

02-010

**BUILDING SUSTAINABILITY ASSESSMENT INDICATORS AND THEIR RELATIONSHIP WITH  
THE LIFE CYCLE INFORMATION MODULES.**

Jorge-Ortiz, Andrea <sup>(1)</sup>; Braulio-Gonzalo, Marta <sup>(1)</sup>; Bovea Edo, M<sup>a</sup> Dolores <sup>(1)</sup>  
<sup>(1)</sup> Universitat Jaume I

The standard UNE-EN 15978 proposed a set of information modules for the environmental assessment of the life cycle stages of residential buildings, according to the Life Cycle Analysis (LCA) methodology: A1-A5 evaluate the impact of materials and construction, B1-B7 the use and maintenance, C1-C4 the end-of-life and D the loads beyond the system. On the other hand, several tools are being developed for assessing the sustainability of buildings (LEED, Verde, BREEAM, Level(s), etc.). In this context, the aim of this study is to analyse the relationship between both methodological frameworks, by reviewing the indicators included in these sustainability tools and their classification into LCA modules, with the purpose of identifying which modules are being considered with greater emphasis on these tools and which new modules could be incorporated, since there are indicators that cannot be related to the modules currently considered.

Keywords: Residential building; life cycle analysis; sustainability indicator; LCA.

**INDICADORES DE EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE EDIFICIOS Y SU RELACIÓN CON  
LOS MÓDULOS DE INFORMACIÓN DEL CICLO DE VIDA.**

La norma UNE-EN 15978 propone un conjunto de módulos de información para la evaluación ambiental de las diferentes etapas del ciclo de vida de edificios residenciales según la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV): A1-A5 evalúan el impacto de los materiales y la construcción, B1-B7 el de uso y mantenimiento, C1-C4 el de fin de vida y D las cargas más allá del sistema. Por otro lado, existen diversas herramientas orientadas a la evaluación de la sostenibilidad de edificios (LEED, Verde, BREEAM, Level(s), etc.). En este contexto, el objeto de este estudio es analizar la interrelación entre ambos marcos metodológicos, mediante la revisión de los indicadores incluidos en estas herramientas de evaluación de la sostenibilidad de edificios y su clasificación en módulos ACV, de forma que se puedan identificar qué módulos se consideran con mayor énfasis en estas herramientas y qué nuevos módulos podrían incorporarse, al existir indicadores que no pueden relacionarse con los módulos actualmente considerados.

Palabras clave: Edificio residencial; análisis de ciclo de vida; indicador de sostenibilidad

Correspondencia: M<sup>a</sup> Dolores Bovea Edo [bovea@uji.es](mailto:bovea@uji.es) / Marta Braulio Gonzalo [braulio@uji.es](mailto:braulio@uji.es)



## 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.

Las Herramientas de Evaluación de la Sostenibilidad de Edificios (HESE), con este fin, definen esquemas de aplicación voluntaria para evaluar los diferentes impactos asociados a los edificios, fundamentalmente desde el punto de vista ambiental, pero también desde el punto de vista social y económico, aunque en menor medida. En un principio, las HESE fueron concebidas para evaluar edificios de nueva construcción, sin embargo, debido al gran volumen de edificios existentes y al auge de la rehabilitación, muchas de ellas ya tienen esquemas específicos para edificios residenciales existentes, que incorporan indicadores específicos para abordar las intervenciones en edificios en rehabilitación. Las HESE proponen un sistema de indicadores de evaluación que se organizan en diferentes categorías, las cuales atienden a temáticas como energía, residuos, agua, transporte, condiciones de la parcela, etc.

Estas herramientas suelen basar su método de evaluación en la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) según estándares internacionales (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006) y europeos (UNE-EN 15804, 2012; UNE-EN 15978, 2012). La norma UNE-EN 15978 plantea la evaluación del ciclo de vida completo del edificio según el principio de modularidad propuesto por la norma UNE-EN 15804 para los productos de construcción, mediante las Declaraciones Ambientales Producto (DAP). Ambas se organizan en módulos agrupados en las etapas del ciclo de vida: producto, construcción, uso, fin de vida y cargas más allá del sistema. Tal y como apunta la norma, la etapa de uso del edificio se identifica como la que tiene un mayor impacto ambiental asociado.

Hasta la fecha, en la literatura existen trabajos de revisión que analizan los estudios de ACV realizados en edificios. Nwodo y Anumba (2019) detectaron en su trabajo que los mayores desafíos se encuentran en la disponibilidad de datos, la subjetividad de quien realiza la evaluación, la inadecuada definición de las unidades funcionales, la asunción de valores de vida útil, la falta de análisis de incertidumbre y la falta de un procedimiento claro para definir los límites de sistema. Roberts et al. (2020) apuntaron que el ACV es, generalmente, aplicado en etapas tardías del proceso de diseño del edificio, cuando ya es demasiado tarde para poder influir de forma efectiva en la reducción del impacto ambiental. Concluyen también que las sinergias entre ACV y Building Information Modelling (BIM), y ACV y Coste de Ciclo de Vida (CCV) contribuyen a realizar una mejor integración durante el proceso de diseño de los edificios, como también sostienen Röck et al. (2018) en relación a la implementación de BIM. Trigaux et al. (2021), analizan un conjunto de HESE, programas de certificación y otros estudios en función de una serie de aspectos, como son el método de evaluación, la herramienta o programa utilizado, el inventario de ACV, la unidad funcional, valores de impacto ambiental, la aplicación y la forma de comunicación de los resultados de la evaluación.

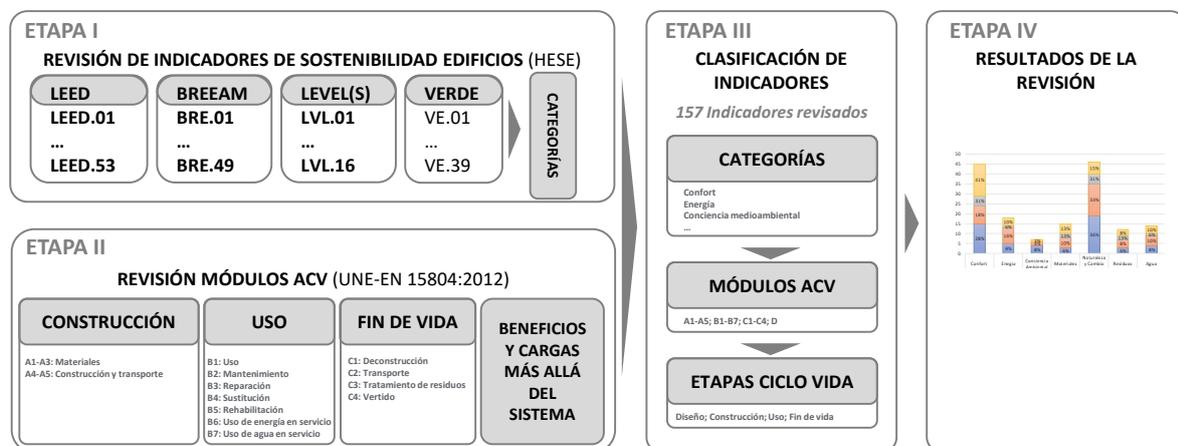
Del análisis de la literatura, se observa que ninguno de los estudios indaga en el alcance que tienen las herramientas de evaluación, ni analiza en qué grado se abordan cada una de las etapas del ciclo de vida del edificio. También se identifica que la definición de los límites del

sistema es confusa, lo que genera incertidumbre a la hora de asociar los indicadores de evaluación a las diferentes etapas del ciclo de vida. En este contexto, este estudio tiene como objetivo analizar la interrelación que existe entre los dos marcos metodológicos de referencia, es decir, las HESE y los módulos de ACV propuestos por la norma UNE-EN 15978. Para ello, se revisan ambos marcos y se clasifican los indicadores incluidos en las herramientas según los módulos ACV para analizar su alcance, de forma que se puedan identificar cuáles de ellos se consideran con mayor énfasis y también detectar posibles carencias con relación a indicadores o módulos no cubiertos.

## 2. Metodología

La metodología propuesta en este trabajo está compuesta por cuatro etapas mostradas en la Figura 1.

Figura 1: Metodología



En la Etapa I se seleccionan cuatro HESE, se revisan los indicadores propuestos por estas y se identifican las categorías que abordan temáticas comunes. En la Etapa II se revisan los módulos de ACV propuestos por la Norma UNE-EN 15804 y sus límites. A continuación, en la Etapa III se clasifican los indicadores de las HESE en las categorías, los módulos de ACV y las etapas del ciclo de vida de los edificios. Por último, en la Etapa IV, se muestran los resultados de la clasificación de indicadores para extraer conclusiones y discutir los resultados.

## 3. Resultados

### 3.1 Etapa I: Revisión de indicadores de las herramientas de evaluación de sostenibilidad de edificios

Se seleccionaron cuatro HESE de reconocimiento y aceptación internacional, que integran esquemas específicos para evaluar la sostenibilidad de la edificación residencial. Estas se describen a continuación:

- LEED (USGBC, 2014), desarrollado por US Green Building Council (USGBC). Incluye un conjunto de requisitos e indicadores, cuyo cumplimiento certifica la sostenibilidad de un edificio de vivienda en cuatro niveles: certificado, plata, oro y platino. Está compuesto por 53 indicadores agrupados en 7 categorías: localización y transporte, parcelas sostenibles, eficiencia en agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, calidad ambiental interior

e innovación y prioridad regional. En el marco de este trabajo, los indicadores están codificados como LEED01-LEED53.

- BREEAM (BRE Global, 2016), desarrollada por el BRE en Reino Unido, y adaptada en España por el Instituto Tecnológico de Galicia (ITG). Está compuesto por 49 indicadores agrupados en 8 categorías: gestión, salud y bienestar, energía, transporte, agua, materiales, residuos, uso de suelo y ecología, y contaminación. Los indicadores en este trabajo están codificados como BRE01-BRE-49.
- Level(s) (Dodd et al., 2021), desarrollada por el Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea para evaluar la sostenibilidad de edificios desde las etapas más tempranas del diseño conceptual. La herramienta consta de tres niveles (*levels*) de alcance, de manera que en el L1 analiza el edificio en la fase de diseño, el L2 la construcción junto con las decisiones tomadas en la etapa del diseño y el L3 el edificio ya construido y su etapa en uso. Consta de 16 indicadores agrupados en 6 macroobjetivos: emisiones de efecto invernadero y contaminantes a lo largo del ciclo de vida del edificio, recursos eficientes y circularidad de los materiales, gestión eficiente de los recursos hídricos, salud y espacios confortables, adaptación y resiliencia al cambio climático, y coste del ciclo de vida óptimo. Los indicadores en este trabajo están codificados como LVL01-LVL16.
- VERDE (GBCe, 2017), desarrollada por el Green Building Council de España. Permite evaluar nuevas edificaciones residenciales y rehabilitaciones de edificios existentes. Concebida con un enfoque de ciclo de vida, evalúa la reducción de impactos del edificio objeto con respecto a un edificio de referencia. Está compuesta por 39 indicadores agrupados en 6 categorías: parcela y emplazamiento, energía y atmósfera, recursos naturales, calidad del ambiente interior, aspectos sociales y económicos, y concepto de calidad. Los indicadores en este trabajo están codificados como VE01-VE39.

Tras revisar los 157 indicadores incluidos en las cuatro HESE descritas, se identificaron 7 categorías homogéneas que engloban todos los aspectos con los que están relacionados los indicadores. Estas son: confort, energía, materiales, naturaleza y cambio climático, residuos, agua y conciencia ambiental. La Tabla 1 describe los aspectos incluidos en cada categoría. Los indicadores de las HESE se agrupan en los aspectos descritos en la Tabla 1.

**Tabla 1. Categorías incluidas en las HESE**

<b>Categoría</b>	<b>Descripción de aspectos incluidos</b>
Confort	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proximidad a servicios y transporte</li> <li>• Calidad del aire interior (emisión COVs, etc.)</li> <li>• Confort térmico</li> <li>• Ventilación</li> <li>• Iluminación</li> <li>• Ruido</li> <li>• Privacidad</li> <li>• Distribución de los espacios y accesibilidad</li> </ul>
Energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demanda y consumo energético</li> <li>• Mejora de la envolvente térmica del edificio</li> <li>• Carga de vehículos eléctricos</li> <li>• Energías renovables</li> <li>• Electrodomésticos e instalaciones del edificio eficientes</li> <li>• Monitorización del consumo de energía</li> </ul>
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de materiales reciclados</li> <li>• Uso de materiales obtenidos de recursos sostenibles</li> <li>• Uso de materiales locales</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto de los materiales de construcción y eco-etiquetado del producto</li> <li>• Conservación del edificio</li> <li>• Diseño para la adaptación y renovación</li> </ul>
Naturaleza y cambio climático	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión y restauración del hábitat</li> <li>• Uso y reutilización del suelo</li> <li>• Mitigación del impacto ecológico durante la construcción</li> <li>• Uso de vegetación para crear sombras</li> <li>• Riesgos de inundación y erosión</li> <li>• Efecto isla de calor</li> <li>• Emisiones a la atmósfera (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, etc.)</li> <li>• Uso responsable de refrigerantes</li> <li>• Transporte y aparcamiento</li> <li>• Minimización de contaminación (agua, suelo, iluminación)</li> </ul>
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clasificación de RSU</li> <li>• Almacenamiento en el edificio de residuos domésticos</li> <li>• Compostaje de residuos domésticos</li> <li>• Gestión de los RCD</li> <li>• Planificación de una estrategia de demolición selectiva</li> <li>• Reutilización de áridos reciclados</li> </ul>
Agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo de agua potable en el edificio</li> <li>• Sistema de riego</li> <li>• Tratamiento sostenible de agua</li> <li>• Uso de agua no potable y reutilización en aparatos sanitarios</li> <li>• Monitorización del consumo de agua</li> </ul>

COVs: compuestos orgánicos volátiles; CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono; NO<sub>x</sub>: Óxidos de nitrógeno; RCD: residuos de construcción y demolición; RSU: residuos sólidos urbanos

### 3.2 Etapa II: Revisión de módulos de ACV

Según la norma UNE-EN 15978 (2012), el objetivo de la evaluación es el edificio en su conjunto, incluyendo sus cimientos y obras externas dentro del perímetro de la parcela y teniendo en cuenta todo su ciclo de vida. La evaluación del edificio se realiza siguiendo el principio de modularidad, de acuerdo a la estructura propuesta para las DAP y sus módulos, descritos en la norma UNE-EN 15804 (2012). La norma concibe las etapas del edificio en un conjunto de módulos de ACV, para cada uno de los cuales, establece los límites del sistema. La etapa de producto la componen los módulos A1-A3, la etapa de construcción los módulos A4-A5, la etapa de uso los módulos B1-B7, la etapa de fin de vida los módulos C1-C4 y, finalmente, el módulo D corresponde a la etapa beneficios y cargas más allá del límite del sistema.

Por otro lado, el proyecto europeo EeB Guide Project (2012) establece con mayor nivel de detalle los aspectos a tener en cuenta para evaluar cada uno de los módulos propuestos por la norma. Por ello, también se toma como referencia en el marco de este trabajo, pues contribuye a establecer con mayor precisión los límites del sistema y, posteriormente en la siguiente Etapa III, a llevar una clasificación fundamentada de cada uno de los indicadores en los módulos de ACV.

La Tabla 2 describe los límites del sistema para cada módulo de evaluación ambiental del edificio:

**Tabla 2. Límites del sistema para la evaluación ambiental de los edificios (UNE-EN 15978)**

Etapa ACV	Módulo ACV	Límite del sistema
Producto	A1-A3: Suministro de materias primas	Proceso de productivo de materiales/servicios utilizados

Construcción	A4: Transporte	Transporte de materiales desde la puerta de la fábrica a la obra Transporte de los equipos de construcción a/desde obra Pérdidas por transporte. No incluye el transporte del personal
	A5: Construcción	Obras y mejoras en el terreno Almacenamiento de productos Transporte de materiales/productos/residuos/equipos en obra Obras temporales Producción y transformación de productos en obra Suministro de instalaciones durante la construcción Instalación de productos no contabilizados en las DAP Uso de agua y energía durante la construcción Gestión de los RCD generados hasta punto de vertido
Uso	B1: Uso	Impacto debido a condiciones normales de uso de componentes
	B2: Mantenimiento	Producción y transporte de productos para el mantenimiento Procesos de limpieza interior/ exterior del edificio Procesos de mantenimiento funcional/técnico/estético
	B3: Reparación	Producción y transporte de componentes reparados Procesos de reparación Gestión de RCD Etapa fin de vida de componentes eliminados
	B4: Sustitución	Producción y transporte de componentes sustituidos Proceso de sustitución Gestión de RCD Etapa fin de vida de los componentes sustituidos
	B5: Rehabilitación	Producción y transporte de componentes nuevos Proceso de rehabilitación Gestión de RCD Etapa fin de vida de los componentes rehabilitados
	B6: Uso de energía	Energía utilizada por los sistemas técnicos del edificio
	B7: Uso de agua	Agua utilizada y sus tratamientos
Fin de vida	C1: Deconstrucción	Operaciones necesarias tras fin de servicio del edificio
	C2: Transporte	Transporte a vertedero/punto de tratamiento de los RCD.
	C3: Reutilizar, recuperar, reciclar	Posibles tratamientos para aumentar el potencial de recuperación y estudiar un nuevo uso de los componentes.
	C4: Vertido	Posible tratamiento tras el transporte y antes del vertido
Más allá del ciclo de vida	D: Beneficios y cargas fuera del sistema	Beneficios por reutilización/reciclaje/valorización energética de materiales y energía

### 3.3 Etapa III: Clasificación de indicadores

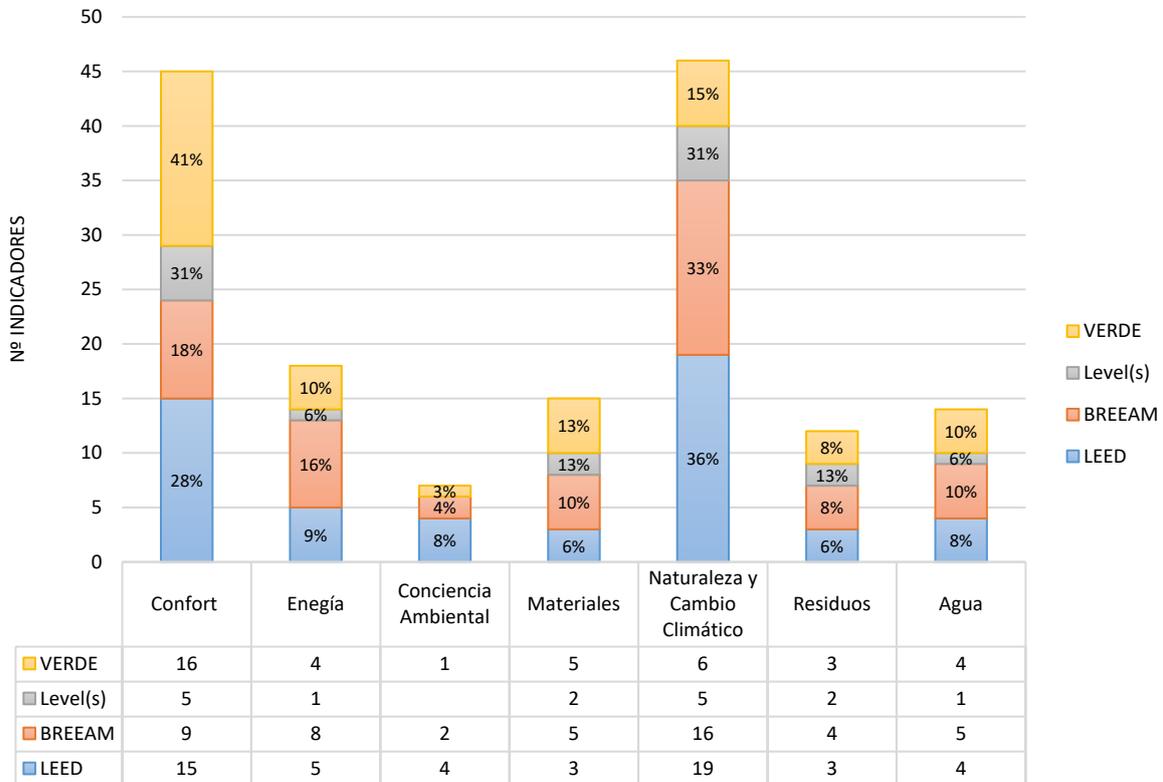
La clasificación de los indicadores incluidos en las cuatro herramientas se realizó según tres criterios: por categoría, por módulo de ACV y por etapa del ciclo de vida del edificio.

#### Clasificación por categoría

Esta clasificación atiende a las categorías identificadas en la revisión de las HESE (Tabla 1). La Figura 2 muestra la distribución del número de indicadores que cada herramienta otorga a cada una de las categorías. En general, se observa que los indicadores, en su mayoría, evalúan el impacto sobre la categoría “Naturaleza y cambio climático” (46 indicadores) y “Confort” de los ocupantes (45 indicadores), mientras que en menor grado se evalúa la categoría “Conciencia ambiental” de los ocupantes y de otros agentes interesados que interactúan a lo largo del ciclo de vida del edificio (7 indicadores).

En promedio, se observa que la ponderación conferida a cada una de las categorías es: confort (30%), naturaleza y cambio climático (29%), energía (11%), agua (9%), materiales (10%), residuos (9%) y conciencia ambiental (4%).

**Figura 2: Clasificación de indicadores por categoría**



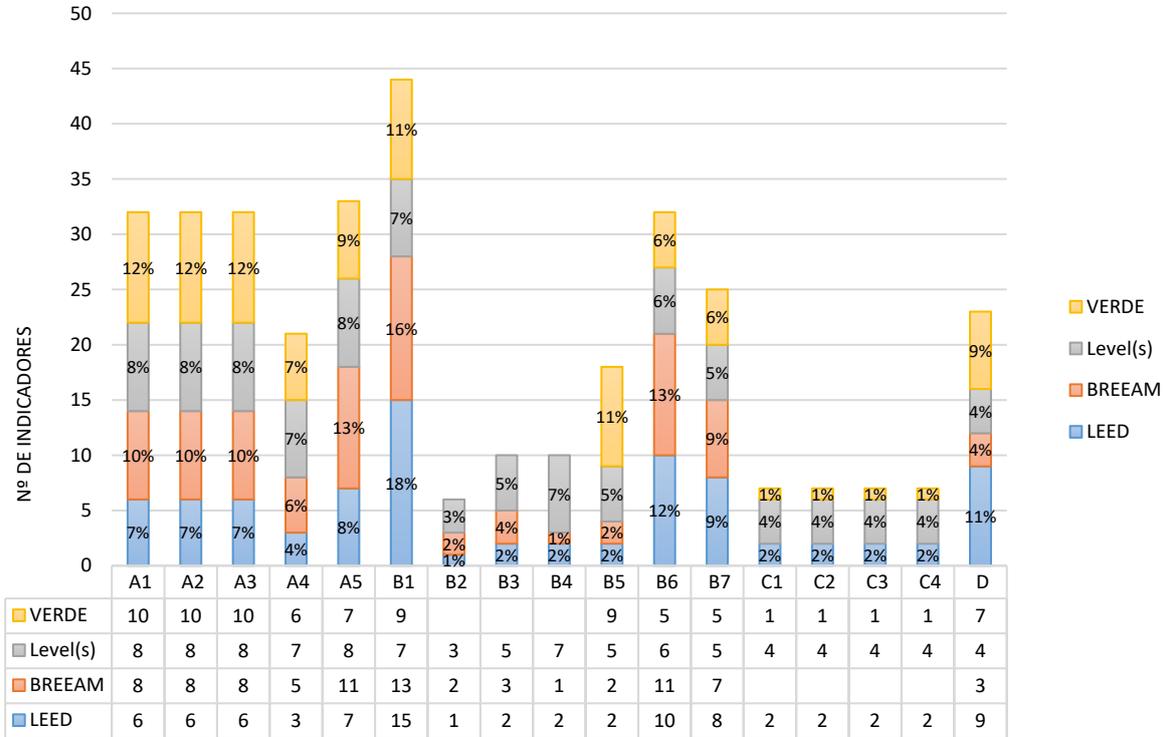
### **Clasificación por módulo de ACV**

De acuerdo con los límites del sistema mostrados en la Tabla 2, los 157 indicadores revisados se clasificaron en los módulos de análisis de ciclo de vida (A1-D) (EeB Guide Project, 2012; UNE-EN 15978, 2012).

Los resultados de esta clasificación se muestran en la Figura 3. La clasificación muestra que el módulo en el que se engloban una mayor cantidad de indicadores es el B1 (uso), en el cual se evalúan aspectos como la calidad de aire al interior, la ventilación natural, la iluminación natural o la utilización de materiales de baja emisión, estando estos indicadores ligados a la categoría de Confort de los ocupantes del edificio. Seguidamente y por orden de importancia, se encuentran los módulos A5, B6, A1-A3, B7, D y A4. Ello denota que las HESE confieren especial relevancia a los siguientes aspectos: confort de los ocupantes (B1), construcción del edificio (A5), consumo de energía durante la fase de uso (B6), suministro de materias primas y su transformación en productos de construcción (A1-A3), consumo de agua durante la fase de uso (B7), posibilidad de reducir/compensar los impactos ambientales (D) y, finalmente, transporte de los productos de construcción a obra (A4). Quedan, por tanto, relegados a un segundo plano con un notable menor grado de importancia, todo lo relativo a las actividades de mantenimiento, reparación, sustitución y rehabilitación del edificio durante su fase de uso

(B2-B5) y la etapa de fin de vida en su conjunto (C1-C4), destinada a garantizar una adecuada gestión de los RCD cuando el edificio llegue al final de su vida útil.

**Figura 3: Clasificación de indicadores por módulos de ACV**



**Clasificación por etapa del ciclo de vida del edificio**

En esta clasificación, cada indicador se relaciona con la etapa de la vida útil del edificio durante la cual es crucial incidir/actuar para reducir su impacto ambiental asociado.

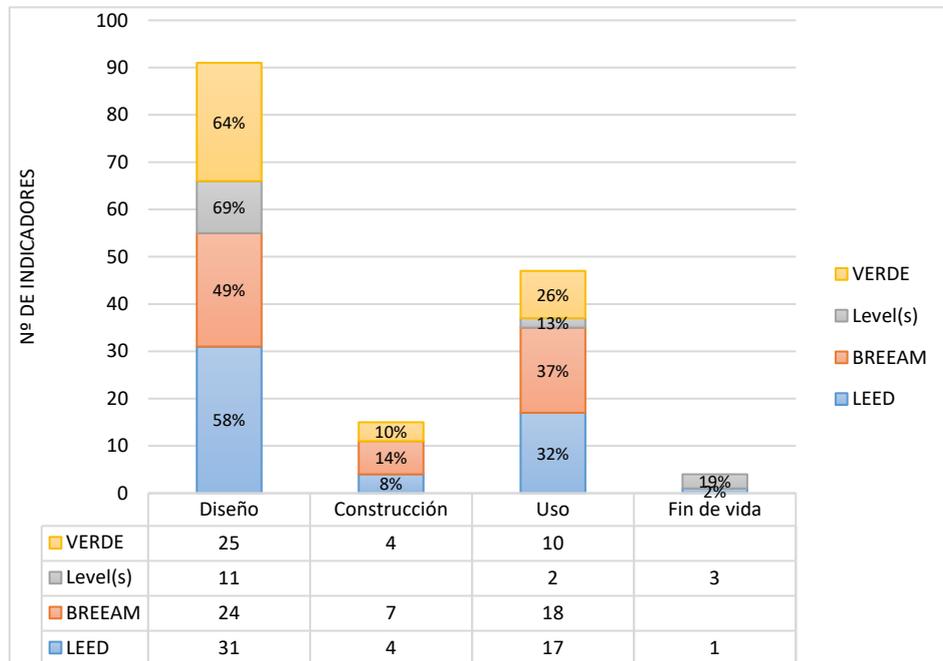
Por un lado, la norma UNE-EN 15798 plantea las siguientes etapas del ciclo de vida de un edificio: boceto/diseño conceptual, proyecto detallado, construcción, uso y fin de vida. Por otro, el Royal Institute of British Architects (RIBA, 2020) propone las siguientes etapas: definición estratégica, descripción del proyecto, diseño conceptual, validación del diseño, diseño técnico, construcción, recepción o final de obra y uso. En España, el Ministerio de la Vivienda (1977) definió las fases de diseño conceptual, Anteproyecto, Proyecto Básico y Proyecto de Ejecución.

En el marco de este trabajo y a partir de estas propuestas de referencia, se observa un consenso en la definición de las siguientes etapas del ciclo de vida de un edificio: diseño, construcción, uso y fin de vida. Así pues, la etapa de diseño comprende todo el proceso desde la concepción del diseño del edificio (Anteproyecto, Proyecto Básico y Proyecto de Ejecución).

Estas etapas son las fases del ciclo de vida sobre las que los agentes involucrados en el proceso edificatorio (promotor, dirección facultativa, constructor, usuarios finales del edificio)

han de actuar para que sus acciones tengan un efecto en la reducción del impacto ambiental del edificio. La clasificación de los indicadores según estas etapas, se muestra en la Figura 4.

**Figura 4: Clasificación de indicadores por etapa de concepción del edificio**



Se desprende que, en promedio, más de la mitad de los indicadores (60%) deben considerarse en la etapa de diseño para que tengan un impacto real y positivo sobre el edificio, lo cual es muy significativo. En segundo lugar, se encuentran los indicadores que deben tenerse en cuenta durante la etapa de uso, incluyéndose aquí el 27%, seguido de la etapa de construcción (8%) y de la etapa de fin de vida (5%). Estos resultados se alinean con las conclusiones de los estudios realizados por Roberts et al. (2020), quienes concluyen que la metodología ACV se aplica, por lo general, tarde, cuando el edificio ya está en proceso de construcción o terminado, a modo de cálculo de la energía embebida, pero cuando ya no es posible influir en reducir su impacto ambiental. Es por ello por lo que cobra especial importancia la necesidad de implementar la metodología de ACV desde las primeras etapas del ciclo de vida, es decir, desde la concepción más temprana del diseño, que comprende la realización del Anteproyecto y los Proyectos Básico y de Ejecución del edificio. Entre los indicadores que han de incluirse en esta etapa de diseño, cabe destacar los relacionados con la elección del sitio donde se va a edificar; su proximidad a servicios de transporte público para reducir la necesidad del vehículo privado de los ocupantes; la orientación del edificio para reducir las demandas de calefacción y de refrigeración; la elección de materiales (por ejemplo de aislamiento para la envolvente térmica); la previsión de lugares en el edificio donde almacenar las bicicletas para contribuir a un transporte más sostenible de los usuarios; la previsión de lugares de almacenamiento y clasificación de los residuos domésticos para garantizar altas tasas de gestión de los mismos; o la previsión y diseño de sistemas de energías renovables; entre los más relevantes. Si este tipo de aspectos/indicadores no se

tienen en cuenta durante la etapa de diseño, difícilmente podrán contribuir después a reducir su impacto ambiental durante las etapas siguientes del ciclo de vida.

#### 4. Discusión

De la clasificación de indicadores **por categoría**, se desprende que:

- LEED y BREEAM otorgan mayor importancia a la interacción del edificio con su entorno, ya que tienen 19 (35.8 %) y 16 (35.6 %) indicadores relacionados con la categoría “Naturaleza y cambio climático”, respectivamente. En esta categoría se incluyen indicadores como la disponibilidad de servicios cercanos, el acceso a alternativas de transporte o impacto al hábitat, entre otros.
- VERDE y LEED otorgan mayor nivel de importancia a la categoría “Confort”, ya que tienen 16 (41.0 %) y 15 (28.3 %) indicadores relacionados con ella, respectivamente. En esta categoría se incluyen indicadores como la calidad de aire interior, la ventilación, el nivel de ruido o el confort térmico. Además de estos indicadores, LEED introduce otros como vistas de calidad y control de humo del tabaco. VERDE incluye indicadores como el de integrar un sistema de gestión del edificio y el coste de la construcción.
- Para el resto de categorías (energía, materiales, agua, residuos y conciencia ambiental), las herramientas incluyen un número de indicadores bastante equilibrado.

De la clasificación de indicadores **por módulo de ACV (A-D)**, se desprende que:

- Módulo A. En cuanto a la etapa de producto (A1-A3), la herramienta que cuenta con mayor cantidad de indicadores es VERDE, incluyendo indicadores relacionados, como, por ejemplo, con el uso de materiales con eco-etiquetado, el uso de materiales locales, de materiales sostenibles y el cálculo de su impacto ambiental mediante la metodología de ACV. En referencia a la etapa de construcción, el módulo A4 relativo al transporte de materiales a obra es abordado por todas las HESE, sin embargo, Level(s) y VERDE son la que más importancia confieren a este aspecto. El módulo A5, relativo a los impactos generados durante la obra, incluye aspectos como la maquinaria y equipos utilizados en la construcción o la transformación de los materiales seleccionados para su puesta en obra, y es abordado con mayor énfasis por la herramienta BREEAM. No obstante, en este módulo todas las HESE se encuentran bastante equiparadas.
- Módulo B. En lo que concierne a la etapa de uso del edificio, la herramienta que cuenta con mayor cantidad de indicadores en el módulo B1 es la herramienta LEED, seguida de BREEAM, VERDE y Level(s). A este módulo se asocian indicadores relacionados con el confort. Los módulos B2-B5 relativos al mantenimiento y rehabilitación, como se ha comentado anteriormente, son muy poco abordados por las HESE. Únicamente se tienen en cuenta en LEED, BREEAM y Level(s) (el B5 también en VERDE). Sin embargo, se observa aquí que Level(s) gana visibilidad frente a las demás HESE, pues incluye un indicador clave que ninguna otra herramienta tiene en consideración: fomentar el diseño del edificio para su adaptación y renovación con el paso del tiempo, garantizando durante la realización de las obras de rehabilitación un bajo un potencial de calentamiento global, una gestión adecuada de los RCD, un coste económico adecuado teniendo en cuenta la metodología CCV y la reducción de riesgos ante desastres naturales o los cambios de clima. Coincidiendo con las conclusiones del estudio realizado por Hasik et al. (2019), estas etapas son las que se incluyen con menor frecuencia en los análisis de ciclo de vida de los edificios. Por otro lado, en el módulo B6 relativo al consumo de energía de agua caliente sanitaria, de calefacción y refrigeración y derivado de la utilización del equipamiento en la vivienda, las herramientas que cuentan con más indicadores son BREEAM y LEED, aunque puede decirse que todas ellas confieren una importancia

notable a este aspecto. El B7 relativo al consumo de agua durante el funcionamiento del edificio, también es ampliamente evaluado por todas las herramientas, especialmente también por LEED y BREEAM.

- Módulo C. En cuanto a la etapa de fin de vida, los módulos C1-C4 solo cuentan con indicadores de Level(s), LEED y VERDE, destinados a garantizar una correcta gestión de RCD ya desde la fase de proyecto del edificio. De nuevo, aquí, Level(s) es la herramienta que mayor representación tiene, pues incluye un indicador destinado a fomentar un diseño del edificio que facilite la deconstrucción, la reutilización y el reciclaje de los productos que lo integran o del edificio en su conjunto. Cabe apuntar que, pese a estar ganando progresivamente importancia los principios de la economía circular (The Ellen MacArthur Foundation, 2012) basados fundamentalmente en llevar a cabo una adecuada gestión/valorización de los RCD, se observa que las herramientas no están preparadas para ello, siendo todavía muy poca la importancia que confieren a este aspecto.
- El módulo D relativo a los beneficios y cargas más allá del límite del sistema, todas las herramientas incluyen indicadores que fomentan este aspecto, como el ahorro de energía o la producción de energías renovables, el ahorro de agua, la utilización de materiales reciclados o la recuperación de terrenos/edificios existentes sin uso o degradados, entre otros. Cabe indicar que se le confiere cierta relevancia a este módulo.
- Si analizamos en global la forma de la Figura 3, se aprecia que los módulos relacionados con la etapa de producto y construcción del edificio (A1-A5), junto con el primero de los módulos de la etapa de uso (B1), aglutinan la mayoría de los indicadores, lo cual indica que las herramientas están focalizadas en evaluar los impactos embebidos del edificio, y no tanto en evaluar el ciclo de vida completo del mismo. Trigaux et al. (2021), sin embargo, recomiendan el desarrollo de herramientas que evalúen el ciclo de vida completo, diferenciando, en su caso, las diferentes etapas. En este sentido, se observa que Level(s), pese a ser la herramienta que incluye un menor número de indicadores (16), es la única que tiene en cuenta todos los módulos de ACV, y esto denota el enfoque de ciclo de vida con el que ha sido concebida y diseñada. Además, es la herramienta que presenta una ponderación más equilibrada entre todos los módulos.
- Por otro lado, cabe destacar que un total de 28 indicadores no han podido ser clasificados debido a que no encajan dentro de los límites de los módulos propuestos por la UNE-EN15978 por no tener una incidencia directa en el impacto ambiental del edificio, sino en el entorno urbano. Estos indicadores abordan aspectos como el acceso a espacio público y privado y a los servicios; el acceso y cercanía al transporte público y los medios de transporte alternativo; disponer de facilidades para la bicicleta; la generación de residuos domésticos, el almacenaje y el aprovechamiento de estos; la educación ambiental de los ocupantes y de los constructores; el derecho a la intimidad; la eficiencia de los espacios; y el facilitar la oficina en casa.

## 5. Conclusiones

Este trabajo presenta un análisis de los indicadores incluidos en las herramientas de evaluación de la sostenibilidad de los edificios y su relación con los módulos de análisis de ciclo de vida establecidos en la norma UNE-EN 15978. Se identifica que las herramientas están más focalizadas en evaluar el impacto embebido del edificio, frente a una evaluación de enfoque global que abarque todo el ciclo de vida, pues la mayoría de los indicadores se asocian principalmente a las etapas de producto y construcción. Así pues, los módulos relativos al mantenimiento y rehabilitación del edificio y a la gestión de residuos en el fin de vida, se abordan de forma leve. Por ello, es recomendable que en futuras revisiones las HESE incorporen más indicadores de evaluación relacionados con los módulos de uso y fin de vida,

adquiriendo un enfoque más sólido de todo el ciclo de vida de los edificios. En este sentido, Level(s), a pesar de tener un reducido número de indicadores, es la única herramienta que sí aborda todas las etapas del edificio, además de forma equilibrada. Por otro lado, cabe indicar que un total de 28 indicadores no han podido ser clasificados en ninguno de los módulos, al estar relacionados con el entorno urbano del edificio y no contemplar la norma este aspecto. Debido a la importante influencia que tiene el entorno urbano en el impacto ambiental final del edificio, especialmente en la etapa de uso, este también debería ser considerado de alguna forma por la norma, por lo que resulta necesario proponer en futuros desarrollos nuevos módulos de ACV capaces de evaluarlo.

Del trabajo se desprende que las categorías más tratadas por las HESE son la de naturaleza y cambio climático y la de confort, lo que denota la importancia otorgada a los aspectos ambientales y también al bienestar de los ocupantes. Por último, se identifica que la etapa de diseño del edificio es aquella sobre la que los agentes interesados deben prestar mayor atención y actuar para conseguir reducir su impacto, pues integra más de la mitad de los indicadores. En este sentido, el diseño adquiere especial relevancia, lo que implica que es aquí cuando debe integrarse el ACV, a través de la redacción del proyecto del edificio y la toma de las primeras decisiones por parte de arquitectos, ingenieros, promotores y constructores, involucrados en el proceso.

Los resultados de este trabajo sirven como punto de partida para establecer una mayor coherencia entre las herramientas de evaluación de la sostenibilidad de los edificios y el marco metodológico de análisis de ciclo de vida en el que estas se basan. Los resultados de este estudio pueden contribuir a plantear propuestas de mejora en el enfoque de las herramientas. En futuros desarrollos, además, es recomendable abordar las carencias detectadas y plantear nuevos módulos de ACV que cubran todos los aspectos del ciclo de vida de los edificios y también presten mayor atención a la etapa de diseño.

## Referencias

- BRE Global, 2016. BREEAM ES Vivienda 2011. Edificios residenciales. Manual Técnico. La Coruña.
- 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.
- Dodd, N., Donatello, S., Cordella, M., 2021. Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings. User Manual 1: Introduction to the Level(s) common framework (Publication version 1.1). Brussels.
- EeB Guide Project, 2012. Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative.
- Eurostat, 2020. Energy consumption and use by households [WWW Document]. URL <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20200626-1> (accedido 9.9.20).
- GBCe, 2017. VERDE Residencial. Nueva edificación y Rehabilitación edificios existentes. Guía para el Evaluador Acreditado. España.
- Hasik, V., Ororbia, M., Warn, G.P., Bilec, M.M., 2019. Whole building life cycle environmental impacts and costs: A sensitivity study of design and service decisions. Building and Environment 163, 106316. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106316>
- ISO 14040, 2006. Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. International Organization for Standardization (ISO).

ISO 14044, 2006. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Organization for Standardization (ISO).

Ministerio de la Vivienda de España, 1977. Real Decreto 2512/1977, de 17 de junio, por el que se aprueban las tarifas de honorarios de los Arquitectos en trabajos de su profesión.

Nwodo, M.N., Anumba, C.J., 2019. A review of life cycle assessment of buildings using a systematic approach. Building and Environment 162, 106290.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106290>

RIBA, 2020. RIBA plan of work 2020 - overview. London.

Roberts, M., Allen, S., Coley, D., 2020. Life cycle assessment in the building design process – A systematic literature review. Building and Environment 185, 107274.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107274>

Röck, M., Hollberg, A., Habert, G., Passer, A., 2018. LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. Building and Environment 140, 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.006>

The Ellen MacArthur Foundation, 2012. Towards a Circular Economy. Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition.

Trigaux, D., Allacker, K., Debacker, W., 2021. Environmental benchmarks for buildings: a critical literature review. International Journal of Life Cycle Assessment 26, 1-21.  
<https://doi.org/10.1007/s11367-020-01840-7>

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.

USGBC, 2014. LEED v4 para diseño y construcción de edificios. Spain.

**Comunicación alineada con los  
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

