consideración esta variación dato al aplicar la fórmula objeto de este estudio.

Por otro lado, dada a la escasez de información sobre las actuaciones de reparación o conservación, la contaminación

producida por las mismas no se recoge en este trabajo, dejando en cambio un espacio dentro de la propia fórmula para ser rellenado en futuras investigaciones.

#### 4.7. DECONSTRUCCIÓN

En España, a pesar de la impactante producción de RCD (residuos generados en obras de construcción y demolición), la cual se estima en unos 40 millones de toneladas anuales, difícilmente se ha dejado paso a la consideración de la misma, en lo que se refiere a su reutilización como materiales de construcción.

En general, un porcentaje elevado de los residuos generados en obras de demolición son almacenados en vertederos, como los residuos inertes (cerámica y hormigón) (Fig. 7), quedando inevitablemente en desuso por la mala gestión de los mismos, originándose por ello consecuencias negativas para el medio ambiente.

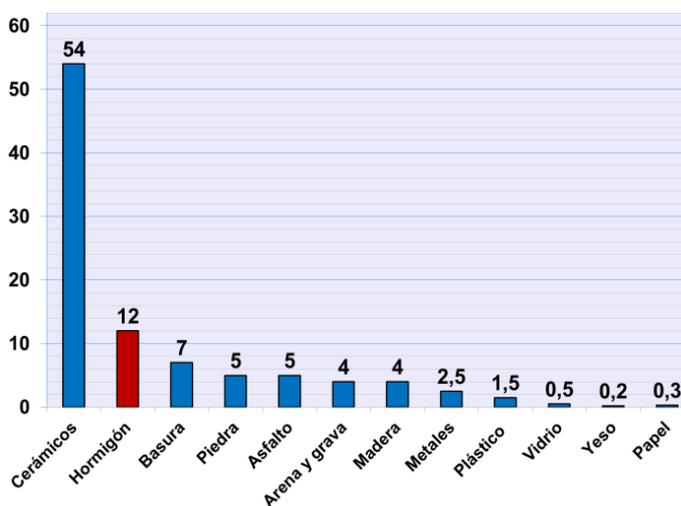


Figura 7: Tipos de residuo producidos en obras de construcción en %

## 5. CONCLUSIONES

Parece evidente la necesidad de desarrollo de este tipo de herramientas comparativas de impacto ambiental para asistir en la toma de decisiones. El hecho de que el ámbito de estudio del ACV sea tan amplio implica también que su aplicación sea compleja de interpretar requiriendo ser un especialista para su análisis. Por ello, se presenta esta herramienta que posibilita la selección de productos de una lista desplegable y genera unos gráficos que muestran los impactos generados y permiten un rápido análisis comparativo.

La unión de estos productos es un sistema constructivo. Del estudio del estado del arte de las herramientas se concluye que la mayor parte de ellas estudia desde un nivel básico de materiales o desde un nivel holístico de edificio. El primero de ellos hace difícil establecer el impacto real que tendrán una vez ejecutados, y el análisis holístico no permite localizar los focos de impacto para actuar sobre ellos.

El análisis de edificios mediante ACV es una de las aplicaciones más complejas del método [26] Es muy importante que las herramientas de ACV simplificadas sean realistas y transparentes con sus límites. En el proceso de diseño de la herramienta, debido a los recursos y plazos, hubo que desestimar opciones que se barajaron y que después se convirtieron en límites del sistema.

Una vez desarrollada esta herramienta se concluyó que sería de interés emplear la misma metodología para aplicarlo a intervenciones de rehabilitación, de tal forma que los residuos asumiesen más protagonismo.

## 6. AGRADECIMIENTOS

En la herramienta tuvieron un papel importante los compañeros del grupo de trabajo del Máster en Innovación Tecnológica en Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid (2015/16), que se encargaron de nutrir la base de datos con la que opera.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Arias Cañete, M. 2016. Porcentaje equivalente a una reducción de las emisiones del 60% con respecto a 2010. *Comisión de Energía y Clima*.
- [2] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- [3] Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.
- [4] Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- [5] COM (2005) 670 Estrategia temática sobre el uso sostenible de los recursos naturales. Comunicación de la Comisión de 21 de diciembre de 2005.
- [6] Huedo, P.; López-Mesa, B. (2013) Revisión de herramientas de asistencia en la selección de soluciones constructivas sostenibles de edificación. *Inform. Construcc.* 65 [529], 77–88. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.11.048>.
- [7] Abelleira Sánchez, 2011. Aplicación del software bees v.4.0 como herramienta de ACV en la construcción. *TFM de la Universitat Politècnica de Catalunya*. p25.
- [8] Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) - Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- [9] IHOBE, 2015. La Declaración Ambiental de Producto. Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial Gobierno Vasco.
- [10] Ros, T., 2012. Desarrollo de una herramienta ágil y eficiente para el análisis y la comunicación ambiental. Congreso Nacional e Medio Ambiente 2012 In Madrid.
- [11] Iglesias, D.H. 2005. Relevamiento exploratorio del Análisis del Ciclo de Vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario. *Contribuciones a la Economía, 2005*
- [12] Cebrían-Tarrasón, D., Garraín, D., París, A., Vidal, R. (2009, 8-10 de julio). ACV libre: La Utilización del ELCD en la Fase de Diseño. *Actas del XIII Congreso de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO)*. Badajoz.
- [13] AMEC (2013) The opportunities to business of improving resource efficiency. *European Commission Report*.
- [14] Cambridge Econometrics, (2014). Modelling the economic and environmental impacts of change in raw material consumption.

- [15] Eurobarómetro Flash 388 (2014) Attitudes of Europeans towards waste management and resource efficiency.
- [16] Herrmann, I.T. & Moltesen, A., 2015. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? - A comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production*, 86, pp.163–169. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.004>.
- [17] Kovacic, I., Waltenbereger, L. & Gourlis, G., 2016. Tool for life cycle analysis of facade-systems for industrial buildings. *Journal of Cleaner Production*, 130, pp.260–272. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.063>.
- [18] Cabeza LF, Rincón L, Vilarinho V, Pérez G, Castell A. (2014) Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renew Sustain Energy Rev* 2014; 29:394–416. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.037>.10.063.
- [19] UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. (ISO 14040:2006).
- [20] Muro Pereg, J.R., 2013. Análisis de Ciclo de Vida de 1kWh Generado por un Parque Eólico Onshore GAMESA G90-2.0MW. *Proyecto ECOWIND*.
- [21] Antón Vallejo, Ma Asunción (2004). Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Projectes d'Enginyeria. *Tesis*. ISBN8468867322
- [22] Guinée, J. Int J LCA (2001) Handbook on life cycle assessment - Operational guide to the ISO standards. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 6, 255-255. DOI: 10.1007/bf02978784
- [23] T. Rist, 2011, A path to BIM-based LCA for whole-buildings [M.S. thesis], Norwegian University of Science and Technology.
- [24] Verghese KL, Horne R, Carre A. PIQET: the design and development of an online 'streamlined' LCA tool for sustainable packaging design decision support. *International Journal of Life Cycle Assessment* 2010; 15(6): 608–620. DOI: 10.1007/s11367-010-0193-2
- [25] Página Web del INIES. <http://www.inies.fr/accueil/>. Consultada por última vez en Abril de 2017.
- [26] Anand, C.K. & Amor, B., 2017. Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, pp.408–416. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.058>.
- [27] Moran del Pozo J, Juan Valdés A, Aguado P, Guerra M, Medina C. 2011. Estado actual de la gestión de residuos de construcción y demolición: limitaciones. *Informes de la Construcción; Vol. 63:p. 89–95*.

## WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at [bm.edificacion@upm.es](mailto:bm.edificacion@upm.es). Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.