

02-018

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF THE RESIDENTIAL BUILDING SECTOR: STATE OF THE ART

Jorge Ortiz, Andrea (1); Bovea Edo, María Dolores (1); Braulio Gonzalo, Marta (1)

(1) Universitat Jaume I

The high environmental impact of residential buildings during their life cycle has aroused a growing and notable concern among the scientific community in recent decades, when evaluating its impact by applying the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. The objective of this work is to carry out the state of the art through the review of the scientific literature published to date on LCA of residential buildings. For this, a set of 30 relevant articles that address this topic have been searched, selected, and reviewed. The review is carried out according to the structure that follows the UNE-EN 15978 standard, this is: definition of the type of building to be studied, geographical region of study, definition of the objective and scope, inventory model, description of the evaluation method of the impact and, finally, the software used, if any. It is concluded that the most studied buildings are those of new construction, in the product and construction stages, and that it is necessary to develop and use specific software for LCA of buildings that allows the integration of specific inventory databases adapted to the casuistry of the building under analysis.

Keywords: residential buildings; life cycle assessment; software LCA; environmental assessment

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL: ESTADO DEL ARTE

El elevado impacto ambiental de los edificios residenciales durante su ciclo de vida ha despertado un creciente y notable interés entre la comunidad científica por evaluar dicho impacto en las últimas décadas, aplicando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El presente trabajo tiene como objetivo realizar el estado del arte a través de la revisión de la literatura científica publicada hasta la fecha sobre evaluación de ACV de la edificación residencial. Para ello, se ha buscado, seleccionado y revisado un conjunto de 30 artículos relevantes que abordan esta temática. La revisión se realiza de acuerdo a la estructura que sigue la norma UNE-EN 15978, esta es: definición del tipo de edificio a estudiar, región geográfica de estudio, definición del objetivo y alcance, modelo de inventario, descripción del método de evaluación del impacto y, finalmente, el software empleado, en su caso. Se concluye que los edificios más comúnmente estudiados son los de nueva construcción, en las etapas de producto y construcción, y que resulta necesario el desarrollo y empleo de software específico para ACV de edificios que permita integrar bases de datos de inventario propias y adaptadas a la casuística del edificio objeto de análisis.

Palabras clave: edificios residenciales; análisis de ciclo de vida; software ACV; evaluación ambiental

Correspondencia: Marta Braulio Gonzalo. Correo: braulio@uji.es



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El sector de la construcción es uno de los que mayor impacto ambiental genera, pues supone un 42% de la energía consumida, un 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), un 50% del uso de los materiales extraídos, un tercio del agua consumida y un tercio de los residuos generados en la Unión Europea (UE) (COM445, 2014). Los edificios residenciales, en particular, suponen el 26,4% de la energía final consumida en la UE y se espera que este porcentaje aumente en los próximos años (Eurostat, 2020). La definición de estándares de evaluación del impacto ambiental que consideren todo el ciclo de vida de los edificios supone un punto clave para facilitar la transición hacia un entorno construido sostenible.

A lo largo del tiempo, se han diseñado diferentes metodologías para evaluar el impacto ambiental. La metodología mayormente reconocida a nivel internacional es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que se aplica a productos del sector de la construcción mediante la norma UNE-EN 15804 (2012) y a edificios mediante la norma UNE-EN 15978 (2012).

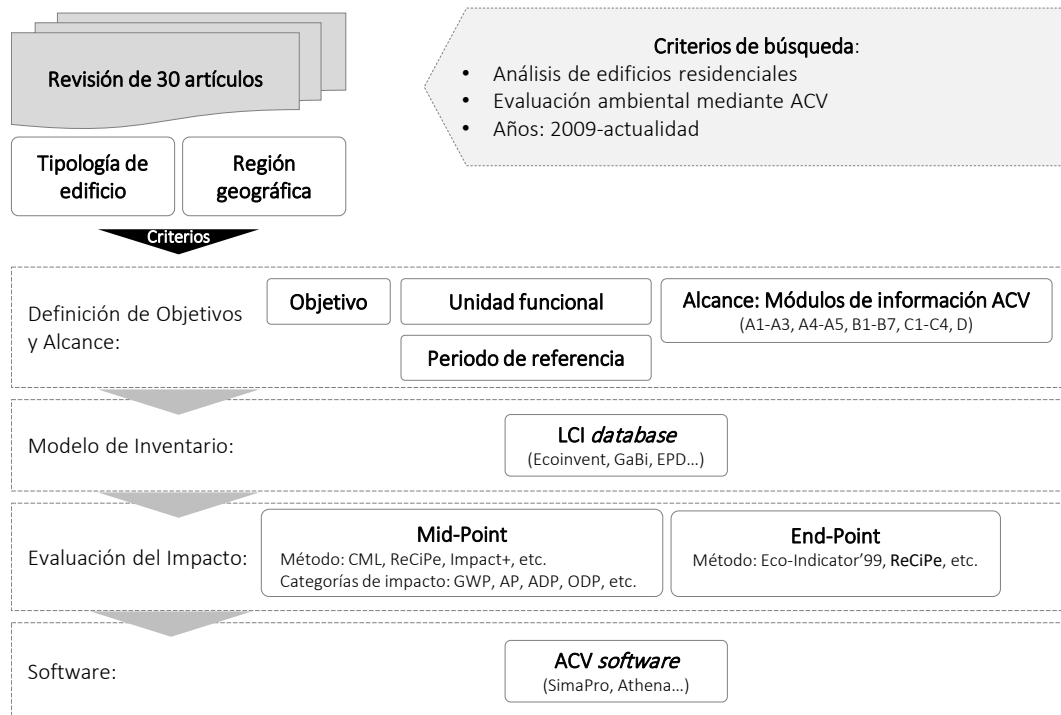
Además, la metodología ACV también sirve como herramienta para la toma de decisiones en las etapas de diseño y construcción del edificio, sobre todo en la selección de aquellos materiales de construcción que tienen un menor impacto ambiental asociado. De acuerdo con Mesa et al. (2021), el interés por la comunidad científica en aplicar esta metodología ha ido en notable aumento en las últimas dos décadas, viéndose reflejado en el gran número de artículos y estudios publicados que la aplican.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el estado del arte de la aplicación de la metodología ACV al sector de la edificación residencial. Para ello, se ha buscado, seleccionado y revisado un conjunto de artículos relevantes que abordan esta temática para conocer el panorama actual y extraer conclusiones. Para cada uno de los artículos identificados, se ha analizado en profundidad los aspectos metodológicos relacionados con el objetivo, alcance y unidad funcional, modelo de inventario, método de evaluación del impacto y, finalmente, el software empleado.

2. Metodología

Para la revisión de la literatura se empleó la metodología mostrada en la Figura 1. En primer lugar, se realizó la búsqueda de artículos con los siguientes criterios de búsqueda: trabajos que analizaran el aspecto ambiental de edificios residenciales mediante la metodología ACV, en diferentes países alrededor del mundo y en un periodo relativamente reciente (desde 2009 hasta la actualidad) en Google Scholar y Scopus. Tras un proceso de depuración para seleccionar aquellos acordes con el objetivo de este estudio, se seleccionaron 30 artículos. Los artículos fueron clasificados de acuerdo con la tipología edificatoria estudiada y la región geográfica en la que aplica el estudio. Cabe indicar que, entre los artículos encontrados, algunos de ellos, además de evaluar edificios residenciales, también evalúan, a su vez, edificios de otros usos.

Figura 1: Metodología de revisión



A continuación, el análisis bibliográfico se realiza de acuerdo a la estructura de la propia norma UNE-EN 15978 (2012), teniendo en cuenta los siguientes niveles de análisis y criterios:

- Definición de los objetivos y el alcance de la evaluación:
 - Objetivo: finalidad por la que se realiza la evaluación del edificio.
 - Unidad funcional: es el medio por el que se racionalizan las características del edificio a una mínima descripción del objeto de la evaluación. Permite la comparación transparente y razonable entre diferentes alternativas en base a los mismos criterios.
 - Periodo de referencia: es el periodo de tiempo para el cual se lleva a cabo la evaluación y, normalmente, va asociado a la unidad funcional.
 - . Alcance: es la definición de los límites del sistema siguiendo el principio de modularidad, definido en la Norma UNE-EN 15804 (2012), por el que los impactos se asignan a cada uno de los módulos de información de ACV incluidos en las diferentes etapas del edificio: Producto (A1-A3): Suministro de materias primas.
 - . Construcción (A4-A5): Transporte y Construcción.
 - . Uso (B1-B7): Uso, Mantenimiento, Reparación, Sustitución, Rehabilitación, Uso de energía y Uso de agua.
 - . Fin de vida (C1-C4): Deconstrucción, Transporte, Reutilización/recuperación/reciclaje, Vertido.
 - . Más allá del ciclo de vida (D): Beneficios y cargas fuera del sistema.
- Modelo de Inventario: es la recogida de datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema incluidos en los límites definidos en el alcance. La fuente de estos datos puede ser:

- Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) de los materiales que componen el edificio, según la Norma UNE-EN 15804 (2012).
- Bases de datos de inventario tales como Ecoinvent (2014), GaBi (Sphera, 2021), etc.
- Evaluación del Impacto: es la etapa en la que los resultados de la etapa de inventario se transforman en indicadores ambientales. Para ello, pueden aplicarse dos tipos de métodos:
 - *Mid-Point*: que permite obtener indicadores para diferentes categorías de impacto tras un proceso de clasificación y caracterización. Los métodos existentes aplicables son, entre otros: CML (Leiden University, 2016), ReCiPe *mid-point* (PRé Sustainability et al., 2016) o Impact+ (Bulle et al., 2019), siendo las categorías de impacto más habituales: calentamiento global, acidificación, eutrofización, oxidación fotoquímica, agotamiento de la capa de ozono, etc.
 - *End-Point*: que permite obtener un único indicador tras un proceso de clasificación, caracterización, normalización y ponderación. Los métodos existentes aplicables son, entre otros Eco-Indicator'99 (PRé Consultants, 2000) o ReCiPe *end-point* (PRé Sustainability et al., 2016).
- Software: la herramienta empleada para el cálculo del impacto ambiental y la obtención de resultados. Los más habituales son SimaPro (PRé Consultants, 2016), GABI (Sphera, 2021), One Click LCA (2021), etc.

3. Resultados y discusión

La selección de la literatura se muestra en la Tabla 1, que incluye los 30 artículos objeto de revisión y la temática principal abordada por cada uno de ellos. En su mayoría, los trabajos abordan el ACV de un edificio en su conjunto y, en general, de nueva construcción. Pero en determinados casos, el objeto de evaluación se trata de un edificio existente en proceso de rehabilitación o renovación, o de un área urbana en conjunto, o, sin embargo, de elementos concretos del edificio, como es el caso de las instalaciones del edificio o los residuos de construcción y demolición (RCD) generados al final de la vida útil.

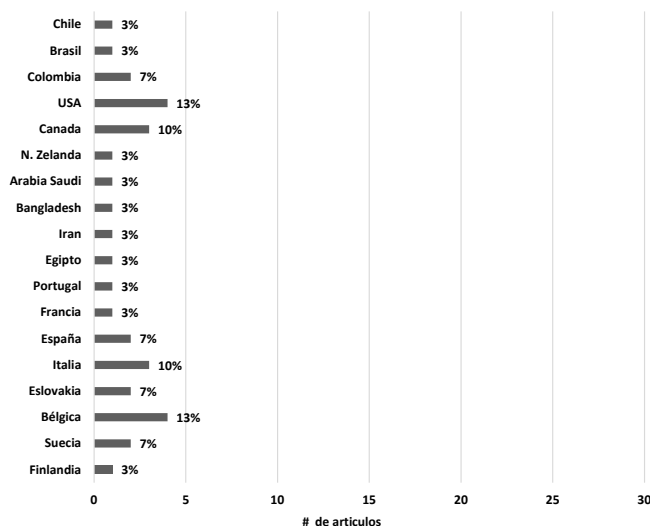
Tabla 1: Literatura seleccionada con relación a ACV en edificios

Temática	Referencia
Edificio nuevo	(Aadaei Khezri et al., 2021; Alam y Ahmad, 2021; Alhazmi et al., 2021; Ali et al., 2015; Asdrubali et al., 2013; Cuéllar-Franca y Azapagic, 2012; Dani et al., 2022; Decorte et al., 2021; Emami et al., 2019; Evangelista et al., 2018; González Velandia et al., 2019; Hu, 2019; Kamali et al., 2019; Lavagna et al., 2018; Martínez y Casas, 2012; Moňoková y Vilčeková, 2019; Nematchoua et al., 2019; Ortiz-Rodríguez et al., 2010; Oyarzo y Peuportier, 2014; Petrovic et al., 2019; Rossi et al., 2012; Teshnizi et al., 2018; Tomková, 2020; Vitale et al., 2017)
Edificio Rehabilitación	(Hasik et al., 2019; Shirazi y Ashuri, 2020)
Análisis de incertidumbre	(Feng et al., 2022)
RCD	(Llatas et al., 2021)
Instalaciones	(Smith et al., 2021)
Entorno urbano	(Saadé et al., 2022)

Tras analizar los 30 artículos seleccionados de acuerdo con la metodología anteriormente

descrita, se obtiene que, por lo general, los artículos analizan prácticamente en la misma medida edificios residenciales tanto de tipología multifamiliar como unifamiliar (Figura 2). Algunos de ellos también incluyen en el estudio otras tipologías de edificios de diferente uso del residencial. Dentro de las tipologías abarcadas predominan las viviendas unifamiliares con un 53%, seguidas de la tipología multifamiliar con 47% y, por último, las tipologías no residenciales con un 10% de representación.

Figura 2: País de objeto de estudio

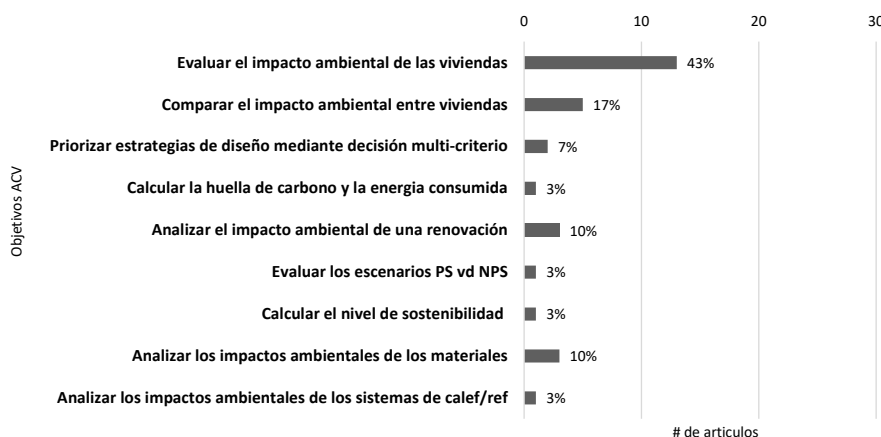


En los siguientes subapartados se muestran los resultados del estudio de la literatura según los cuatro niveles de análisis y criterios descritos en la metodología.

3.1 Definición de objetivos y alcance

En cada uno de los artículos se identifica el objetivo o finalidad por la cual se realiza el estudio. La Figura 3 muestra todos los objetivos identificados, siendo los más recurrentes: evaluar el impacto ambiental de las viviendas, comparar el impacto ambiental entre viviendas, analizar el impacto ambiental de una renovación y priorizar estrategias de diseño mediante decisión multicriterio.

Figura 3: Objetivo del estudio

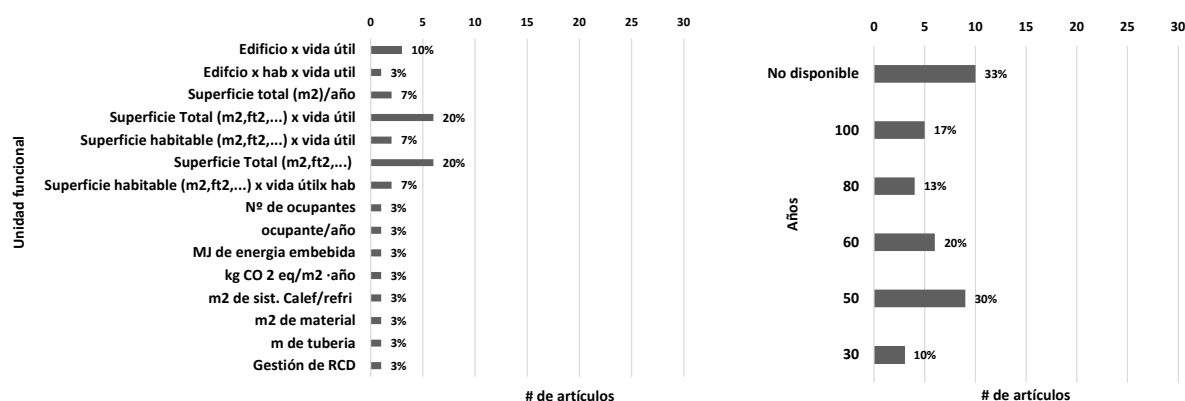


Con respecto a la unidad funcional (Figura 4), se observa que la más empleada es la de superficie total del edificio completo (m², ft²), utilizado por un 20% de los artículos, y la

superficie total durante los años de vida útil, también utilizado por un 20%. El edificio completo referido al periodo de tiempo como su vida útil es la segunda unidad funcional mayormente utilizada (por un 10% de los artículos). En algunos casos, también se emplea como unidad funcional la superficie total por año (7%) o el número de ocupantes (6%). En menor proporción se encuentran las unidades funcionales referidas a elementos o partes concretas del edificio, cuya representación es del 3% de los artículos (m² de material, m de tubería, etc.), o de otros aspectos como la gestión de RCD, la energía embebida (MJ) o las emisiones de dióxido de carbono (kg CO₂eq/m²·año), también con un 3%.

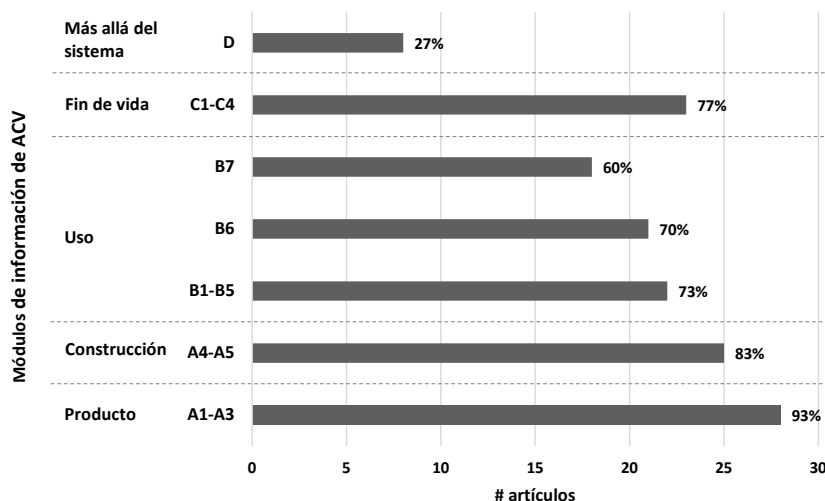
En cuanto al periodo de referencia, la mayoría de los estudios refieren la unidad funcional a un periodo de 50 años (un 30% de los artículos), a 60 años (un 20%) o a 100 años (un 17%).

Figura 4: Unidad funcional y periodo de referencia



Por lo que a las etapas del ciclo de vida se refiere (Figura 5), aquellas más evaluadas son las de producto, que incluyen los módulos de información A1-A3, la de construcción (módulos A4-A5) y la de fin de vida (módulos C1-C4). La etapa de uso también se aborda con frecuencia, especialmente en relación con el consumo de energía (B6) y al de agua (B7). Las etapas B1-B5 se integran en estudios que abordan la evaluación de procesos de renovación o rehabilitación de edificios existentes. La etapa menos abordada es la D.

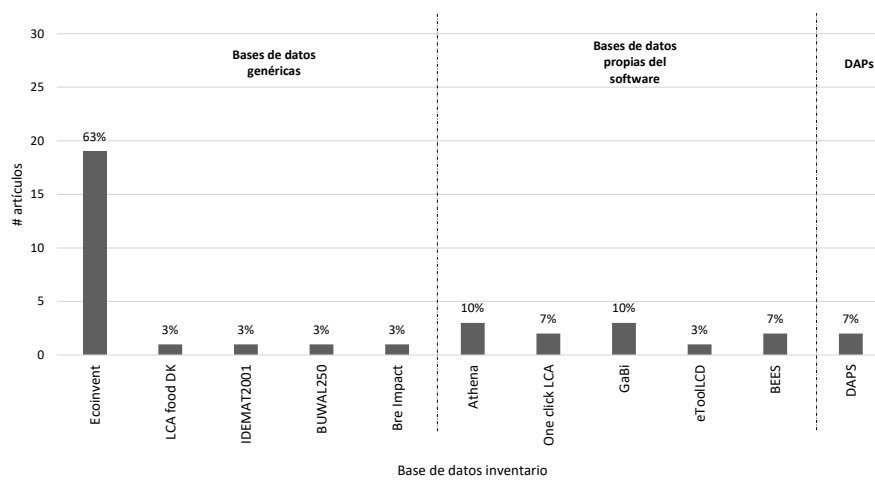
Figura 5: Módulos de información de ACV



3.2 Definición de Inventario

En cuanto a los datos de inventario empleados para realizar el ACV, los estudios toman los datos tanto de bases de inventario genéricas, como por ejemplo, Ecoinvent (2014), LCA food DK (LCAfood-conference, 2007), IDEMAT (Delft University of Technology, 2022), BRE Impact (BRE Global, 2018), BUWAL250 (Swiss Packaging Institute, 2000), como de bases de datos integradas en los propios softwares de cálculo, como es el caso de Athena (Athena Sustainable Materials Institute, 2022), OneClick LCA (One Click LCA, 2021), GaBi (Sphera, 2021), eToolCD (eTool, 2016), BEES (NIST, 2009). Sin embargo, otros estudios emplean los datos de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), que se rigen según la Norma UNE-EN 15804 (2012). Como se observa en la Figura 6, la base de datos más utilizada es Ecoinvent, utilizada por el 63% de los estudios, seguida de Athena (10%), software específico para realizar ACV de edificios, y GaBi (10%), software genérico de ACV. También es de destacar otros software que integran sus propias bases de datos: One Click LCA (7%), BEES (7%) y LCA food DK (7%).

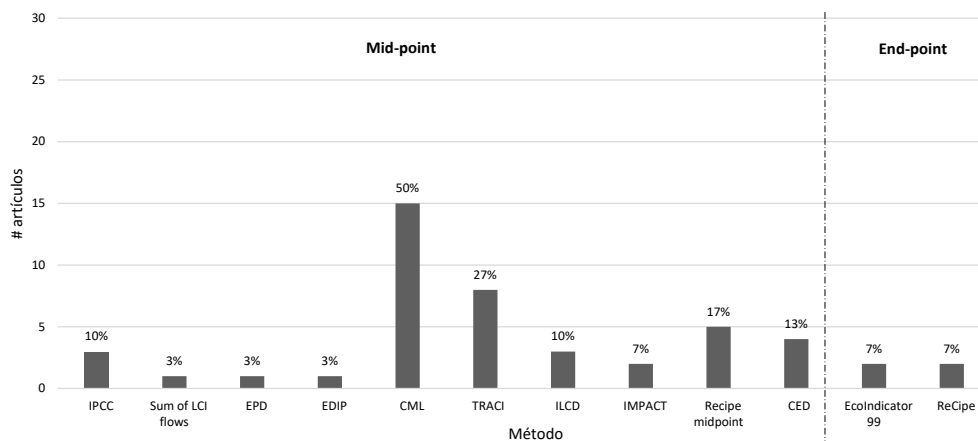
Figura 6: Base de datos de inventario



3.3 Definición del Impacto

De acuerdo con el método de cálculo, como se desprende de la Figura 7, el enfoque *mid-point* es el más empleado. Dentro de este, los métodos más utilizados son CML (por un 50% de los estudios), TRACI (27%), ReCiPe mid-point (17%) e IPCC (10%). Siendo menos elegido el enfoque *end-point*, los métodos empleados son por igual EcoIndicator'99 y ReCiPe, por un 7% de los estudios.

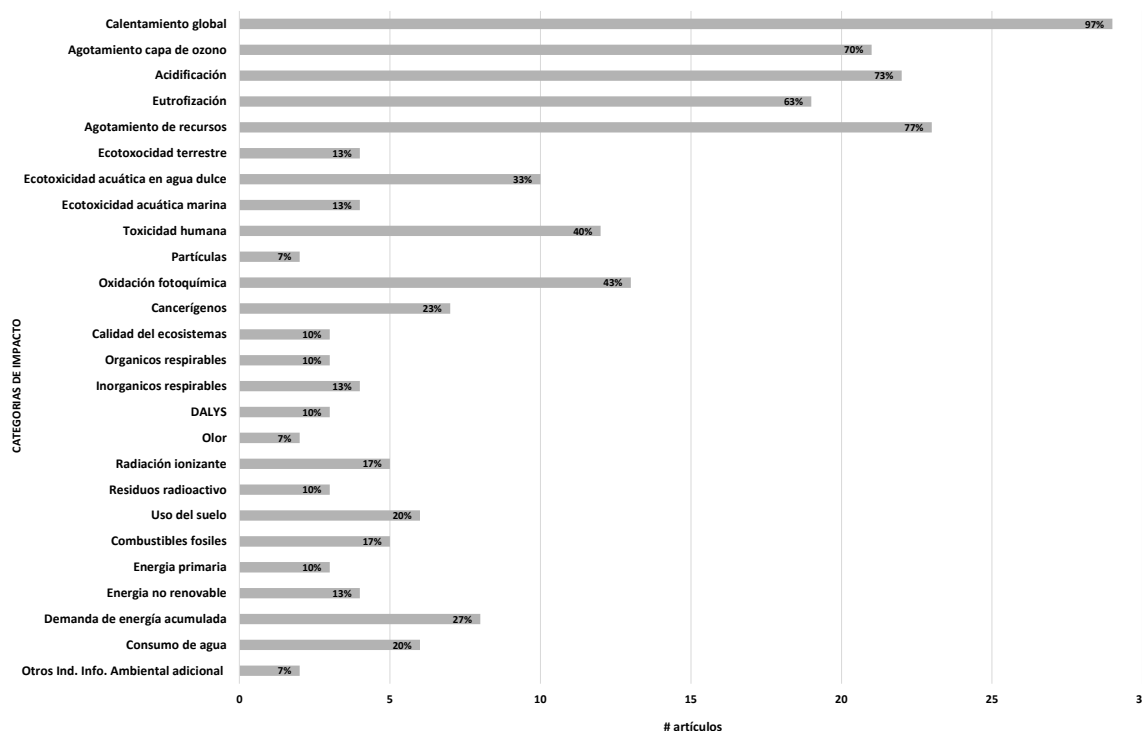
Figura 7: Método de cálculo



En cuanto a las categorías de impacto analizadas en los estudios que aplican métodos *mid-*

point, se puede observar que las más utilizadas son: calentamiento global (97% de los artículos), seguido de agotamiento de recursos (77%), de acidificación (73%), agotamiento de la capa de ozono (70%), eutrofización (63%), oxidación fotoquímica (43%), toxicidad humana (40%), ecotoxicidad acuática en agua dulce (33%) o demanda de energía acumulada (27%). En menor porcentaje (3%), los artículos utilizan otras categorías como residuos generados o reutilización de materiales.

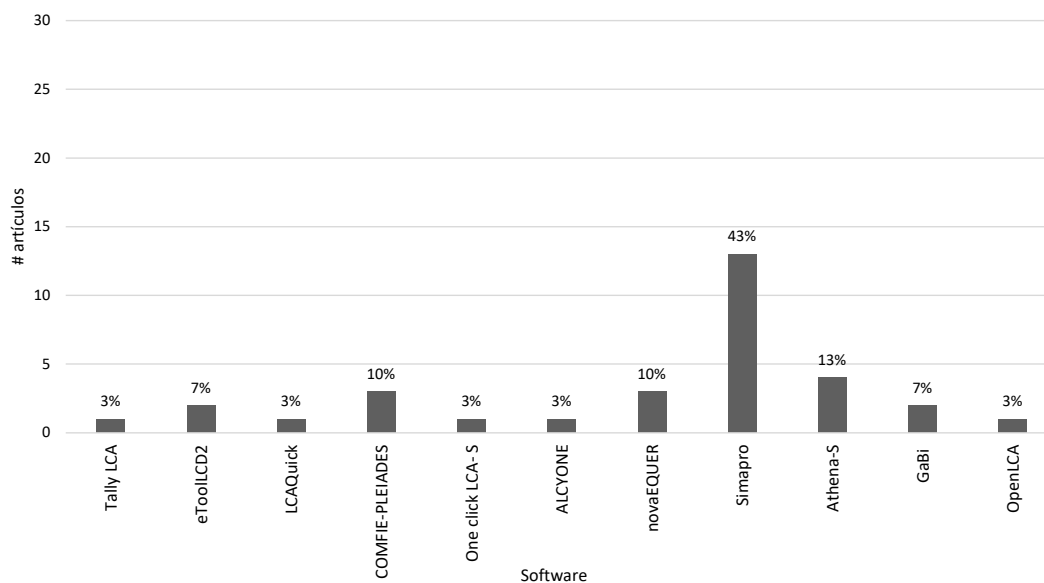
Figura 8: Categorías de impacto



3.4 Software

Finalmente, se ha identificado el software empleado en cada uno de los artículos para realizar el ACV. Como se desprende de la Figura 9, que muestra la cantidad de artículos que han empleado cada uno de los software descritos, el más utilizado es SimaPro (Prè Consultants, 2016), que es un software genérico para realizar ACV, pues lo utilizan en el 43% de los estudios. Le sigue Athena (Athena Sustainable Materials Institute, 2022), que es específico de edificios, utilizado por el 13% de los estudios. En menor proporción son utilizados GaBi (Sphera, 2021), One Click LCA (One Click LCA, 2021), eTool (eTool, 2016), Tally (KTINNOVATIONS, 2014) y OpenLCA (GreenDelta, 2021), los cuales también son específicos para ACV de edificios, pero solamente representan el 3%.

Figura 9: Utilización del software en la literatura



4. Conclusiones

De la revisión de la literatura sobre estudios de ACV aplicados a la evaluación ambiental de edificios, se concluye que los edificios mayormente analizados son los residenciales del continente europeo y que tienen como fin último la evaluación de edificios de nueva construcción. Dentro del alcance, las etapas del ciclo de vida más analizadas son las de producto y construcción, seguidas por la de fin de vida. La unidad funcional más empleada resulta ser la superficie total del edificio considerando su periodo de vida útil que, por lo general, suele ser considerado de 50 años.

Por otro lado, a pesar de que los artículos abordan el ACV específicamente en edificios, cabe destacar que tanto las bases de datos de inventario como los softwares empleados no suelen ser específicos de edificios, pues la mayoría de autores emplean tanto bases de datos como software de carácter genérico, que podrían emplearse para realizar ACV de otro tipo de productos o sistemas. Ello denota que todavía queda camino que recorrer en lo que a desarrollo y uso de software y bases de datos específicas de edificios, se refiere, que se adapten a las condiciones específicas de cada región. Así, Ecoinvent y SimaPro resultan ser la base de datos de inventario y el software, respectivamente, más utilizados.

Del análisis en detalle del software existente se observa que, si bien es cierto que cada vez existen mayor número dedicados específicamente a edificios, todavía su uso está poco extendido y presentan rigidez, pues muchos de ellos integran bases de datos propias de la región de estudio y no admiten la incorporación de datos propios o característicos. Como aspecto positivo, la mayoría del software emplea el métodos *mid-point* de evaluación del impacto, siguiendo las recomendaciones de la norma UNE-EN 15978 (2012).

Referencias

Adaei Khezri, M., Kamalan, H., Khezri, M.A., Kamalan, H., 2021. Life Cycle Assessment of Residential Buildings Construction (Case Study: Tehran). Environ. Energy Econ. Res. 5, 1–12.
<https://doi.org/10.22097/eeer.2020.235365.1159>

- Alam, S., Ahmad, S.I., 2021. Analysis Of Life Cycle Environmental Impact For Residential Building In Bangladesh . *Int. Conf. Planning, Archit. Civ. Eng.* 1–6.
- Alhazmi, H., Alduwais, A.K., Tabbakh, T., Aljamlani, S., Alkahlan, B., Kurdi, A., 2021. Environmental performance of residential buildings: A life cycle assessment study in Saudi Arabia. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su13063542>
- Ali, A.A.M.M., Negm, A.M., Bady, M.F., Ibrahim, M.G.E., 2015. Environmental Life Cycle Assessment of a Residential Building in Egypt: A Case Study. *Procedia Technol.* 19, 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.050>
- Asdrubali, F., Baldassarri, C., Fthenakis, V., 2013. Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings. *Energy Build.* 64, 73–89. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.04.018>
- Athena Sustainable Materials Institute, 2022. Athena Software. Disponible en: <http://www.athenasmi.org/our-software-data/lca-databases/>
- BRE Global, 2018. Impact Database. Disponible en: <https://www.bregroup.com/products/impact/the-impact-database/>
- Bulle, C., Margni, M., Patouillard, L., Boulay, A.M., Bourgault, G., De Bruille, V., Cao, V., Hauschild, M., Henderson, A., Humbert, S., Kashef-Haghighi, S., Kounina, A., Laurent, A., Levasseur, A., Liard, G., Rosenbaum, R.K., Roy, P.O., Shaked, S., Fantke, P., Jolliet, O., 2019. IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. *Int. J. Life Cycle Assess.* 24, 1653–1674. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>
- COM445, 2014. Comunicación de la Comisión al parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las regiones oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción. Bruselas.
- Cuéllar-Franca, R.M., Azapagic, A., 2012. Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses. *Build. Environ.* 54, 86–99. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.005>
- Dani, A.A., Roy, K., Masood, R., Fang, Z., Lim, J.B.P., 2022. A Comparative Study on the Life Cycle Assessment of New Zealand Residential Buildings. *Buildings* 12, 1–16. <https://doi.org/10.3390/buildings12010050>
- Decorte, Y., Steeman, M., Van Den Bossche, N., 2021. Effect of a one-dimensional approach in LCA on the environmental life cycle impact of buildings: Multi-family case study in Flanders. *Build. Environ.* 206, 108381. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108381>
- Delft University of Technology, 2022. IDEMAT Database. Disponible en: <http://idematapp.com/blog/>
- Ecoinvent, 2014. Ecoinvent Database. Disponible en: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/>
- Emami, N., Heinonen, J., Marteinsson, B., Säynäjoki, A., Junnonen, J.M., Laine, J., Junnila, S., 2019. A life cycle assessment of two residential buildings using two different LCA database-software combinations: Recognizing uniformities and inconsistencies. *Buildings* 9, 1–20. <https://doi.org/10.3390/buildings9010020>

- eTool, 2016. Life Cycle Assessment. Internantional Residential Benchmark.
- Eurostat, 2020. Energy consumption and use by households.
- Evangelista, P.P.A., Kiperstok, A., Torres, E.A., Gonçalves, J.P., 2018. Environmental performance analysis of residential buildings in Brazil using life cycle assessment (LCA). *Constr. Build. Mater.* 169, 748–761. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.045>
- Feng, H., Zhao, J., Zhang, H., Zhu, S., Li, D., Thurairajah, N., 2022. Uncertainties in whole-building life cycle assessment: A systematic review. *J. Build. Eng.* 50, 104191. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104191>
- González Velandia, K.D., Pérez, L.F., Galeano, E., 2019. Análisis del ciclo de vida de un edificio residencial en Colombia. *Inventum* 14, 3–14. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.14.27.2019.3-14>
- GreenDelta, 2021. LCIA Methods & Databases. Disponible en: <https://www.openlca.org/lcia-methods-databases/>
- Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., Bilec, M.M., 2019. Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. *Build. Environ.* 161, 106218. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106218>
- Hu, M., 2019. Building impact assessment—A combined life cycle assessment and multi-criteria decision analysis framework. *Resour. Conserv. Recycl.* 150, 104410. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104410>
- Kamali, M., Hewage, K., Sadiq, R., 2019. Conventional versus modular construction methods: A comparative cradle-to-gate LCA for residential buildings. *Energy Build.* 204. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109479>
- KTINNOVATIONS, 2014. Tally- Autodesk. Disponible en: <https://choosetally.com/>
- Lavagna, M., Baldassarri, C., Campioli, A., Giorgi, S., Dalla Valle, A., Castellani, V., Sala, S., 2018. Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock. *Build. Environ.* 145, 260–275. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.008>
- LCAfood-conference, 2007. LCA Food Database. Disponible en: <http://www.lcafood.dk/>
- Leiden University, 2016. CML-IA Method. Disponible en: <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>
- Llatas, C., Bizcocho, N., Soust-Verdaguer, B., Montes, M. V., Quiñones, R., 2021. An LCA-based model for assessing prevention versus non-prevention of construction waste in buildings. *Waste Manag.* 126, 608–622. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.047>
- Martínez, A.G., Casas, J.N., 2012. Life Cicle Assesments of Three Dwellings in Andalusia (Spain): the Significance of the Regional Context / Trijų Gyvenamųjų Būstų Andalūzijoje (Ispanija) Gyvavimo Ciklo Vertinimas: Reikšmė Regiono Kontekste. *Moksl. - Liet. ateitis* 4, 106–112. <https://doi.org/10.3846/mla.2012.22>

- Mesa, J.A., Fúquene, C.E., Maury-Ramírez, A., 2021. Life cycle assessment on construction and demolition waste: A systematic literature review. *Sustain.* 13. <https://doi.org/10.3390/su13147676>
- Moňoková, A., Vilčeková, S., 2019. Environmental impact analysis of five family houses in Eastern Slovakia through a life cycle assessment. *Sel. Sci. Pap. - J. Civ. Eng.* 14, 81–92. <https://doi.org/10.1515/sspjce-2019-0009>
- Nematchoua, M.K., Teller, J., Reiter, S., 2019. Statistical life cycle assessment of residential buildings in a temperate climate of northern part of Europe. *J. Clean. Prod.* 229, 621–631. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.370>
- NIST, 2009. BEES Software. Disponible en: <https://www.nist.gov/services-resources/software/bees>
- One Click LCA, 2021. One Click LCA® life cycle assessment for buildings.
- Ortiz-Rodríguez, O., Castells, F., Sonnemann, G., 2010. Life cycle assessment of two dwellings: One in Spain, a developed country, and one in Colombia, a country under development. *Sci. Total Environ.* 408, 2435–2443. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.02.021>
- Oyarzo, J., Peuportier, B., 2014. Life cycle assessment model applied to housing in Chile. *J. Clean. Prod.* 69, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.090>
- Petrovic, B., Myhren, J.A., Zhang, X., Wallhagen, M., Eriksson, O., 2019. Life cycle assessment of a wooden single-family house in Sweden. *Appl. Energy* 251, 113253. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.056>
- Pré Consultants, 2000. *Eco-Indicator 99 Manual for Designers: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessments.* The Netherlands.
- Pré Consultants, 2016. *SimaPro Database 8.3.2.*
- PRé Sustainability, Leiden University, RIVM, Radboud University Nijmegen, 2016. *ReCiPe.* Disponible en: <https://pre-sustainability.com/articles/recipe/>
- Rossi, B., Marique, A.F., Glaumann, M., Reiter, S., 2012. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. *Build. Environ.* 51, 395–401. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.017>
- Saadé, M., Erradhouani, B., Pawlak, S., Appendino, F., Peuportier, B., Roux, C., 2022. Combining circular and LCA indicators for the early design of urban projects. *Int. J. Life Cycle Assess.* 27, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-02007-8>
- Shirazi, A., Ashuri, B., 2020. Embodied Life Cycle Assessment (LCA) comparison of residential building retrofit measures in Atlanta. *Build. Environ.* 171, 106644. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106644>
- Smith, M., Bevacqua, A., Tembe, S., Lal, P., 2021. Life cycle analysis (LCA) of residential ground source heat pump systems: A comparative analysis of energy efficiency in New Jersey. *Sustain. Energy Technol. Assessments* 47, 101364. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101364>
- Sphera, 2021. GaBi Solutions. Disponible en: <https://gabi.sphera.com/international/databases/>

Swiss Packaging Institute, 2000. BUWAL 250 Database. Disponible en:
<https://ghgprotocol.org/Third-Party-Databases/BUWAL>

Teshnizi, Z., Pilon, A., Storey, S., Lopez, D., Froese, T.M., 2018. Lessons Learned from Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing of Two Residential Towers at the University of British Columbia. *Procedia CIRP* 69, 172–177.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.121>

Tomková, Z., 2020. LCA analysis of Slovak residential building. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 867. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/867/1/012043>

UNE-EN 15804, 2012. Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción. AENOR. CTN 198 Comité Técnico de Normalización, España.

UNE-EN 15978, 2012. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo. AENOR. CTN-198 Comité Técnico de Normalización, España.

Vitale, P., Arena, N., Di Gregorio, F., Arena, U., 2017. Life cycle assessment of the end-of-life phase of a residential building. *Waste Manag.* 60, 311–321.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.002>

Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible

