

(02-028) - Automation of Life Cycle Assessment (LCA) in Building Information Modeling (BIM) Projects

Fernández-Rodríguez, Juan Francisco ¹; Picardo, Alberto ¹; Aguilar-Planet, María Teresa ¹; Martín-Mariscal, Amanda ¹; Peralta, Estela ¹

¹ Universidad de Sevilla

Building Information Modeling (BIM) software serves as project management tools, encompassing graphical representation, planning, cost estimation, environmental analysis, and maintenance. These tools utilize virtual models to simulate a building's behavior throughout its lifecycle, supported by other software. However, the exchange of information between the BIM model and these specialized software tools is not yet fully automated. The aim of this study is to determine which life cycle assessment (LCA) software effectively integrates information from a BIM model to automate the environmental evaluation process of a building in the design phase. Various LCA software and their performance regarding the importation of BIM information from the analyzed case study are examined. The results enable the classification of these tools based on ¹ the exchange format used, ² the reliability of their database, and ³ whether they are free or commercial. In conclusion, the study indicates that Athena Impact Estimator is the analyzed software that best automates the environmental evaluation process for a building designed in BIM.

Keywords: Building Information Modeling; Life Cycle Assessment; Virtual Models; Project Management; Interoperability

Automatización del Análisis de Ciclo de Vida (LCA) en proyectos Building Information Modeling (BIM)

Los softwares Building Information Modeling (BIM) son herramientas de gestión de proyectos, tanto a nivel gráfico como de planificación, costes, análisis ambiental o mantenimiento. Para ello utilizan modelos virtuales que ensayan el comportamiento de un edificio a lo largo de su vida útil, con el apoyo de otros softwares. Sin embargo, el intercambio de información entre el modelo BIM y estos softwares especializados aún no está totalmente automatizado. El objetivo de este trabajo es determinar qué softwares especializados en el análisis de ciclo de vida (LCA) integran de manera más eficaz la información obtenida de un modelo BIM para automatizar el proceso de evaluación ambiental de un edificio en fase de diseño. Para ello se estudian distintos softwares LCA y su comportamiento frente a la importación de información BIM del caso de estudio analizado. Los resultados permiten clasificar estas herramientas en función: ¹ del formato de intercambio utilizado, ² la fiabilidad de su base de datos y ³ su carácter libre o comercial. Como conclusión, el estudio señala que Athena Impact Stimator es el software analizado que mejor automatiza el proceso de evaluación ambiental de un edificio diseñado en BIM.

Palabras clave: Building Information Modeling; Análisis de Ciclo de Vida; Modelos virtuales, Gestión integral de proyectos; Interoperabilidad

Correspondencia: Juan Francisco Fernández-Rodríguez jfernandez52@us.es



©2024 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

Dado el reto que supone afrontar la situación de cambio climático en el contexto actual, resulta necesario apostar por el desarrollo de medidas que garanticen la sostenibilidad y reduzcan el impacto ambiental de cualquier actividad vinculada al desarrollo de la vida humana (Singh et al, 2021). Uno de los sectores que se ve claramente afectado por esta problemática es la industria de la construcción.

Como primer paso para lograr este objetivo, se han desarrollado distintas regulaciones y políticas sostenibles en diferentes ámbitos, internacional, nacional y regional. Para ello, y pese a que la evaluación de impacto ambiental y el ciclo de vida de un edificio implica varios parámetros (Ringel y Capeluto, 2020), el primer aspecto que se ha regulado es la eficiencia energética de los edificios. En España, la certificación energética de edificios de nueva construcción reconocida por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico se realiza mediante la Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC) o el método abreviado de calificación energética residencial (CERMA). Su objetivo es analizar la situación energética del parque inmobiliario actual y definir parámetros para cuantificar las mejoras que se pueden implementar y reducir así las demandas energéticas y la dependencia de fuentes derivadas del petróleo, así como las emisiones de CO₂. Para ello, se busca analizar tres elementos clave: la envolvente del edificio y su comportamiento energético; el consumo de energía de las instalaciones y equipos; y el uso de energías renovables.

El estudio conjunto de estos aspectos da como resultado un valor de las demandas energéticas requeridas por el edificio para mantener unas condiciones de confort, y un valor de las emisiones de CO₂ asociadas al mantenimiento de estas condiciones. Ambos valores se representan a través de una escala que clasifica el edificio mediante las letras de la A a la H, siendo la A el valor que significa la menor demanda y las menores emisiones de CO₂. Sin embargo, los resultados efectivos que proporcionan estos mecanismos no satisfacen las necesidades requeridas.

Por ello, junto a los parámetros de evaluación energética, es necesario incorporar indicadores que influyan en el impacto ambiental del ciclo de vida del edificio, lo que implica todas las fases asociadas al proceso constructivo (Gámez et al, 2018): la fabricación de materiales; el transporte de estos materiales; el propio proceso de construcción; el consumo durante la vida útil del edificio; su demolición concluida esa vida útil; y la gestión de residuos. Al mismo tiempo, además de los criterios de reducción de las demandas energéticas y de las emisiones, es necesario incorporar parámetros como el uso de materiales duraderos; el diseño de edificios flexibles que puedan adaptarse a los cambios de forma sencilla; el diseño de un mantenimiento adecuado para reducir el impacto ambiental del edificio a lo largo de su vida útil; y garantizar la reutilización y el reciclaje de materiales.

Para incorporar todos estos parámetros en el proceso de diseño de un edificio, se recomienda el uso de un software especializado capaz de evaluar el impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. Sin embargo, estos softwares son complejos de usar y es difícil incluir toda la información requerida.

Disponer de una herramienta digital capaz de gestionar todos estos datos podría facilitar la transferencia de información a estos softwares especializados, mejorando las condiciones ambientales del edificio resultante, así como reduciendo su consumo energético y su dependencia de los combustibles fósiles durante su vida útil.

El Building Information Modeling (BIM) es una tecnología utilizada en el sector de la construcción y dirigida a la representación gráfica de elementos tridimensionales asociados a la información. Por ello, esta herramienta digital busca la construcción de modelos virtuales

capaces de simular el desarrollo de un proyecto de edificación, facilitando su coordinación y evaluación en el diseño por fases (Oliver, 2016).

En este contexto, este estudio tiene como objetivo definir qué software de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) integra de manera más efectiva la información obtenida de un modelo BIM en la etapa de diseño, con el fin de contribuir a reducir la huella ecológica del edificio resultante.

2. Estado de la cuestión

La tecnología BIM permite el modelado tridimensional de geometrías (3D), asociándolas a información para convertirlas en elementos constructivos virtuales, lo que añade una cuarta dimensión (4D) al proceso. Mientras que el software de diseño asistido por ordenador (CAD) requiere de la interpretación del proyectista de que las diferentes líneas dibujadas representan un muro, una viga o un pilar, en BIM cada uno de los elementos modelados están asociados a un espesor y materialidad que los convierte en un componente constructivo, lo que implica el paso del dibujo bidimensional a la construcción de modelos virtuales.

De esta forma, la metodología BIM se basa en el desarrollo de modelos virtuales, ajustados a la realidad en cuanto a diseño (dimensiones, materiales), e incorporando otros factores del proyecto, como la temporalización y planificación de trabajos, la cantidad de material necesario, así como las condiciones climáticas del entorno. De esta forma, el proceso de diseño se asocia al de simulación de la realidad para testear las decisiones adoptadas a introducir los cambios a llevar a cabo durante la fase de diseño antes de que se inicie la fase de ejecución (Fernández, 2023a).

Por lo tanto, además de su tercera y cuarta dimensión, BIM se asocia a una quinta dimensión de control de costes (5D), una sexta dimensión de incidencia de sostenibilidad y análisis energético (6D), y una séptima dimensión de mantenimiento y facility management (7D), lo que convierte a esta plataforma en un espacio virtual adecuado para la gestión integral de un proyecto de edificación durante las fases de construcción y post-construcción.

Centrándonos en el análisis de estudios de referencia que utilizan la tecnología de modelado de información de construcción (BIM) como instrumento para el análisis del ciclo de vida en la fase de diseño del edificio, encontramos múltiples enfoques que apuntan al valor de utilizar esta tecnología para incorporar información en un modelo virtual para realizar evaluaciones ambientales durante el proceso de diseño (Aravici y Aouad, 2010; Potrc et al, 2020).

Revit (Autodesk), ArchiCAD (Graphisoft) y Allplan (Nemetschek) son los softwares BIM más extendidos actualmente en el mercado. Dichas plataformas han desarrollado software propios para el análisis de ciclo de vida asociado a sus modelos BIM, por ejemplo, EcoDesigner (Graphisoft), Autodesk Green Building Studio o Auto-desk Ecotect (Autodesk). Sin embargo, la base de datos utilizada por estos softwares para llevar a cabo el análisis del ciclo de vida no es muy extensa. Por ello, es necesario utilizar software especializado en análisis de ciclo de vida, con bases de datos contrastadas que garanticen la fiabilidad de los resultados obtenidos.

El uso de softwares de análisis de ciclo de vida distintos de los de trabajo en BIM implica la necesidad de que el trasvase de información entre estos se automatice. Por ello, es importante analizar la interoperabilidad de la información asociada a los modelos BIM respecto a intercambios con otras herramientas LCA. En este sentido, Li et al. (2023) señalaron la necesidad de desarrollar mapeos algorítmicos comunes a diferentes bases de datos existentes para mejorar la efectividad de estos procesos de intercambio y análisis, en comparación con el mapeo geométrico.

Sin embargo, el proceso de intercambio de los datos integrados en estos modelos a otras herramientas de simulación diferentes presenta problemas de automatización, por lo que es

necesario utilizar métodos manuales o semiautomáticos (hojas de cálculo convencionales) para establecer una relación entre el modelo BIM y la evaluación del ciclo de vida (Carvalho et al, 2020).

A pesar de esta dificultad inicial, las ventajas del uso de BIM para el diseño y evaluación de edificios son claras, no solo para su uso en la fase de diseño sino para la adecuada definición de la deconstrucción del edificio en un entorno digital. De este modo, investigadores como Arghavan et al. (2020) destacan el uso de esta tecnología en el estudio de la gestión de residuos, el uso de materiales reciclables o la gestión de la información relativa a las materias primas utilizadas. Sin embargo, los problemas relacionados con la interoperabilidad de la información también dificultan la difusión de esta tecnología en este campo (Muñoz, 2020).

Para ayudar a mejorar el proceso de automatización, investigadores como Llatas et al. (2022) proponen un enfoque sistemático para implementar la automatización en un análisis de ciclos de vida en BIM a través de una estructura de datos armonizada que enriquezca los objetos BIM y la integración de nuevos parámetros en el formato de intercambio Industry Foundation Classes (IFC). De esta manera, es posible visualizar los resultados de la evaluación en tiempo real e identificar la solución más beneficiosa. Es cierto que en muchas ocasiones durante la fase de diseño, hay muchos parámetros que aún no están definidos. Por lo tanto, como señalan Liu et al. (2021), se trata de una fase en la que la información, el conocimiento constructivo y los impactos ambientales, sociales y económicos se tienen en cuenta en términos generales con la ayuda del BIM. A partir de este modelo inicial, pasando por el proceso de simulación, se optimiza el diseño antes de que comience la fase de definición final del proyecto.

Investigadores como Soust et al. (2022) también señalan la falta de información durante la etapa inicial de diseño, ante lo cual proponen el desarrollo de una estructura de datos detallada que suministre los indicadores que aún no están definidos. De esta manera, el proyectista puede comenzar a utilizar información estimada respecto de decisiones aún no tomadas y evaluar las mejoras que producen cambios para los parámetros de interés en esta fase de obra, que generalmente están relacionados con la estructura, el sistema de envolvente y los acabados del edificio. Sin embargo, cuando estos métodos de trabajo quieren ser trasladados a casos complejos, la transferencia de información suele introducir resultados incorrectos (Hollberg et al, 2020).

Por otro lado, existen estudios como el realizado por Sepasgozar et al. (2020), que abogan por la integración de la tecnología BIM y el Internet de las Cosas (IoT) [26] con el fin de evaluar la sostenibilidad en la construcción. De este modo, el modelo virtual BIM desarrollado en la fase de diseño asumirá, en las fases de construcción y mantenimiento, un papel adicional al integrar sensores para la monitorización del comportamiento del edificio.

Todos estos estudios demuestran el valor de integrar BIM en el análisis y evaluación del ciclo de vida de un edificio. Sin embargo, como señalan Olanrewaju et al. (2022), aún existen barreras importantes que dificultan la implementación de BIM en los proyectos de construcción: los costos asociados a la integración de esta tecnología, los plazos requeridos para desarrollar un modelo virtual adecuado, la falta de estándares para su uso y la falta de personal calificado que pueda utilizar esta herramienta de manera efectiva. En cuanto a la falta de estándares, estudios como el de Macías et al. (2010) abogan por la integración de indicadores sostenibles en el diseño de edificios para incidir en la reducción de su impacto ambiental durante su ciclo de vida (Fernández, 2023b).

Por lo tanto, trabajar con un software BIM existente es el primer paso para obtener toda la información necesaria para transferirla a un software de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), capaz de integrarla automáticamente (Lu, et al, 2021).

3. Metodología

Para desarrollar el estudio propuesto, se definen tres pasos:

- Análisis de parámetros ambientales integrados en un modelo BIM a tener en cuenta al realizar un análisis de ciclo de vida (LCA)
- Estudio comparativo de software de Análisis de Ciclo de Vida (LCA). Se analizan diferentes softwares especializados en la materia, con el fin de definir cuáles son los más adecuados para el estudio, según diferentes parámetros: la base de datos utilizada; el archivo de intercambio utilizado; el campo de especialización.
- Desarrollo de un caso de estudio para verificar la interoperabilidad entre el software BIM y el software especializado para el análisis de ciclo de vida elegido, según el estudio comparativo anterior.

Se elige el software BIM Revit (Autodesk) para desarrollar el estudio, dado que: este software permite vincular fácilmente los modelos BIM virtuales desarrollados con otros softwares; con un modelo integrado para el análisis de modelos energéticos; permite exportar información en archivos XLS/CSV/gbXML; Revit es uno de los software BIM más extendidos en el sector de la construcción en España.

3.1 Definición de estudio de caso

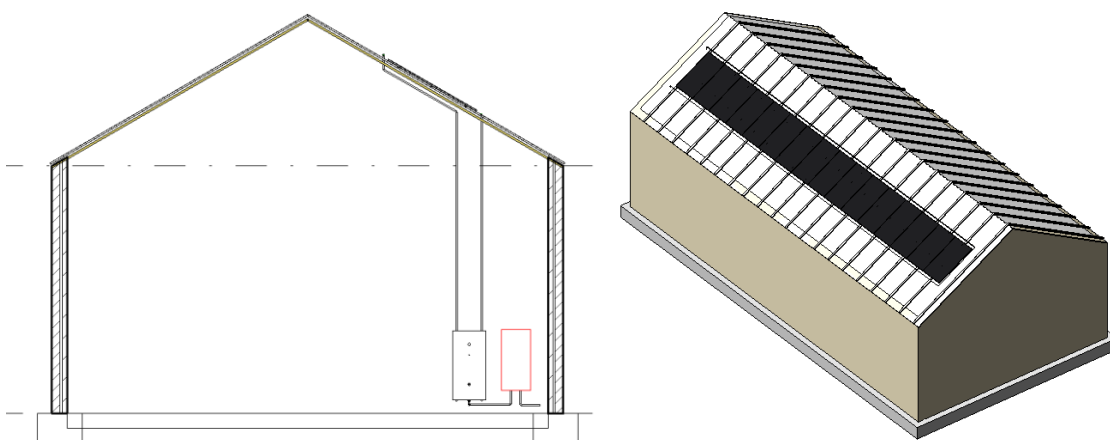
El caso de estudio seleccionado para desarrollar esta investigación es un modelo virtual BIM definido en Revit. Este modelo contiene pocos elementos constructivos para facilitar la transferencia de información entre Revit y diferentes softwares LCA, de forma que se pueda evaluar fácilmente la adecuada interoperabilidad entre ellos y definir fácilmente los cambios necesarios para mejorar el modelo cuando se produce algún error de transferencia.

El modelo BIM utilizado como caso de estudio será una nave industrial de dimensiones 20x10 m (200 m²), compuesta por los siguientes elementos constructivos (Figura 1):

- Envolvente del edificio: Fachada de cerramiento de mampostería de ladrillo, con aislamiento térmico y revestimiento interior de ladrillo, con un espesor de 31 cm.
- Envolvente del edificio: Cubierta de panel sándwich HIANSA, compuesta por chapa y aislamiento térmico, con un espesor de 5 cm.
- Cimentación de zapatas perimetrales de hormigón armado de dimensiones 0,90x0,60x0,60 cm³ y solera de hormigón armado con un espesor de 30 cm.
- Instalación para la producción de agua caliente sanitaria con 16 paneles solares en cubierta (30° de inclinación). Incluye un acumulador de agua caliente de 300 litros.
- Calentador de agua eléctrico para la producción de agua caliente sanitaria para apoyar la instalación de paneles solares.

Cada uno de los elementos constructivos definidos se modelan en Revit 2024, introduciendo en el software sus características geométricas, e incluyendo sus parámetros característicos en la tabla de propiedades de cada tipo de elemento. Cuando el material utilizado es un producto comercial, muchos de los parámetros ya están definidos por el fabricante. Sin embargo, habrá otros parámetros editables para incluir información adicional asociada a cada elemento, incluida su identificación o el código de ensamblado.

Figura 1. Definición geométrica de la nave industrial objeto de estudio. Desarrollado en software BIM Revit 2024



4. Resultados

4.1 Análisis de parámetros ambientales integrados en un modelo BIM

Como se ha señalado previamente, la normativa a que regula el comportamiento ambiental a nivel general se centra en la actualidad en la determinación de la calificación energética. En contexto español, el Ministerio de Industria ha desarrollado una herramienta digital para realizar esta calificación, la denominada Herramienta Unificada Líder-Calener (HULC). HULC es un software pensado para establecer un vínculo con softwares BIM de forma que desde estos se le pueda transferir información. Sin embargo, este proceso requiere actualmente del desarrollo de modelos HULC específicos que tan solo consiguen recuperar la información procedente de BIM como paso inicial para realizar una adaptación a un modelo HULC específico.

En cualquier caso, los resultados obtenidos desde HULC solo contemplan parámetros energéticos, por lo que siguen sin integrarse en el proceso de diseño otras condiciones ambientales que afectan a la vida útil de un edificio. Por ello, nos fijaremos en distintos sellos de certificación de calidad verde que, a nivel internacional, cada vez están más extendidos para ayudar a establecer estrategias dirigidas a mejorar las condiciones de sostenibilidad en los edificios y evaluar, además de la presencia de estándares de eficiencia energética, el uso de energías alternativas, la mejora de la calidad ambiental interior, la eficiencia en el consumo de agua, el desarrollo sostenible de los espacios libres y la selección de materiales resilientes. Por lo tanto, este tipo de certificación supone un avance con respecto a las herramientas descritas anteriormente, ya que afecta no solo a la eficiencia energética de los edificios sino también a su impacto ambiental y al control de sus ciclos de vida de una forma más compleja. El cumplimiento de estos requisitos permite que el edificio obtenga el sello de calidad solicitado, que lo certifica como edificio verde, promoviendo la mejora en el impacto ambiental de la industria de la construcción.

Entre estos sellos verdes destaca la certificación Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), creada en 1993 por el Green Building Council de los Estados Unidos. El objetivo principal de esta certificación es promover estrategias que faciliten la mejora global del impacto ambiental de la industria de la construcción a través de la evaluación de ocho

criterios: sitios sostenibles, uso eficiente del agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, calidad del ambiente interior, ubicación y transporte, prioridad regional e innovación.

Otro de los sellos de certificación existentes es WELL, desarrollado por el International Well Building Institute (IWBI), que se centra en la salud y el confort de los ocupantes de un edificio. En este caso, se evalúan diez conceptos: aire, agua, alimentación, iluminación, movimiento, confort térmico, sonido, materiales, mente y comunidad.

Por otro lado, encontramos la certificación Passivhaus, dirigida a reconocer oficialmente las cualidades de bajo consumo energético en los edificios. Tiene su origen en el Instituto Passivhaus de Darmstadt, Alemania, en la década de 1990. Su objetivo es conseguir el máximo confort para los usuarios, mejorar la calidad del aire interior y reducir el consumo energético, lo que supone reducir las demandas energéticas del edificio durante su vida útil. Para ello, los conceptos que tiene en cuenta este sello son el método de aislamiento térmico, la limitación del puente térmico, el uso de carpintería de altas prestaciones, la hermeticidad, y el uso de ventilación mecánica con recuperación de calor. Además de estos criterios básicos, se tienen en cuenta otros factores, como la protección solar exterior, la ventilación natural y la inercia térmica, el equipamiento y la iluminación eficiente, y las facilidades de calefacción y refrigeración.

Por último, nos centraremos en el Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), un sistema de evaluación de la sostenibilidad en proyectos de construcción desarrollado por el Building Research Establishment (BRE) en la década de 1990 y adaptado a las normas locales españolas en 2009. La evaluación BREEAM se centra en diez categorías, que son la gestión, la mejora en términos de salud y bienestar, la eficiencia energética, el transporte, el ahorro de agua, los materiales, la gestión de residuos, el uso ecológico del suelo, la contaminación y la innovación.

Cabe destacar que todos estos sellos utilizan objetivos y procedimientos similares para llevar a cabo sus evaluaciones ambientales. Sin embargo, este estudio se centra en los estándares definidos por los sellos LEED/BREEAM, ya que son los que más se integran en las evaluaciones de ciclo de vida.

De esta forma, además de cuestiones energéticas, los sellos verdes internacionales tienen en cuenta cuestiones de confort a lo largo de la vida útil del edificio, el uso de medios de transporte no contaminantes, el consumo eficiente de agua en el edificio, el uso de materiales duraderos, la gestión de residuos en el edificio o las emisiones producidas por el edificio, entre otros. Todas estas cuestiones, ya sea como información geométrica o como datos, pueden integrarse en el modelo virtual BIM, y por tanto ser consideradas en el desarrollo del análisis de ciclo de vida que se lleva a cabo en la fase de diseño.

4.2 Comparativo de software de Análisis de Ciclo de Vida (LCA)

En línea con los parámetros evaluados por los sellos verdes, existen numerosos softwares dirigidos al análisis de las condiciones del ciclo de vida, tanto en el mundo de la industria como de la construcción. Estos softwares tratan de automatizar el análisis de la situación ambiental de los edificios en las diferentes fases de su ciclo de vida, desde la extracción de materiales hasta su reciclaje (Alecrim et al, 2020). Para realizar un estudio comparativo entre softwares y definir cuáles pueden integrar mejor el trabajo con modelos BIM, hay dos cuestiones fundamentales a tener en cuenta: la base de datos utilizada por el software de análisis de ciclo de vida; el archivo de intercambio utilizado por el software para transferir la información. Además, el campo de especialización del software será un tema importante a analizar.

Bases de datos en software de ACV

Un aspecto fundamental para asegurar la fiabilidad de los resultados que proporciona un software de análisis de ciclo de vida es su base de datos. Las bases de datos utilizadas por este tipo de software recogen numerosos tipos de materiales, y los relacionan con sus propiedades ambientales y energéticas, introduciendo parámetros para simular su comportamiento en el proceso constructivo y su vida útil. Por lo tanto, la base de datos utilizada por el software de análisis de ciclo de vida seleccionado debe ser lo suficientemente extensa y contrastada como para garantizar resultados fiables.

Al analizar las bases de datos disponibles se pueden identificar dos grandes grupos: las que tiene un carácter general y atienden principalmente a contextos académicos; las bases de datos propias, desarrolladas para sectores específicos.

Dentro del grupo de las bases de datos genéricas señalaremos que incluyen un gran volumen de datos categorizados en diversas áreas (materiales, energía, transporte, transformaciones y procesos productivos, gestión y tratamiento de residuos, etc.) aptas para su integración en cualquier contexto analítico (Picardo, et al, 2023). Por ello, nos centraremos en softwares de evaluación del ciclo de vida (LCA) con bases de datos genéricas, como Ecoinvent, una organización sin fines de lucro que proporciona una base de datos de inventario de ciclo de vida consistente y transparente para productos y procesos en todo el mundo. Ecoinvent es una de las bases de datos más reconocidas debido a la calidad de sus datos, que incluyen materiales de construcción, productos químicos, electricidad, metales, transporte, tratamiento de residuos, entre otros.

Entrada de datos en el software LCA

Existen diferentes tipos de datos necesarios para el desarrollo del análisis de ciclo de vida:

- Tipo de material utilizado para la construcción del edificio.
- Cantidad de material utilizado, de cada uno de los integrados en el edificio.
- Proceso de fabricación o construcción asociado al material seleccionado.
- Consumo de otros recursos (energía, agua, etc.)

Esta información debe ser considerada en las diferentes fases del análisis:

- Fase de construcción del edificio
- Fase de uso y mantenimiento del edificio
- Fin de la vida útil del edificio (demolición/reutilización)

Todos estos datos se pueden integrar en la base de datos tridimensional asociada a un modelo virtual BIM, ya que se puede cuantificar cada uno de sus componentes geométricos y definir el tipo de material, así como el proceso de fabricación y la información sobre el consumo de recursos, que está vinculada a la definición de sus instalaciones mecánicas, eléctricas o de suministro de agua.

Toda esta información se puede exportar desde Revit en archivos XLS/CSV/gbXML. Por lo tanto, será el archivo de intercambio que el software LCA debe admitir.

Categorización del software LCA en relación con el software BIM

Una vez definidas las características de la base de datos de un software de LCA, y los datos necesarios para el desarrollo de las evaluaciones de ciclo de vida, el estudio analiza diferentes softwares de ACV con el fin de definir cuáles de ellos se adaptan mejor a un proceso de transferencia de información desde un modelo virtual BIM con el fin de automatizar esta tarea.

Por lo tanto, los parámetros considerados para comparar diferentes softwares son: la fiabilidad de la base de datos utilizada por el software LCA; el fichero de intercambio de información

soportado por el software LCA en relación con el software BIM; el alcance del software LCA y ámbito de aplicación, vinculado al sector de la construcción. Así, un aspecto importante a tener en cuenta para seleccionar un software LCA adecuado para este estudio es que permita la certificación según los sellos de calidad LEED o BREEAM. Por último, también se considerará el uso gratuito o comercial del software.

A partir de estos parámetros, en la Tabla 1 se muestra la clasificación de los diferentes softwares de análisis del ciclo de vida analizados en este estudio (Picardo et al, 2023).

Tabla 1. Categorización del software LCA en relación con su interoperabilidad BIM

Software	Acceso	Base de datos	Archivo de intercambio	Alcance	Certificación
SIMAPRO	Comercial	Ecoinvent	XLS/CSV	General	-
Gabi	Comercial	Ecoinvent	XLS/CSV	General	-
UMBERTO	Comercial	Ecoinvent	XLS/CSV	General	-
OneClick LCA	Comercial	Ecoinvent	XLS/CSV/ gbXML	Construcción	BREEAM /LEED
Athena Impact Estimator	Libre	Ecoinvent	XLS/CSV/ gbXML	Construcción	LEED
CO2NSTRUCT	Libre		XLS/CSV	Construcción	-
GREENROADS	Libre		XLS/CSV	Construcción	-

Atendiendo a los parámetros comparados, SIMAPRO, Gabi o UMBERTO no se consideran softwares totalmente especializados en el sector de la construcción, a pesar de ser softwares LCA ampliamente utilizados en diferentes ámbitos. Además, aunque estos tres softwares admiten el intercambio de archivos XLS y CSV, las pruebas realizadas para importar datos del modelo BIM no han arrojado resultados positivos. Por lo tanto, se necesita un mecanismo intermedio de conversión de datos para transferir los datos del modelo BIM a estos softwares.

El resto de softwares de LCA analizados si presentan algún grado de especialización en el sector de la construcción. Sin embargo, CO2NSTRUCT y GREENROADS, no cuentan con acceso a la base de datos de Ecoinvent. Por otro lado, One Click LCA y Athena Impact Estimator permiten obtener la certificación verde LEED o BREEAM. Además, además de XLS y CSV presentan un archivo de intercambio gbXML, un formato de intercambio específico para softwares BIM.

Centrándonos en estos dos softwares, se pueden destacar algunos puntos. Athena es una herramienta notable para la evaluación de edificios. Ofrece un acceso gratuito, aunque su campo de acción se limita a Estados Unidos y Canadá. One Click LCA, es un software menos extendido. Ofrece una licencia comercial y licencias temporales gratuitas que, a diferencia de la comercial, no utilizan la base de datos Ecoinvent. Sin embargo, se presenta como el software LCA que mejor integra los datos BIM.

Por lo tanto, para definir el software LCA más adecuado, la información del caso de estudio BIM definido se prueba en estos dos softwares: One Click LCA y Athena Impact Estimator for Buildings.

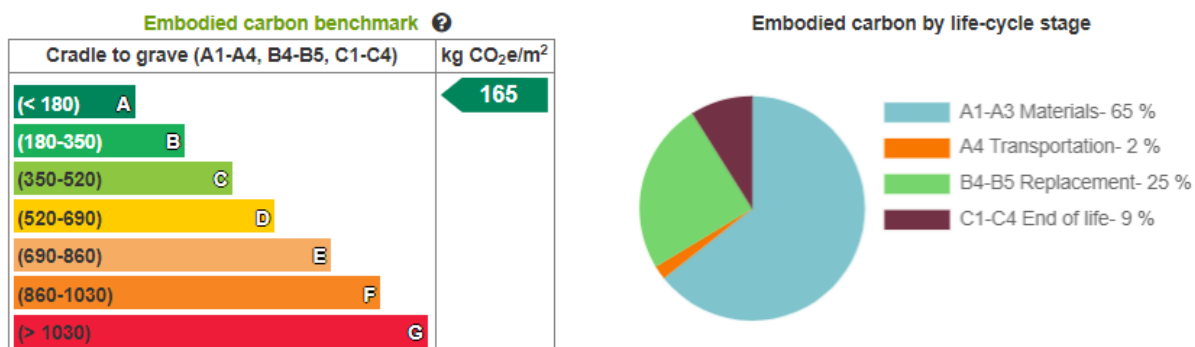
4.3 Interoperabilidad entre el caso de estudio BIM y el software de análisis de ciclo de vida (LCA)

Interoperabilidad entre Revit y One Click LCA

A partir del modelo de Revit utilizado como caso de estudio, los datos sobre los diferentes elementos constructivos definidos en el modelo virtual BIM se exportan en un fichero gbXML. Este archivo de intercambio se importa en el software One Click LCA, utilizando una licencia gratuita temporal con su propia base de datos diferente a la de Ecoinvent.

Una vez importados los datos en One Click LCA, la información se integra directamente en el software, obteniendo los resultados que se muestran en la Figura 2.

Figura 2. Resultados gráficos del Análisis de Ciclo de Vida desarrollados a través del software One Click LCA. Carbono incorporado por etapa del ciclo de vida.



Interoperabilidad entre Revit y Athena Impact Stimator para edificios

Al igual que en el caso anterior, los datos proporcionados por el modelo BIM de Revit se exportan en un archivo gbXML para importarlos al software Athena Impact Stimator for Buildings. Este software presenta una versión gratuita (v5.4.) que incluye la base de datos Ecoinvent.

Cuando este archivo se importa en el entorno de Athena, se requiere información sobre qué datos deben incluirse en el modelo de ACV. De este modo, existe un mayor control sobre los datos transferidos. Por lo tanto, se solicitan cuatro categorías de datos: nombre del material, incluido en el modelo virtual BIM; cantidad de material, obtenida a partir del modelo BIM basado en la cuantificación de cada uno de los materiales utilizados; unidad de medida, también incluida en el modelo BIM; tipo de aportación de material, asociado a la descripción del conjunto definido en el modelo BIM.

De esta forma, se mapean las filas y columnas que se van a incorporar al modelo ACV. Para automatizar este proceso, el nombre de cada material debe asociarse al material disponible en la base de datos Ecoinvent. Por lo tanto, si el nombre del material está incluido en el modelo virtual BIM, la información se transferirá automáticamente. Sin embargo, si estos dos nombres no coinciden, el proceso de transferencia de datos debe desarrollarse manualmente.

También se debe mapear el tipo de contribución del material, siguiendo el mismo proceso. Si el tipo de contribución del material definido en Athena coincide con el código de ensamblaje definido en el modelo virtual de Revit, esta información se transferirá automáticamente al modelo LCA. Por lo tanto, utilizar los códigos de la base de datos Ecoinvent a la hora de desarrollar el modelo virtual BIM contribuirá a la transferencia automática de información, mejorando la interoperabilidad entre datos.

Una vez mapeados todos los datos proporcionados por el modelo virtual BIM (figura 3), el modelo LCA se genera automáticamente en Athena. Por lo tanto, se puede iniciar el proceso de simulación con el fin de obtener resultados sobre el análisis del ciclo de vida del caso de estudio.

Figura 3. Mapeo de datos proporcionado por el modelo virtual Revit con el fin de incluirlo en el desarrollo de evaluaciones de ciclo de vida.

Status: Please map the Material Contribution Type for the imported Bill of Materials data rows.

Step 1: Load a File | Step 2: Map the Columns | Step 3: Map the Rows | **Step 4: Map Material Contribution Types** | Summary | 100 % Complete

Imported Bill of Materials Data Material Contribution Type Mapping

% Complete: 100 %

Status Flag	Skip Flag	Line #	Row Type	Material Name	Quantity	UOM	Material ID	Material Name	Net Quantity	UOM Name
✓	☑	001	HEADER	Material name	Quantity	Unit of Me...				
✓	☐	002	DATA	Panel Cubiert...	200,00	m2	308	MBS Metal R...	200,00	m2

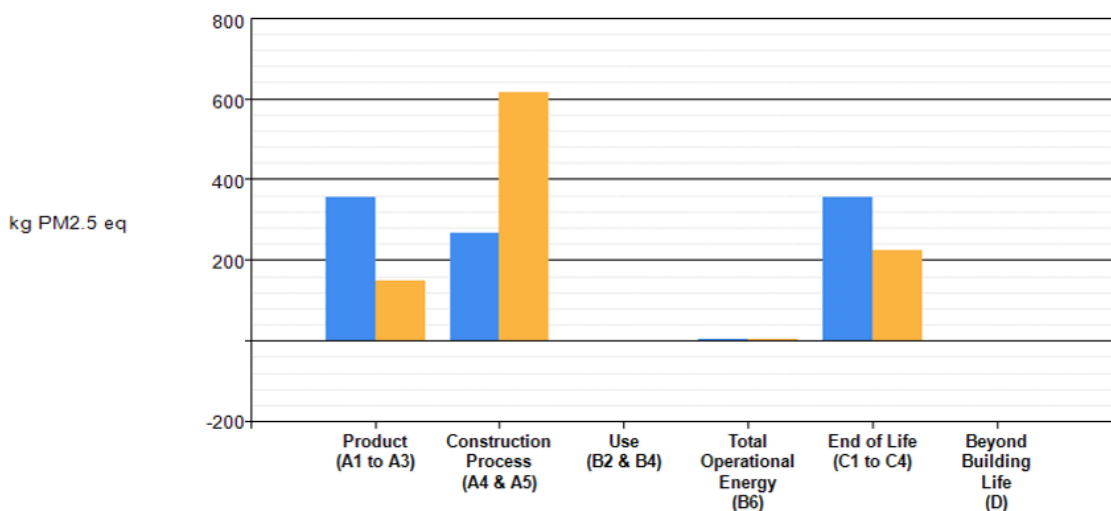
Athena Impact Estimator for Buildings

File Edit Reports Tools Window Help

Copy Paste Add Modify Duplicate Delete Previous Next

- Impact Estimator for Buildings
 - Prueba importación datos cubierta (100% of Fossil Fuel Consumption)
 - Roofs (100%)
 - Prueba importación datos cubierta-Roof Extra Materials (100%)
 - Foundations (100%)
 - Prueba importación datos cubierta-Foundation Extra Materials (100%)
 - Walls
 - Prueba importación datos cubierta-Wall Extra Materials (100%)
 - Project Extra Materials
 - Prueba importación datos cubierta-Project Extra Materials (100%)

Figura 4. . Resultados gráficos del Análisis de Ciclo de Vida desarrollados a través del software Athena Impact Stimator. Partículas asociadas a las distintas etapas del ciclo de vida



De esta forma, la figura 4 recoge los principales resultados arrojados por el análisis de ciclo de vida realizado mediante los datos BIM importados en el software Athena Impact Stimator. Si comparamos estos datos con los obtenidos a partir de la importación de datos en One Click LCA podemos observar que, no se presentan bajo las mismas categorías, por lo que no resulta inmediato realizar comparación de resultados entre aplicaciones. No obstante, puede estimarse que en ambos casos las fases de construcción y producción, asociadas al uso de materiales y su transporte, son las que más peso tienen en el análisis de ciclo de vida, frente a la de fin de vida, que en ambos casos tiene menor peso. En cualquier caso, no es objeto del estudio realizar una comparación entre los resultados obtenidos por ambas aplicaciones, sino determinar qué software integra de manera más efectiva la información obtenida de un modelo BIM.

5. Conclusiones

El estudio tiene como objetivo definir qué software especializado en Análisis de Ciclo de Vida (ACV) integra de forma más efectiva la información obtenida de un modelo BIM en la fase de diseño. Así, podemos extraer las principales conclusiones:

- Aunque herramientas comerciales como SimaPro o Gabi cuentan con bases de datos complejas y ofrecen resultados precisos, su alcance no se centra en el sector de la construcción. Por lo tanto, estas herramientas no integran directamente la información proporcionada por un modelo virtual BIM.
- Herramientas como One Click LCA o Athena Impact Stimator for Buildings ofrecen una solución más especializada para las evaluaciones vinculadas al sector de la construcción. Además, estos dos softwares pueden integrar la información proporcionada por un modelo virtual BIM de una manera más específica, utilizando el archivo de intercambio gbXML.
- El caso de estudio probado con One Click LCA muestra que este software integra la información de un modelo BIM de forma inmediata. Mientras tanto, Athena requiere mapear los datos incorporados en el modelo LCA, a pesar de que los datos se integran automáticamente. Por lo tanto, allí se controlan los datos transferidos.
- En ambos casos, se debe tener en cuenta la base de datos LCA a la hora de introducir los datos en el modelo BIM, con el fin de transferir el nombre o tipo de aportación de los materiales utilizados de forma automática.
- Además, Athena es un software gratuito vinculado a una base de datos de Ecoinvent, mientras que One Click LCA requiere una versión comercial del software para integrar la base de datos de Ecoinvent. La versión gratuita de One Click LCA utiliza su propia base de datos. Por lo tanto, los resultados obtenidos son menos fiables.

Finalmente, podemos señalar que Athena Impact Estimator for Buildings es el software de LCA más adecuado para integrar la información proporcionada por un modelo virtual BIM en función del control que proporciona su proceso automatizado de transferencia de información, así como de la fiabilidad de los resultados proporcionados. De esta forma, podemos concluir que el uso de esta herramienta integrada en el diseño de edificios en entorno BIM contribuirá a la incorporación de estándares sostenibles que faciliten el desarrollo de Análisis de Ciclo de Vida para reducir la huella ecológica de la edificación resultante. No obstante, se han detectado algunas limitaciones en el uso de la herramienta, entre otros su alcance, centrado en Estados Unidos y Canadá. Además, el caso de estudio definido cuenta con pocos elementos, por lo que se debe profundizar en la aplicación de este método a un caso de estudio más complejo, con el fin de comprobar cómo afecta al proceso de automatización de la transferencia de datos entre el software BIM y el LCA. A su vez, como línea futura de trabajo, se debe profundizar en el análisis de los resultados alcanzados al automatizar la importación de datos procedentes de un modelo BIM, elaborando modelos equivalentes de forma manual

que permitan establecer comparaciones de comportamiento para calibrar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

6. Referencias

- Akbarieh, A., Jayasinghe, L. B., Waldmann, D., & Teferle, F. N. (2020). BIM-based end-of-lifecycle decision making and digital deconstruction: Literature review. *Sustainability*, 12(7), 2670.
- Alecrim, I., Carvalho, J. P., Bragança, L., & Mateus, R. (2020, May). Using BIM for assessing buildings life cycle impacts. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 503, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- Arayici, Y., & Aouad, G. (2010). Building information modelling (BIM) for construction lifecycle management. *Construction and Building: Design, Materials, and Techniques*, 2010, 99-118.
- Carvalho, J. P., Alecrim, I., Bragança, L., & Mateus, R. (2020). Integrating BIM-based LCA and building sustainability assessment. *Sustainability*, 12(18), 7468.
- Fernández Rodríguez, J. F. (2023a). Implementation of BIM virtual models in industry for the graphical coordination of engineering and architecture projects. *Buildings*, 13(3), 743.
- Fernández Rodríguez J. F. (2023b). Sustainable design protocol in BIM environments: Case study of 3D virtual models of a building in Seville (Spain) based on BREEAM method. *Sustainability*, 15(7), 5787.
- Gámez, F. C., Sánchez, H., & Severino, M. J. S. (2018). Definición de roles y responsabilidades en el ciclo de vida del proyecto BIM en el proceso constructivo. *Spanish Journal of Building Information Modeling*, (18), 14-24.
- Hollberg, A., Genova, G., & Habert, G. (2020). Evaluation of BIM-based LCA results for building design. *Automation in construction*, 109, 102972.
- Li, H., Zhang, J., Chang, S., & Sparkling, A. (2023). BIM-based object mapping using invariant signatures of AEC objects. *Automation in Construction*, 145, 104616.
- Liu, Z., Chi, Z., Osmani, M., & Demian, P. (2021). Blockchain and building information management (BIM) for sustainable building development within the context of smart cities. *Sustainability*, 13(4), 2090.
- LLatas, C., Soust-Verdaguer, B., Hollberg, A., Palumbo, E., & Quinones, R. (2022). BIM-based LCSA application in early design stages using IFC. *Automation in Construction*, 138, 104259.
- Lu, K., Jiang, X., Yu, J., Tam, V. W., & Skitmore, M. (2021). Integration of life cycle assessment and life cycle cost using building information modeling: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125438.
- Macías M.; Navarro, J.G. Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios. *Inf. Constr.* 2010, 62, 87–100.
- Macías, M., & Navarro, J. G. (2010). Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios. *Informes de la Construcción*, 62(517), 87-100.
- Olanrewaju, O. I., Kineber, A. F., Chileshe, N., & Edwards, D. J. (2022). Modelling the relationship between Building Information Modelling (BIM) implementation barriers, usage and awareness on building project lifecycle. *Building and Environment*, 207, 108556.
- Oliver Faubel, I. (2016). *Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación. Diseño de una propuesta* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).

Picardo, A., Soltero, V. M., & Peralta, E. (2023). Life Cycle Assessment of Sustainable Road Networks: Current State and Future Directions. *Buildings*, 13(10), 2648.

Potrč Obrecht, T., Röck, M., Hoxha, E., & Passer, A. (2020). BIM and LCA integration: A systematic literature review. *Sustainability*, 12(14), 5534.

Ringel, G., & Capeluto, I. G. (2020). An energetic profile for greener buildings. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102171.4

Sepasgozar, S. M., Hui, F. K. P., Shirowzhan, S., Foroozanfar, M., Yang, L., & Aye, L. (2020). Lean practices using building information modeling (Bim) and digital twinning for sustainable construction. *Sustainability*, 13(1), 161.

Singh, P., Singh, S., Kumar, G., & Baweja, P. (Eds.). (2021). *Energy: crises, challenges and solutions*. John Wiley & Sons.

Soust-Verdaguer, B., Galeana, I. B., Llatas, C., Montes, M. V., Hoxha, E., & Passer, A. (2022). How to conduct consistent environmental, economic, and social assessment during the building design process. A BIM-based Life Cycle Sustainability Assessment method. *Journal of Building Engineering*, 45, 103516.

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

