

PROJECT, DESIGN AND MANAGEMENT

<https://www.mlsjournals.com/Project-Design-Management>

ISSN: 2683-1597



Cómo citar este artículo:

Pereira Da Silva, M., Argôlo Donegá, A., & Marques Carvalho, M. T. (2023). Systematic review of current academic production of the concepts of BIM, thermal performance, energy efficiency and sustainability. *Project, Design and Management*, 5(1), 171-191. doi: 10.35992/pdm.5vi1.1352.

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA PRODUCCIÓN ACADÉMICA ACTUAL DE LOS CONCEPTOS DE BIM, RENDIMIENTO TÉRMICO, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD

Matheus Pereira Da Silva

Universidade de Brasilia (Brasil)

matheuslv2012@gmail.com · <https://orcid.org/0000-0002-3754-5747>

Alyria Argôlo Donegá

Universidade de Brasilia (Brasil)

alyria.donega@gmail.com · <https://orcid.org/0000-0001-7546-8474>

Michele Tereza Marques Carvalho

Universidade de Brasilia (Brasil)

micheletereza@unb.br · <https://orcid.org/0000-0001-7969-9341>

Resumen. El objetivo de este artículo es debatir las aplicaciones actuales de los modelos de información de edificios junto con el rendimiento térmico, la eficiencia energética y la sostenibilidad. Propone una matriz integradora de conceptos, que contiene información sobre las aplicaciones prácticas de los trabajos de alto impacto dentro del conocimiento académico, exponiendo el debate a otras partes interesadas, como constructores, estudiantes y gestores. Con la matriz integrada, el estudio pretende presentar una síntesis del estado del arte en términos de BIM aplicado, junto con la eficiencia energética y térmica y la sostenibilidad, que puede ayudar a los profesionales de BIM en el desarrollo de aplicaciones BIM en el contexto presentado. En este trabajo se realizará una revisión crítica de la literatura existente, utilizando la base de conocimiento de la web de ciencia, analizando los trabajos publicados entre 2018 y 2021, con mayor factor de impacto. Esta investigación se centra en trabajos que realizan aplicaciones prácticas de herramientas BIM para llevar a cabo análisis de rendimiento térmico y eficiencia energética, presentando el factor de sostenibilidad como tema de debate. Después de la revisión sistemática, se seleccionan los trabajos para componer la matriz integrada se analizó en la búsqueda de aclarar sus aplicaciones prácticas. Tras seleccionar 29 (20% de los más relevantes) artículos académicos de alto impacto, se esquematizaron en una matriz integrada que resume el debate sobre las aplicaciones de cada artículo. El documento proporciona datos cualitativos sobre las aplicaciones actuales de BIM, resumiendo las aplicaciones de mayor impacto en una matriz integrada, lo que permite a los profesionales y académicos de BIM utilizar estos resultados para encontrar nuevas aplicaciones, autores, debates y datos de forma más eficiente.

Palabras clave: BIM, rendimiento térmico, eficiencia energética, sostenibilidad.

SYSTEMATIC REVIEW OF CURRENT ACADEMIC PRODUCTION OF THE CONCEPTS OF BIM, THERMAL PERFORMANCE, ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY

Abstract. This paper aims to discuss the current applications of Building Information Modelling along with Thermal Performance, Energy Efficiency, and Sustainability. It proposes one integrative matrix of concepts, containing information about the practical applications of high-impact papers within the academic knowledge, exposing the discussion to other stakeholders such as constructors, students, and managers. With the integrated matrix the study aims to present a state-of-the-art synthesis in terms of BIM applied, along with energy and thermal efficiency and sustainability, which may aid BIM practitioners in developing BIM applications in the context presented. This paper will perform a critical review of the existing literature, using the science web knowledge base, analysing works published between 2018 and 2021, with a higher impact factor. This research has a focus on works that perform practical applications of BIM tools to perform thermal performance and energy efficiency analysis, presenting the sustainability factor as a topic of discussion. After the systematic review, the works are selected to compound the integrated matrix was analyzed in pursuance of clarify its practical applications. After selecting 29 (20% of the most relevant) high-impact academic papers, they were schematized in an integrated matrix that summarizes the discussion about the applications of each paper. The paper provides qualitative data about the current applications of BIM, summarizing high-impact applications into an integrated matrix, allowing BIM practitioners and academics to use these results to find new applications, authors, discussions, and data more efficiently.

Keywords: BIM, thermal performance, energy efficiency, sustainability.

Introducción

Los edificios orientados a la sostenibilidad han integrado la flexibilidad del diseño como uno de los aspectos clave del diseño (Cavallieri, Dell'osso, et al., 2019). Los edificios sanos están directamente relacionados con la seguridad y la salud de sus usuarios. La evaluación de edificios en este contexto ha crecido a lo largo de los años (Ding, Niu, et al., 2020). Las decisiones basadas en la sostenibilidad, el mantenimiento a tiempo y las operaciones ocupacionales a tiempo representan tres formas de reducir el consumo de energía (Ghaffarianhoseini, Zhang, et al., 2017).

La eficiencia energética no solo está relacionada con la reducción del consumo de energía, sino que también incluye el mantenimiento del confort del edificio-usuario (Ghaffarianhoseini, Zhang, et al., 2017). Se recomienda reducir el consumo energético del edificio para reducir los costes operativos de mantenimiento del edificio, aumentar su rendimiento económico, reducir el impacto medioambiental y aumentar la sostenibilidad de toda la cadena, teniendo en cuenta la reducción del consumo. (Ding, Niu, et al., 2020).

En el contexto del consumo de recursos naturales y BIM, surgen los estudios de rendimiento térmico y eficiencia energética de los edificios, que sugieren que se puede mejorar el rendimiento térmico y energético de los edificios mediante simulaciones integradas en BIM, centrándose en la reducción del consumo eléctrico. El presente trabajo se inserta en la investigación bibliográfica sobre estudios recientes, clasificados en los últimos 5 años, según su relevancia, para reconocer cómo se ha abordado la tecnología BIM cuando se relaciona con las cuestiones de rendimiento térmico y eficiencia energética.

El consumo energético posterior a la ocupación representa la mayor proporción del consumo energético de un edificio, y el comportamiento de los usuarios es un factor clave en el estudio de evaluación de la rehabilitación (Ghaffarianhoseini, Zhang, et al., 2017). El consumo de energía es uno de los grandes agentes de impacto ambiental, y la aplicación de la

simulación se ha presentado como una herramienta útil para el diseño sostenible (Li, Ma, et al., 2020). Cada edificio tiene un rendimiento térmico y contribuciones al consumo de energía diferentes, y la implementación de sistemas de generación de energía renovable no siempre será sostenible, teniendo en cuenta la importancia de las simulaciones relativas al rendimiento térmico y energético de los edificios (Yi, Braham, et al., 2017).

Sin embargo, se identifican barreras para la integración de los programas de simulación con BIM, ya que se produce una pérdida de información en el proceso de interoperabilidad entre las herramientas (Li, Ma, et al., 2020). El problema de la interoperabilidad ha sido abordado por los distintos promotores de programas y organismos públicos de investigación (Montiel-Santiago et al., 2020). Se considera que, en función de los problemas relacionados con la interoperabilidad que se hayan minimizado, se tenderá a obtener modelos y simulaciones energéticas cada vez más precisos (Utkucu y Sözer, 2020).

En términos de rendimiento térmico, la reducción del consumo de energía mediante la reducción de los sistemas de consumo de aire acondicionado en los edificios es susceptible de aplicación. El uso del aire acondicionado está directamente relacionado con la reducción de la humedad ambiental, además de registrar mayor satisfacción y menor impacto ambiental por parte de los usuarios en los casos de sistemas híbridos de ventilación y acondicionamiento (De Oliveira Et Al., 2021). Los estudios muestran el potencial del uso de un sistema de acondicionamiento no mecánico en el confort térmico que sienten los usuarios y se presenta como una solución más sostenible (Yi, 2018).

La elección de sistemas constructivos de bajo coste y bajo rendimiento térmico es una fuente de aumento del consumo energético, en contraste con el hecho de que los mejores sistemas constructivos suelen presentar una reducción de los costes de explotación (González Mahecha, Rosse Caldas, Et Al., 2020). En otras palabras, el uso de grandes envolventes en un edificio puede aumentar el ciclo de vida de la energía en términos de uso/coste de un edificio en más del 50%, reduciendo el impacto ambiental hasta 3 veces - incluyendo el impacto a la transmisión de calor de los materiales al medio (Najjar, Figueiredo, et al., 2019). En algunos casos, la rehabilitación de fachadas se presenta como el mayor potencial para reducir el consumo de energía al disminuir la demanda de sistemas mecánicos, un sector en el que existe una mayor necesidad de tecnologías destinadas a aumentar el rendimiento de los materiales de las fachadas (Alkhatib, Lemarchand, et al., 2021).

Método

Los métodos adoptados para el desarrollo de este trabajo se basaron en tres pasos principales, como se ve en la Figura 1. El primero es el estudio de los artículos publicados actualmente en el campo de Building Information Modelling, Energy Efficiency, and Sustainability, seleccionando los artículos publicados entre 2017 y 2021 en la plataforma Web of Science.

Debido al importante número de artículos publicados sobre BIM, se aplicaron algunos filtros, utilizándose sobre todo operadores booleanos y palabras clave con el fin de encontrar la investigación más adecuada en relación con un tema.

La definición de las palabras clave se realizó tras determinar el problema y la laguna de conocimiento que este documento pretende investigar, asociando las palabras Building Information Modelling, Energy Efficiency y Sustainability.

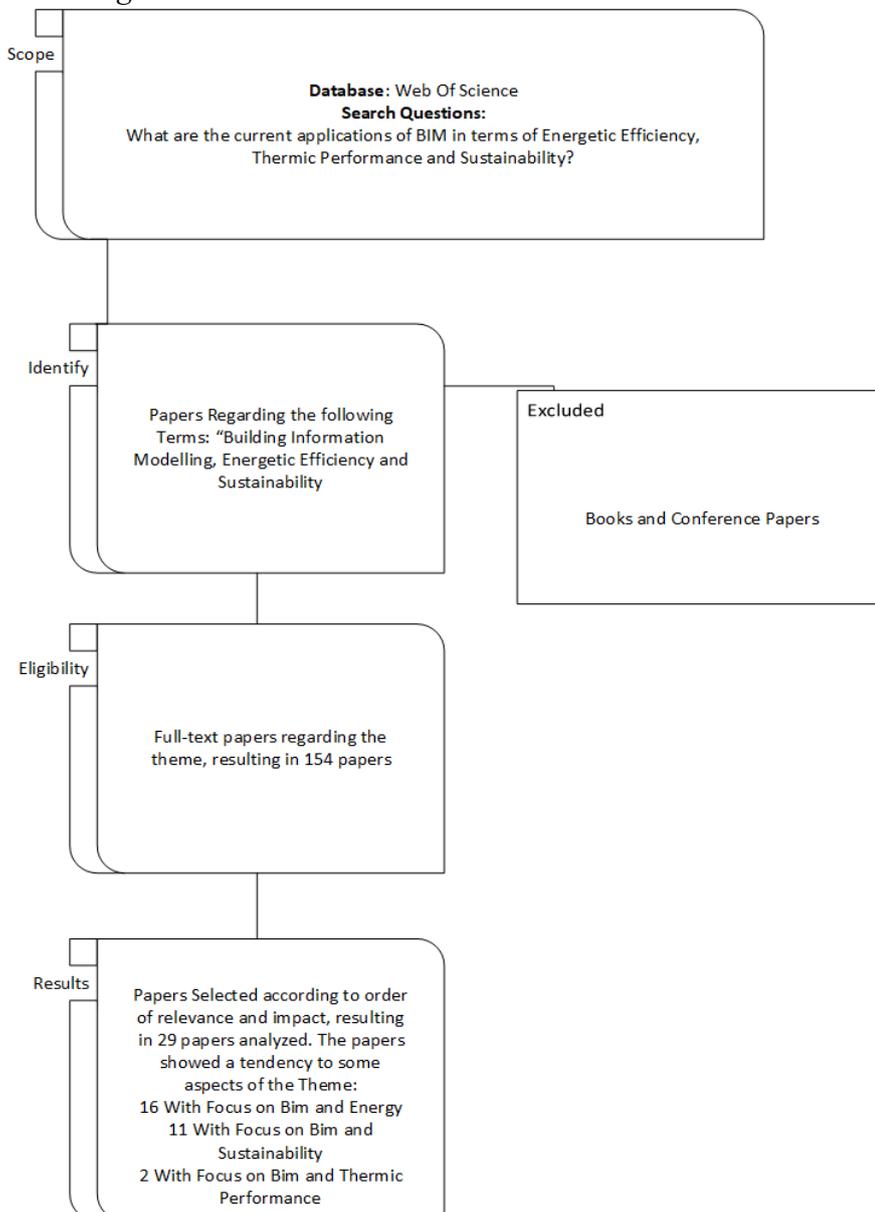
Mecanismos de búsqueda

Para definir los artículos más relevantes que abordan conjuntamente los temas de Building Information Modeling, Eficiencia Energética y Sostenibilidad, se llevó a cabo una exploración bibliográfica utilizando un algoritmo de búsqueda denominado "cadena" para filtrar las publicaciones en la plataforma Web Of Science; la cadena adoptada: TS (Building Information Modelling) AND TS (Energy Performance) AND TS (Sustainability).

La investigación dio lugar a un total de 154 publicaciones, en su mayoría artículos de gran impacto en revistas relevantes. Entre estos 154, se seleccionan un total de 29 artículos según un orden creciente de impacto, de acuerdo con la lógica de Pareto, de la cuota representativa suficiente, siendo el 20% una cantidad significativa de trabajos, capaces de representar de forma coherente los conceptos y el desarrollo de los trabajos publicados en la actualidad.

Figura 1

Marco de investigación



Análisis de The Papers

Una vez seleccionados, los trabajos se analizan individualmente, lo que permite definir la síntesis de cada artículo, con breves respuestas a las preguntas: (I), ¿Presenta el documento una mejora sostenible junto con BIM? y (II), ¿Presenta el documento un marco para la aplicación de BIM?

Los resultados relativos a estas dos preguntas permiten identificar y caracterizar el contenido y el enfoque de los trabajos actuales sobre el tema.

Análisis de agrupaciones y datos bibliométricos

Aunque este documento no pretende presentar exclusivamente una revisión sistemática de los temas de BIM, Eficiencia Energética y Sostenibilidad para introducir el estado actual de la técnica en este campo, la información bibliométrica se presenta y discute en la siguiente sesión, en grupos de palabras clave para la cadena adoptada.

Matriz de aplicaciones

El resultado de la investigación es una matriz que traduce los resultados y los sintetiza en los conceptos clave de los artículos más relevantes para permitir una revisión esclarecedora del estado del arte de la investigación en Building Information Modelling aplicada a la mejora de la Eficiencia Energética y la Sostenibilidad. Para demostrar un resultado completo e integrado, se presentan tres matrices.

La Matriz de Clasificación aporta un Índice y retoma la aplicación práctica del BIM presentada en el documento. La Matriz Integrada está relacionada con la asociación de las problemáticas más comunes presentadas en los 29 trabajos, relativas a Sostenibilidad, Rendimiento Térmico y Eficiencia Energética, a las prácticas más comunes adoptadas dentro de BIM para presentar una solución a dichos problemas.

La Matriz de Discusiones resume la relación entre el problema presentado en cada artículo y cómo se aplicó BIM para resolver esos problemas, para aportar una contribución en términos de permitir a los estudiantes y profesionales de BIM encontrar referencias que presenten una solución dentro de BIM a las diversas dificultades en la adopción de criterios verdes.

Resultados

Datos bibliométricos

El año más relevante de publicación fue 2019, con 45 trabajos publicados, mientras que 2017 fue el año con menos trabajos publicados. Dado que 2021 es el año actual de los datos de publicación de este documento, la mayoría de los artículos aún se están publicando. Los años anteriores a 2019 presentaron una media luna en el número de trabajos publicados hasta 2020, donde el total de trabajos publicados se redujo severamente como muestran la Figura 2 y la Figura 3, lo que puede haber ocurrido debido a la pandemia de covid 19.

Figura 2

Publicaciones en los últimos 5 años

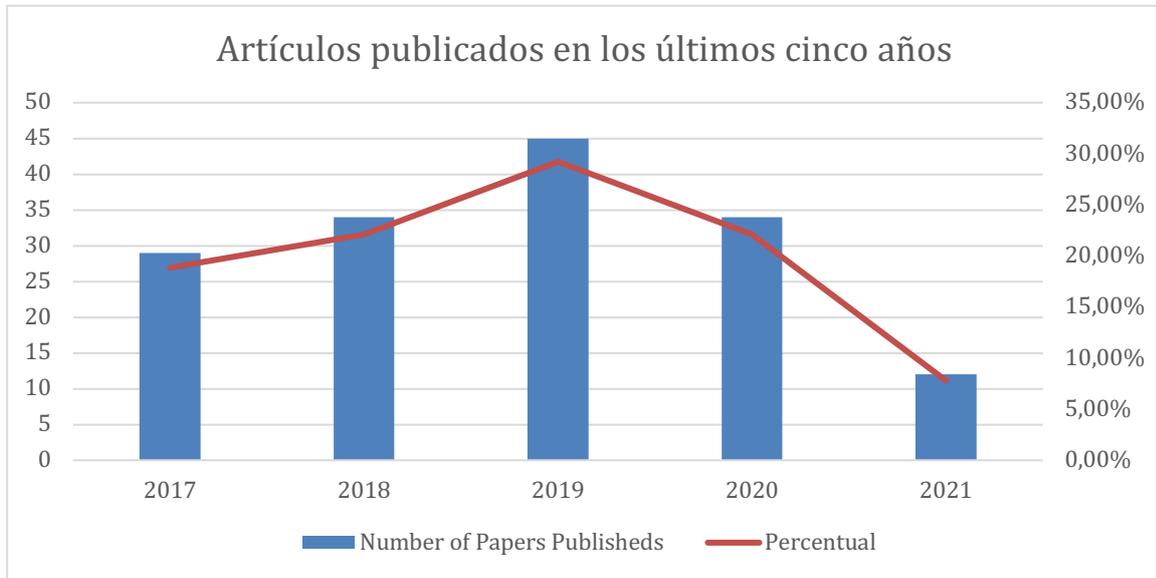
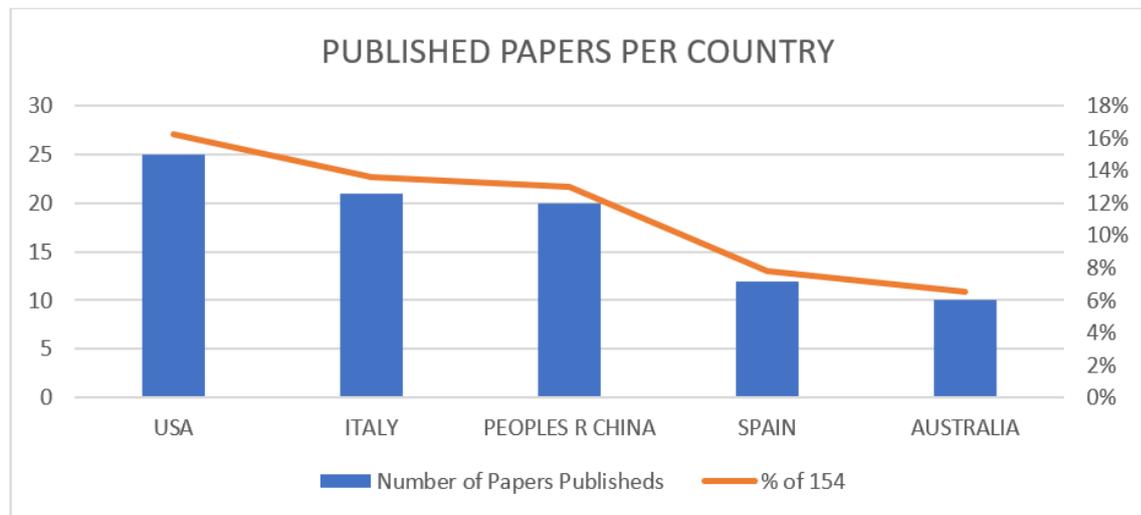


Figura 3

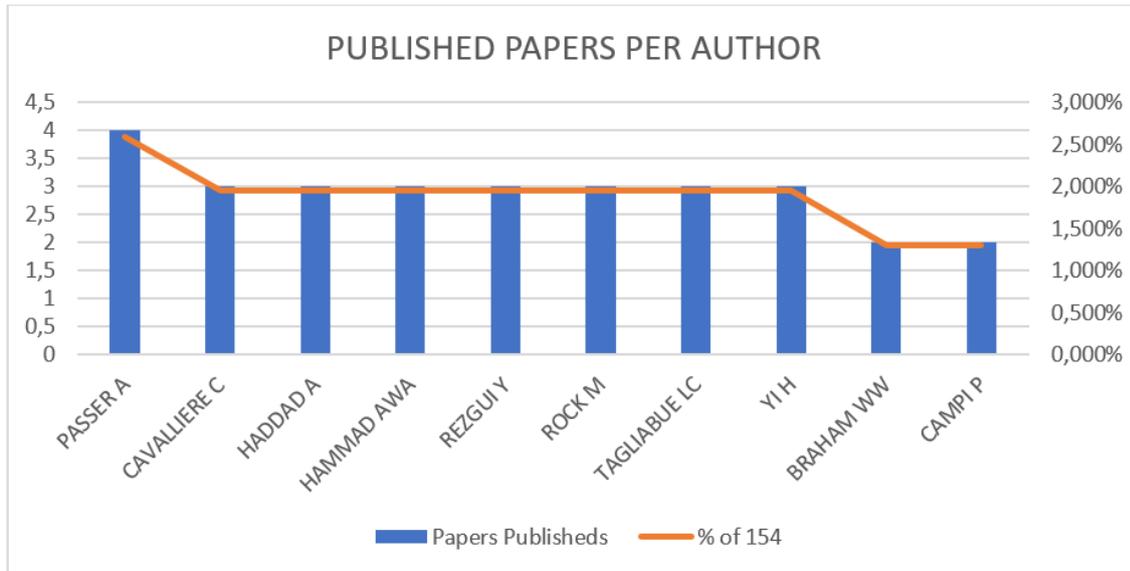
Artículos publicados por país



El país con más artículos publicados fue Estados Unidos, seguido de China e Italia. Malasia, aun siendo un país relativamente pequeño, ocupa un lugar destacado con un número considerable de publicaciones en el campo de la BIM, la eficiencia energética y la sostenibilidad, aunque no figura entre los países con más artículos publicados. Los autores más relevantes fueron Passer, Cavalliere y Haddad, cada uno con 4, 3 y 3 trabajos publicados, respectivamente, como se ve en la Figura 4.

Figura 4

Artículos publicados por autor



El análisis de los Clusters de los 154 artículos de la Plataforma Web of Science se obtuvo a partir de los resultados de la cadena aplicada en la Plataforma Web of Science, los cuales se relacionaban con los temas de MODELADO DE INFORMACIÓN DE EDIFICIOS, RENDIMIENTO ENERGÉTICO y SOSTENIBILIDAD.

El cluster se genera a partir de la correlación de conceptos comunes citados en el título y el resumen de los artículos, lo que permite al investigador establecer una correlación entre la interconexión de los conceptos del cluster y el estado actual de desarrollo de dichos conceptos en la academia. El software utilizado para generar el Cluster es VOSVIEWER 1.6, el método de recuento es el método binario, lo que significa que sólo cuenta la presencia o ausencia de un término en un papel.

De un total de 5186 términos en los artículos, sólo 30 de ellos presentan recurrencia en al menos 20 artículos, y para generar el cluster, sólo se seleccionará el 60 % de los términos más relevantes.

La correlación entre términos tiene en el centro como términos más interconectados Rendimiento y Construcción, que son los conceptos centrales de los documentos. El término Evaluación del Ciclo de Vida indica que existe una fuerte influencia de trabajos que debaten el Ciclo de Vida de los Edificios considerando la sostenibilidad como un criterio relevante para definir el rendimiento de los edificios. Los criterios de sostenibilidad, como el impacto ambiental, son conceptos ampliamente relacionados con el campo de estudio.

Figura 5

Interconexión entre clusters

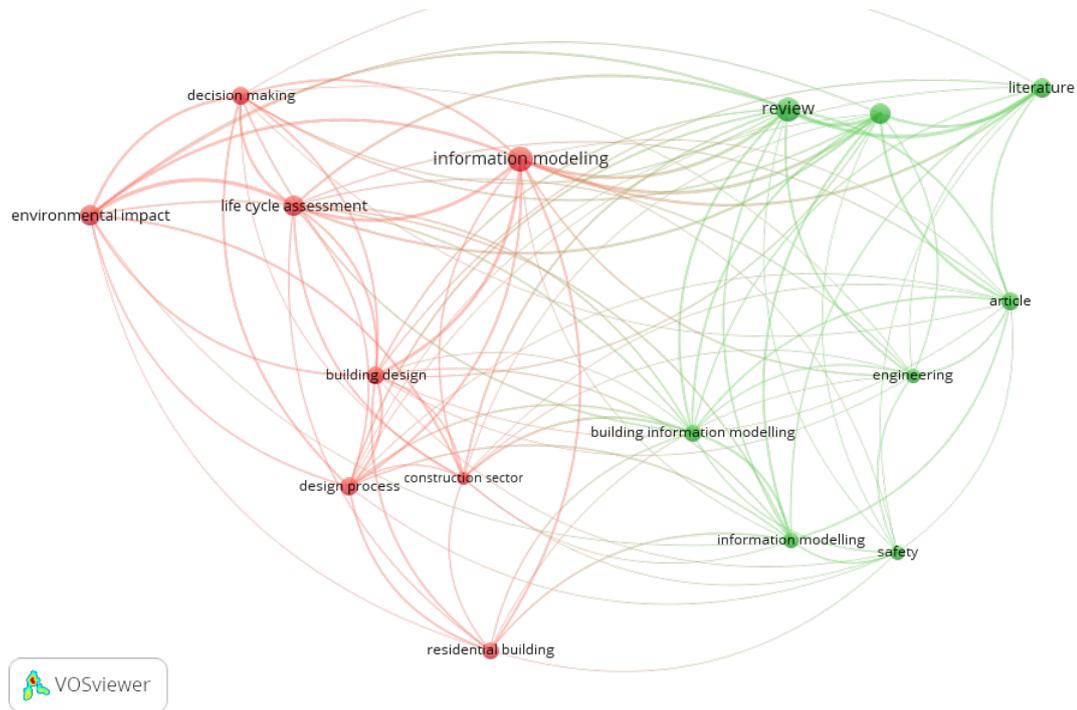
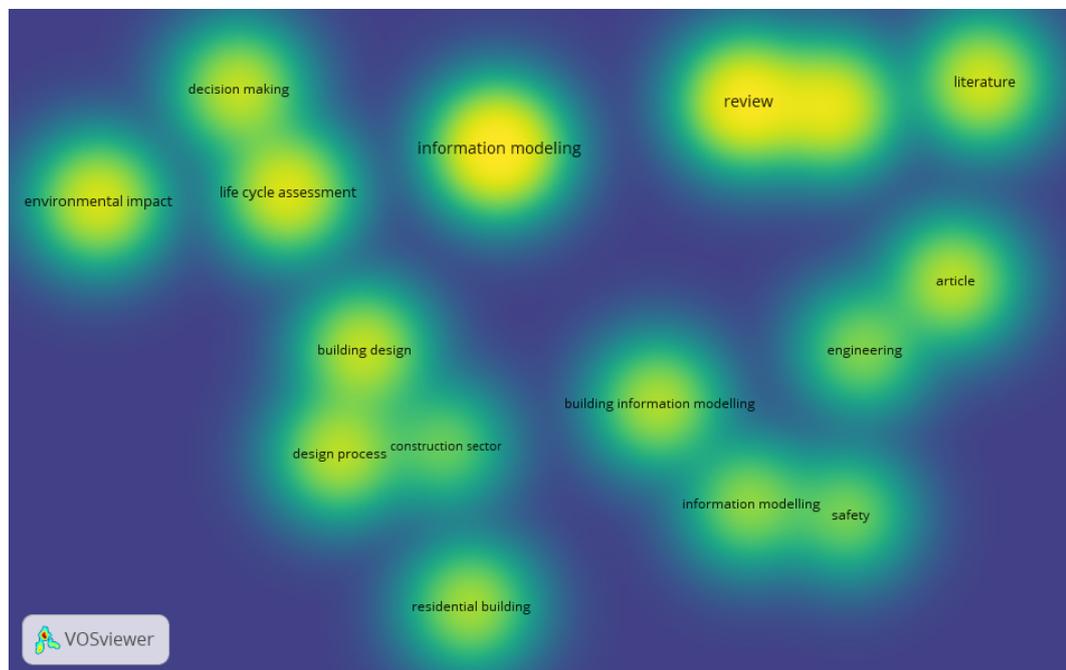


Figura 6

Densidad de agrupaciones



La agrupación de la Figura 5 y la Figura 6 demuestra la preocupación de los artículos publicados por la correlación entre la eficiencia energética, la modelización de la información de los edificios y la sostenibilidad. El BIM se considera un concepto intermedio entre los

conceptos generales de rendimiento y sostenibilidad, ya que está relacionado con los conceptos generales de construcción civil, rendimiento y medio ambiente.

La figura 6 traduce la densidad de los conceptos, siendo los términos generales de Construcción, Rendimiento y, Sostenibilidad más comunes que los de Evaluación del Ciclo de Vida, Eficiencia Energética e Impacto Ambiental. Este resultado era de esperar, ya que los términos generales aparecen con más frecuencia en distintos documentos. Esto indica, sin embargo, que los criterios de impacto ambiental no están muy presentes en los documentos, al no ser tan relevantes como los conceptos más comunes de la construcción civil.

Debates actuales sobre BIM y sostenibilidad

Beach et al. (2017) analizaron el problema causado por la falta de marcos y parámetros para definir la sostenibilidad. La ausencia de metodologías bien definidas para definir los parámetros de sostenibilidad en los proyectos hace que los AEC (Arquitectos, Ingenieros y Constructores) a veces pasen por alto esos criterios para reducir costes (Raouf And Al-Ghamdi, 2018).

También se requiere un gran volumen de información para definir y optimizar la sostenibilidad en la construcción civil Cavalliere et al. (2019) afirmaron que el elevado número de variables en los análisis de sostenibilidad es un factor que hace que el análisis sea aún más complejo.

A veces, el sector no acepta los elevados costes que supone adquirir e integrar toda la información necesaria para algunas de las certificaciones ecológicas más comunes o aplicar criterios sostenibles en la rehabilitación de edificios.

Sin embargo, los artículos publicados en los últimos cinco años han presentado algunas soluciones para colmar esas lagunas. Petri et al. (2017) presentaron un marco de dos pasos principales hacia la definición de una metodología práctica para optimizar la sostenibilidad en los proyectos.

Ozarisoy y Altan (2018) propusieron la adopción de dos plug-ins comerciales utilizados en el software Autodesk Revit, "Green Building Studio" e "Insight 360", junto con una metodología bien definida para evaluar los criterios sostenibles de los edificios readaptados.

Debates actuales sobre BIM y rendimiento térmico

Los artículos más relevantes encontrados en esta investigación no están exclusivamente relacionados con el Rendimiento Térmico, sino que consideran el Rendimiento Térmico como una parte del estudio de la eficiencia energética. Entre los 29 artículos más relevantes sobre BIM, Energía y Sostenibilidad, sólo dos tratan con la máxima relevancia el Rendimiento Térmico como disciplina más individual de los proyectos de construcción civil.

Pessoa et al. (2021) realizaron un mapeo sistemático de la literatura para encontrar las lagunas en el análisis del rendimiento térmico en edificios impresos en 3D. Que un artículo de revisión sistemática se encuentre entre los más relevantes significa que aún existe un campo incipiente en el área.

Debates actuales sobre BIM y eficiencia energética

Cavalliere (2019) discutió la necesidad de un método de aplicación más automatizado para los criterios de eficiencia energética en los edificios, ya que la mayoría de los métodos habituales se aplican actualmente de forma manual, lo que aumenta el coste del proyecto.

Zou et al. (2017) afirmaron que los métodos reales de determinación del consumo de energía no son precisos, siendo el consumo real en algunos casos 2.5 veces superior al previsto.

Los principales problemas en este campo de estudio son como los relacionados con BIM y la sostenibilidad. La falta de marcos prácticos y la necesidad de un gran volumen de información requerida son los problemas más comunes presentados en los trabajos más relevantes.

Montiel - Santiago et al. (2020) afirmaron un uso deficiente de BIM 6D en las aplicaciones actuales, proponiendo un marco de uso de BIM 6D en edificios sanitarios, como los hospitales. Así, el debate actual sobre eficiencia energética, eficiencia térmica y sostenibilidad presenta en su mayoría los mismos problemas y algunas soluciones similares.

Tabla 1
Matriz de clasificación de los documentos analizados

Índice	Año	Autor	Categoría de papel	Elemento BIM aplicado	Impacto en la sostenibilidad
1.	2017	Ioan Petri, Sylvain Kubicki, Yacine Rezgui , Annie Guerriero y Haijiang Li	Estudio de caso	BIM se utilizó en la modelización para comprobar las hipótesis.	El documento propone un marco práctico para optimizar los criterios de eficiencia energética, que puede subvencionar el conocimiento y la experiencia para proyectos que emitan menos gases tóxicos.
2.	2018	Shaohua Jiang, Na Wang y Jing Wu	Aplicación	Uso de criterios dentro de BIM para evaluar el proyecto	El método presentado permite la integración de criterios de certificación predefinidos en materia de sostenibilidad de forma automatizada, lo que permite una mayor difusión de los proyectos con sesgo sostenible.
3.	2018	Bertug Ozarisoy, Hasim Altan	Aplicación	Incorporación de diferentes plugins con capacidad para evaluar el desarrollo de proyectos innovadores	La rehabilitación es una forma de adaptar un edificio a una determinada necesidad sin generar los impactos de una nueva construcción, la incorporación de una metodología que permita un análisis eficiente puede reducir costes y favorecer la adopción de criterios sostenibles.
4.	2018	Ayman M. I. Raouf y Sami G. Al-Ghamdi	Revisión bibliográfica	Este documento es una revisión sistemática, sin aplicación directa.	Comprender los mecanismos teóricos que permiten evaluar cualitativamente los edificios ecológicos es esencial para aplicar tales técnicas. La difusión de conocimientos en términos de revisión sistemática permite una mayor adopción de los conceptos de sesgo sostenible.
5.	2018	Luis P. Sanhudo y João P. Martins	Aplicación	Uso de criterios predefinidos automatizados en las aplicaciones BIM	Permitir una mayor rapidez en la elaboración de proyectos de construcción con un sesgo sostenible es un atractivo para que el mercado adopte prácticas sostenibles.
6.	2020	Mariangela Zanmi y Kirti Soenanto	Aplicación	Incorporación de diagramas de flujo dentro de una aplicación BIM con criterios definidos	Este trabajo colabora con la sostenibilidad definiendo mecanismos claros y procesos establecidos para utilizar BIM con el fin de especificar

Revisión sistemática de la producción académica actual de los conceptos de BIM, rendimiento térmico, eficiencia energética y sostenibilidad

				para la evaluación de proyectos.	criterios sostenibles en fases previas del proyecto.
7.	2019	Ernesto Velázquez, Denis Bruneau, Zakaria Aketouane y Jean-Pierre Nadeau	Aplicación	Este documento es una propuesta marco, sin aplicación directa.	El trabajo tiene como objetivo ayudar y subvencionar a los profesionales en el desarrollo de proyectos sostenibles, a través de definiciones prácticas para determinar las mejoras en este sentido.
8.	2017	Yabin Jiménez-Roberto, Juan Sebastián-Sarmiento, Adriana Gómez-Cabrera, Gabriel Leal-del Castillo	Aplicación	Los modelos BIM pueden utilizarse para probar criterios de eficiencia gracias a la posibilidad de probar combinaciones de proyectos.	Los documentos de sesgo práctico permiten al mercado encontrar subvenciones para aplicaciones prácticas, lo que distingue la aplicación de metodologías sostenibles.
9.	2017	Egwunatum I. Samuela, Esther Joseph-Akwarab, Akaiawe Richard	Estudio de caso	Los modelos BIM pueden utilizarse para probar el consumo posterior a la construcción gracias a la posibilidad de utilizar plataformas BIM para evaluar varios criterios diferentes.	El trabajo presenta diagramas de flujo teóricos y prácticos para la incorporación de BIM para el análisis del consumo de energía y una correlación que demuestra la aplicabilidad de BIM, que proporciona al mercado subsidios y más seguridad en la adopción de metodologías de análisis en términos sostenibles.
10.	2017	Lorenzo Belussia, Ludovico Danzaa, Matteo Ghellera, Giulia Guazzia, Italo Meronia, Francesco Salamonea	Aplicación	Las plataformas BIM pueden utilizarse para realizar análisis en proyectos más amplios e integrados en zonas urbanas.	Determinar metodologías para analizar la sostenibilidad de los proyectos permite una difusión más significativa entre profesionales y académicos, lo que puede hacer del análisis de la sostenibilidad en proyectos urbanos un tema más aplicado.
11.	2018	Carmine Cavalliere, Guido Raffaele Dell'Osso, Alessandra Pierucci, Francesco Iannone	Aplicación	Las plataformas BIM pueden utilizarse para ayudar al desarrollo de proyectos en fases tempranas con criterios sostenibles.	Los marcos pueden apoyar la adopción de análisis por parte de profesionales y académicos, lo que puede contribuir a la difusión de conocimientos y a la práctica de proyectos sostenibles.
12.	2017	Lufan Wang y Nora M. El-Gohary	Aplicación	BIM puede incorporar herramientas automatizadas de análisis que permiten realizar análisis más eficientes.	Las prácticas de aprendizaje automático pretenden satisfacer la demanda de proyectos más ágiles y eficientes mediante la recopilación y aplicación de información. Unos procesos más ágiles pueden permitir más aplicaciones con sesgo sostenible en el mercado.
13.	2017	Abhinaya K.S., V.R. Prasath Kumar, L. Krishnaraj	Estudio de caso	Las plataformas BIM suelen permitir al usuario incorporar análisis de parámetros para atender a determinados criterios, lo que permite una evaluación temprana de los impactos.	Los parámetros y las aplicaciones prácticas sirven de subsidio para posteriores implantaciones, lo que difunde la práctica de aplicar criterios sostenibles en un entorno BIM.

14.	2020	S. M. Hosseini, R. Shirmohammadi, A. Aslani	Estudio de caso	Las plataformas BIM pueden integrar plugins secundarios para optimizar los parámetros del proyecto.	El trabajo contribuye a la adopción de prácticas sostenibles al dar cuenta de un análisis de la readecuación de edificios, que presenta diferentes complejidades relacionadas con la construcción, lo que puede subsidiar e incentivar la readecuación en lugar de la demolición y construcción de nuevos proyectos desde una perspectiva sostenible.
15.	2019	G. Stegnar y T. Cerovsek	Aplicación	BIM puede utilizarse para proporcionar información más fiable sobre distintos criterios.	El documento es un añadido a la definición de criterios para la remodelación energética de edificios existentes. La remodelación de edificios en términos de eficiencia energética es una forma de mejorar los criterios sostenibles de los edificios existentes, que complementa los avances hacia una construcción civil sostenible.
16.	2020	Cheng Fan, Da Yan, Fu Xiao, Ao Li, Jingjing An y Xuyuan Kang	Aplicación	BIM puede complementarse con Big Data, evaluando e integrando información sobre la evaluación de diferentes proyectos.	Identificar formas más ágiles y menos costosas de definir el ciclo de vida del proyecto es una manera eficaz de permitir que el mercado adopte más fácilmente este sesgo de sostenibilidad.
17.	2021	S. Pessoa, A.S. Guimaraes, S.S. Lucas, y N. Simoes	Revisión de la literatura	Este documento es una revisión sistemática, sin aplicación directa.	Aun así, los problemas insipientes exigen que se cubran sus lagunas de conocimiento para que, de hecho, avancen. El artículo, sin embargo, no se centra en cuestiones sostenibles, sino más bien en la identificación del estado del arte en relación con el sistema de construcción.
18.	2019	Haidar Alhaidarya, Adil K. Al-Tamimia y Hashim Al-Wakil	Estudio de caso	BIM puede utilizarse para proporcionar análisis cuantitativos fiables en términos de consumo de recursos.	El trabajo permitió un análisis eficaz, que subvencionó en la práctica una reducción del consumo de energía gracias a un análisis eficaz del rendimiento térmico.
19.	2018	Hwang Yi	Estudio de caso	BIM puede integrarse con distintas fórmulas para tener en cuenta los factores humanos en la definición de los parámetros del proyecto.	El trabajo se centra en el análisis antropocéntrico del análisis energético de un edificio, lo que supone un sesgo distinto en relación con la aplicación habitual.
20.	2018	Patrick X.W. Zou, Xiaoxiao Xu, Jay Sanjayan, Jiayuan Wang	Revisión de la literatura	Este documento es una revisión sistemática, sin aplicación directa.	La fiabilidad de las metodologías de análisis es uno de los principales retos que hay que superar para que un concepto se aplique en el mercado y genere resultados observables en la sociedad. En este contexto, el trabajo contribuye a mejorar la asertividad de los análisis a través de un marco.

Revisión sistemática de la producción académica actual de los conceptos de BIM, rendimiento térmico, eficiencia energética y sostenibilidad

21.	2020	Cheng Fan, Da Yan, Fu Xiao, Ao Li, Jingjing An, Xuyuan Kang	Aplicación	BIM puede parametrizar el análisis integrando Big Data en su núcleo.	Facilitar los procesos de análisis, permitiendo que se lleven a cabo sin necesidad de proporcionar información, puede atraer aplicaciones prácticas de las metodologías en todo el mercado, difundiendo la metodología.
22.	2020	Yu Qian Ang, Zachary Michael Berzolla, Christoph F. Reinhart	Aplicación	El BIM puede integrarse con programas informáticos de georreferenciación para optimizar los modelos, parametrizando varios criterios urbanísticos.	La eficiencia energética de las ciudades sigue siendo un sector deficitario. El trabajo propone una metodología práctica que permite un análisis eficaz. Las definiciones ágiles en la definición de criterios tienden a permitir una absorción más fácil de los conceptos por parte del mercado.
23.	2019	Carmine Cavalliere, Guido Raffaele Dell'Osso, Fausto Favia, Marco Lovicario	Aplicación	La aplicación del Lenguaje de Programación Visual en un entorno BIM permite al usuario calcular varios criterios diferentes en los proyectos.	Este documento puede ayudar a los responsables del mantenimiento de edificios a definir criterios para evaluar la salud de sus edificios, lo que permitirá adoptar criterios de mantenimiento adecuados.
24.	2020	Zhikun Ding , Jindi Niu , Shan Liu , Huanyu Wu C, Jian Zuo	Aplicación	BIM puede integrarse con otros programas informáticos para realizar análisis integrados económicos, medioambientales y posteriores a la construcción.	El artículo ofrece un marco para la adopción del BIM basado en 96 artículos publicados que permite una fiabilidad en cuanto al marco presentado, lo que puede favorecer la difusión de estos conceptos.
25.	2017	Ali GhaffarianHoseinia, Tongrui Zhanga, Okechukwu Nwadigoa, Amirhosein GhaffarianHoseinib, Nicola Naismitha, John Tookeya, Kaamran Raahemifarb	Aplicación	BIM puede utilizarse para calcular la eficiencia del proyecto a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio.	Los modelos prácticos pueden fomentar las aplicaciones de mercado, principalmente debido al sesgo práctico de la aplicación implementada.
26.	2019	Abdullah Badawy Mohammed	Estudio de caso	Este documento no realiza una aplicación práctica del BIM.	Los modelos prácticos pueden fomentar las aplicaciones de mercado, principalmente debido al sesgo práctico de la aplicación implementada.
27.	2020	Francisco Javier Montiel-Santiago, Manuel Jesús Hermoso-Orzáez y Julio Terrados-Cepeda	Estudio de caso	BIM puede aplicarse en distintas construcciones, como edificios sanitarios, para realizar análisis de eficiencia.	BIM tiene un potencial aún infrutilizado para definir el análisis energético. Los trabajos que contribuyan a la difusión de la aplicación de BIM 6D favorecen otras aplicaciones de esta metodología.
28.	2019	Mohammad Najjara, Karoline Figueiredo, Ahmed W.A. Hammadb, Assed Haddada,	Aplicación	BIM puede incorporarse para calcular la eficiencia energética de todo el ciclo de vida del edificio.	A veces, la sostenibilidad y la eficiencia energética no se evalúan en la fase de explotación del edificio. Es necesario desarrollar documentos que trabajen sobre el ciclo de vida completo del edificio, especialmente en la etapa considerada más crítica en

					términos de consumo energético.
29.	2019	Premjeet Singh y Ayan Sadhu	Aplicación	BIM puede aplicarse para probar hipótesis en el proyecto, evaluando cómo repercuten las distintas modificaciones en la eficiencia energética de un edificio.	Cambios sencillos, como la orientación con respecto al sol y los materiales de sellado, pueden influir considerablemente en la eficiencia energética de un edificio.

La matriz integrada que figura en la Tabla 1 es una relación de los problemas más comunes presentados en los documentos en relación con la sostenibilidad, el rendimiento térmico y la eficiencia energética, con las soluciones más comunes adoptadas dentro de BIM. Con el objetivo de resolver esos problemas, la matriz integrada se refiere a los números indexados en la Matriz de Clasificaciones en relación con la forma en que combinaron diferentes soluciones y contribuyeron a resolver problemas concretos.

Tabla 2

Matriz integrada de problemas y soluciones adoptadas en BIM en materia de SOSTENIBILIDAD, EFICIENCIA ENERGÉTICA y EFICIENCIA TÉRMICA

		Solución adoptada en BIM				
		Definición de marcos para aplicaciones BIM	Incorporación de programas informáticos secundarios	Uso de BIG DATA	Utilización de la VPL	Uso del gemelo digital
Sostenibilidad						
	Falta de modelos de análisis de proyectos	1., 8., 15.	3.,			1., 3.
	Complejidad de la aplicación de la información necesaria en el proyecto	2., 15.,	2., 3.,	12.,		
	Las pruebas de hipótesis para definir las modificaciones del proyecto son exhaustivas	15.,	5., 14.,			1.,2.,5.,9.
	Falta de modelos para el análisis urbano	10.,	10.,			6.,
Problemática	Aplicar criterios sostenibles es difícil por falta de datos	7.,9., 11.,		12., 16.,		
	Los métodos actuales de análisis de la sostenibilidad en proyectos no basados en BIM son exigentes	8., 15.,	13., 14.			9.,
	Depratonización de criterios sostenibles	7., 11.		12.,		11.,
	Dificultad para aplicar criterios sostenibles en las primeras fases del proyecto	7., 8., 15.	13., 14.,	16.,		9.,
	Elevado número de variables que deben analizarse para aplicar criterios sostenibles	7., 8.,11.		12., 16.,		9.,11., 13
Rendimiento térmico						
	Falta información para definir los criterios de rendimiento térmico de las casas impresas en 3D	17.,				

Falta de metodologías para el análisis del rendimiento térmico	18.,	19.,			
Falta de consideración de los factores humanos en el rendimiento térmico	19.,	19.,			
Eficiencia energética					
Gran volumen de información necesaria para realizar una evaluación	21.,	24.,	21.,	23.,	27.,28.,29.,
Dificultad del análisis integrado en zonas urbanas		22.,		23.,	22.,
Falta de métodos automatizados para calcular la eficiencia energética en los proyectos de construcción		24.,		23.,	27.,28.
Dificultad para calcular la eficiencia energética a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio	25.,	24.,		23.,	27.,28.,29.

Observación: Las cifras anteriores están relacionadas con el índice presentado en la matriz 01

La matriz integrada en la Tabla 2 presenta una síntesis descriptiva de cómo cada artículo indexado está relacionado con la adopción de la solución BIM para resolver uno o más problemas concretos relativos a la Sostenibilidad, el Rendimiento Térmico y la Eficiencia Energética. La Matriz de Discusión presentada en la Tabla 3 está relacionada con una evaluación más descriptiva y cualitativa de cómo cada trabajo resolvió los problemas, con una descripción más precisa de los problemas y de las soluciones adoptadas en términos de aplicaciones.

Tabla 3

Matriz de debate sobre los problemas y las soluciones adoptadas en el marco de BIM en relación con la SOSTENIBILIDAD, la EFICIENCIA ENERGÉTICA y la EFICIENCIA TÉRMICA

Índice	Año	Autor	Problema	Aplicación
1.	2017	Ioan Petri, Sylvain Kubicki, Yacine Rezgui, Annie Guerriero y Haijiang Li	En la construcción civil hay un elevado volumen de emisiones de carbono, lo que exige soluciones sostenibles que optimicen el diseño de los edificios.	El documento presenta un marco para BIM, para asegurar la eficiencia energética de los edificios, a través de dos pasos. Primero se obtienen los parámetros y los datos de consumo de energía y, a continuación, los procesos marco y la optimización para reajustar los modelos.
2.	2018	Doctor Shaohua Jiang, Na Wang y Jing Wu	Hay dificultades para realizar evaluaciones de la eficacia en términos de construcción ecológica en los proyectos de edificación. La mayoría de las evaluaciones de sostenibilidad se realizan manualmente.	El trabajo presenta la incorporación del concepto de ontología con BIM, el llamado Information-Rich BIM, que permitirá obtener la información multidisciplinaria necesaria para la certificación Green-Building.
3.	2018	Bertug Ozarisoy, Hasim Altan	El estudio de la eficiencia energética en los hogares es a veces deficiente debido a la dificultad de realizar análisis. En las reformas existe una dificultad aún mayor.	Durante el proceso de modelado de la remodelación se utilizaron dos plug-ins comerciales con Revit, "Green Building Studio" e "Insight 360", para evaluar los criterios sostenibles del edificio renovado.
4.	2018	Ayman M. I. Raouf y Sami G. Al-Ghamdi	Dentro de un sesgo académico, hay una ausencia de trabajos académicos que aporten revisiones sistemáticas que asocien el	En este trabajo, se realiza un mapeo sistemático que asocia los conceptos teóricos de la certificación en edificios ecológicos utilizando BIM.

			uso de BIM con herramientas de calificación de edificios verdes.	
5.	2018	Luís Pedro Neves Sanhudo y João Pedro da Silva Poças Martins	Existe una dificultad en la realización manual de los índices de sostenibilidad en los proyectos de construcción. Este retraso implica un aumento de plazos y costes que muchas veces el mercado no permite.	BIM puede aplicarse como herramienta de evaluación cualitativa de los criterios de sostenibilidad de los edificios, predefiniendo ya las certificaciones de forma automática.
6.	2020	Mariangela Zanmi y Kirti Soenanto	Existe una deprecación de la forma de llevar a cabo los análisis preliminares de diseño de los criterios de sostenibilidad, lo que hace que la adopción de elementos de criterios sostenibles sólo se tenga en cuenta en fases posteriores del proyecto.	La técnica Green BIM Box permite definir un claro diagrama de flujo informatizado para realizar comprobaciones preliminares de los criterios de sostenibilidad.
7.	2019	Ernesto Velázquez, Denis Bruneau, Zakaria Aketouane y Jean-Pierre Nadeau	Es necesario adoptar una metodología holística para la evaluación de los proyectos de construcción que se ajuste a criterios sostenibles, lo que permite subvencionar mejores soluciones en términos de sostenibilidad de los proyectos.	En este trabajo, los autores proponen una metodología de trabajo compuesta por 36 elementos clave que permiten definir los criterios de diseño, 16 elementos que permiten definir los criterios de sostenibilidad y un método de cálculo del parámetro de 7 modelos de simulación.
8.	2017	Yabin Jiménez-Roberto, Juan Sebastián-Sarmiento, Adriana Gómez-Cabrera, Gabriel Leal-del Castillo	El sector de la construcción ha tenido un problema relacionado con la definición de soluciones adecuadas para las diferentes necesidades de los clientes, con la adopción de criterios de sostenibilidad aplicados después de la definición del proyecto.	El trabajo propone un análisis práctico del rendimiento en términos sostenibles en Colombia en términos de sostenibilidad, determinando el consumo de energía, la energía incorporada al proyecto y las emisiones de carbono.
9.	2017	Egwunatum I. Samuela, Esther Joseph-Akwarab, Akaigwe Richard	Existe una visión de mercado sobre el potencial de aplicación de BIM para optimizar el análisis de los proyectos en términos de sostenibilidad, verificando la cantidad de carbono emitido, verificando las operaciones para el uso del edificio que consuma menos energía, y otros criterios. Sin embargo, faltan conocimientos y metodologías para aplicarlo en términos de análisis de proyectos.	El trabajo analiza la posibilidad de utilizar metodologías basadas en BIM para el análisis de la sostenibilidad. La herramienta de análisis energético del edificio permite una postconstrucción más económica en términos de consumo de energía.
10.	2017	Lorenzo Belussia, Ludovico Danzaa, Matteo Ghellera, Giulia Guazzia, Italo Meronia, Francesco Salamonea	Las ciudades tienen un papel macro, posiblemente el mayor factor de impacto, en términos de sostenibilidad, y faltan modelos de análisis para la definición de criterios de sostenibilidad de los proyectos urbanos.	El trabajo define una metodología para analizar los criterios de sostenibilidad en los proyectos urbanos, con un marco práctico corroborado posteriormente con un estudio de caso para la ciudad de Bolonia.

11.	2018	Carmine Cavalliere, Guido Raffaele Dell'Osso, Alessandra Pierucci, Francesco Iannone	El elevado número de variables en los análisis de sostenibilidad es un factor que hace aún más complejo el análisis de los edificios. La falta de subvenciones, marcos y metodologías prácticas en relación con la adopción de criterios sostenibles tiende a impedir una mayor difusión de la sostenibilidad entre los diseñadores.	La obra define subvenciones para análisis prácticos de edificios en términos de sostenibilidad.
12.	2017	Lufan Wang y Nora M. El-Gohary	Un análisis sostenible supone un reto debido a la dificultad de encontrar información suficiente que lo respalde. Esta gran necesidad de información encarece y ralentiza los proyectos, lo que a veces los hace inviables para el mercado.	El trabajo propone una metodología BIM utilizando Machine Learning. El programa estudiará el edificio, sus componentes, la historia de la ciudad y sus condiciones. El modelo ya permite una previsión más práctica y automatizada de las emisiones de carbono y el consumo de energía.
13.	2017	Abhinaya K.S., V.R. Prasath Kumar, L. Krishnaraj	Hay escasez de artículos académicos que presenten aplicaciones prácticas, correlacionando análisis de sesgos sostenibles con aplicaciones prácticas.	El autor realiza, a través del software Autodesk Revit, un análisis de parámetros, implementando materiales y componentes verdes para modelar y evaluar inmediatamente sus impactos en el carácter sostenible del edificio.
14.	2020	S. M. Hosseini , R. Shirmohammadi & A. Aslani	Una de las principales fuentes de emisión de CO2 en el país donde se desarrolló la obra es la quema de combustibles fósiles, provocada principalmente por la construcción civil.	El documento propone el uso de BIM junto con el programa DesignBuilder para definir parámetros sostenibles en una readaptación de las instalaciones de la Universidad de Teherán.
15.	2019	G. Stegnar , T. Cerovsek	Existe un gran volumen de información sobre el edificio necesaria para un análisis adecuado de la eficiencia energética y los criterios sostenibles, lo que dificulta la aplicación de criterios sostenibles en la remodelación energética de los edificios existentes porque se desconoce la información necesaria.	El documento propone una metodología progresiva de aplicación del BIM para definir información precisa sobre la eficiencia energética de los edificios.
16.	2020	Cheng Fan, Da Yan, Fu Xiao, Ao Li, Jingjing An, Xuyuan Kang	Para realizar un análisis del ciclo de vida de un edificio hay que obtener una cantidad importante de información, lo que a veces hace inviable este proceso por el aumento inherente de los costes y del tiempo de preparación de los análisis.	El trabajo propone un enfoque simplificado para la definición de criterios sostenibles con un menor volumen de datos, haciendo uso de Big DATA para la definición complementaria de parámetros.
17.	2021	S. Pessoa, A.S. Guimaraes , S.S. Lucas, N. Simoes	la impresión 3D es todavía un proceso neófito en ingeniería, y su rendimiento en términos de eficiencia térmica debe seguir verificándose.	El trabajo realiza un mapeo sistemático en la literatura, con el objetivo de determinar el estado del arte actual sobre el tema del rendimiento térmico en la impresión 3D.
18.	2019	Haidar Alhaidarya, Adil K. Al-Tamimia y Hashim Al-Wakil	El cambio climático ha arrojado luz sobre el tema del rendimiento térmico, principalmente porque esta disciplina está directamente relacionada con la eficiencia energética.	El artículo propone una metodología práctica para definir un modelo de consumo energético en un entorno BIM, teniendo en cuenta la Termografía Infrarroja.

19.	2018	Hwang Yi	Pocos trabajos académicos tienen en cuenta el factor humano a la hora de calcular la eficiencia energética, sin considerar los factores dinámicos en cuanto al flujo de calor.	El trabajo realizó un estudio de 4 escenarios diferentes, con distintos grados de ocupación humana, permitiendo caracterizar la influencia humana en la eficiencia energética de distintos entornos.
20.	2018	Patrick X.W. Zou, Xiaoxiao Xu, Jay Sanjayan, Jiayuan Wang	Según los autores, en varios trabajos recogidos, el consumo energético de un edificio puede ser hasta 2,5 veces superior a las estimaciones habituales del proyecto, lo que provoca una tremenda deficiencia en la demanda energética.	El trabajo recogió 227 publicaciones relevantes que proponían realizar análisis de eficiencia energética y, a partir de ellas, se buscó crear un marco que permitiera una mayor asertividad en las previsiones de demanda energética.
21.	2020	Cheng Fan, Da Yan, Fu Xiao, Ao Li, Jingjing An, Xuyuan Kang	El elevado número de datos necesarios hace a veces inviable un análisis adecuado de la eficiencia energética.	El documento utiliza los conceptos de BIG DATA para parametrizar los criterios de análisis de eficiencia energética, simplificando el proceso de análisis computacional en un entorno BIM.
22.	2020	Yu Qian Ang, Zachary Michael Berzolla, Christoph F. Reinhart	El análisis de la eficiencia energética en las ciudades cuenta con un bajo volumen de trabajos publicados, existiendo un vacío en la producción académica al respecto.	El artículo propone un marco integrado entre BIM y otros programas informáticos de georreferenciación para definir modelos optimizados que permitan parametrizar criterios de eficiencia energética en proyectos urbanos y definir el consumo de energía.
23.	2019	Carmine Cavalliere, Guido Raffaele Dell'Osso, Fausto Favia, Marco Lovicario	Definir criterios sostenibles para un edificio es todo un reto, sobre todo por el predominio de laboriosos modelos manuales para establecerlos.	El artículo utiliza VPL (Visual Programming Language) en un entorno BIM para calcular automáticamente criterios de sostenibilidad en proyectos de construcción.
24.	2020	Zhikun Ding, Jindi Niu, Shan Liu, Huanyu Wu C, Jian Zuo	La salud de un edificio es un tema cada vez más popular, según los autores. Es necesario definir criterios de seguridad, preservación del medio ambiente y eficiencia energética.	El documento realiza un proceso jerárquico analítico, incorporando otros programas informáticos y métodos para determinar criterios, como el confort térmico, el rendimiento medioambiental y el rendimiento económico y de mantenimiento. Este conjunto de análisis permite evaluar la salud de un edificio.
25.	2017	Ali GhaffarianHoseinia, Tongrui Zhanga, Okechukwu Nwadiogo, Amirhosein GhaffarianHoseinib, Nicola Naismitha, John Tookeya, Kaamran Raahemifarb	Es necesario equilibrar las demandas de los usuarios con los criterios de eficiencia energética, siendo esencial obtener un rendimiento adecuado en relación con el ciclo de vida del edificio. Las definiciones manuales de este criterio son a veces insuficientes para definir con mayor precisión el ciclo de vida.	El artículo investiga el potencial del BIM para calcular la eficiencia energética y definir el comportamiento medioambiental del ciclo de vida del edificio.
26.	2019	Abdullah Badawy Mohammed	Según el autor, no existe ningún modelo conocido para analizar los criterios de sostenibilidad y analizar el ciclo de vida de los edificios que permita obtener los beneficios inherentes a BIM.	El autor enumera una serie de indicadores de rendimiento medioambiental, caracterizando aspectos del diseño y relacionándolos con BIM, demostrando además el potencial de aplicación conjunta de distintas plataformas BIM.
27.	2020	Francisco Javier Montiel-Santiago, Manuel Jesús Hermoso-Orzáez y Julio Terrados-Cepeda	Uno de los aspectos menos utilizados de BIM es la orientación hacia el análisis de la eficiencia energética, debido principalmente a la ausencia de producción	El artículo propone un marco para utilizar BIM 6D en el análisis energético de edificios sanitarios, en este caso, hospitales. El documento definía un elevado potencial de mejora de la eficiencia energética en

			académica y de marcos para aplicar este aspecto en el trabajo.	elementos sencillos, como la iluminación. Este análisis es posible gracias al uso de BIM.
28.	2019	Mohammad Najjara, Karoline Figueiredo, Ahmed W.A. Hammadb, Assed Haddada,	La demanda operativa del edificio es, según los autores, la mayor parte del consumo energético a lo largo del ciclo de vida del edificio, lo que constituye un factor fundamental para optimizar el rendimiento y la eficiencia energéticos.	Los autores desarrollan un marco para optimizar los criterios de eficiencia energética, mediante la adopción de parámetros a través de alternativas de diseño más sostenibles.
29.	2019	Premjeet Singh, Ayan Sadhu	Las exigencias actuales de la sociedad implican un consumo cada vez mayor de energía eléctrica. Las casas más antiguas tienen criterios antieconómicos y deficientes en términos de eficiencia energética.	Los autores proponen criterios sencillos de modelización en un entorno BIM utilizando Autodesk Revit in Buildings y analizando los cambios provocados por distintas modificaciones en su consumo y eficiencia energética.

Conclusiones

Los trabajos más relevantes publicados en el ámbito de BIM, Eficiencia Térmica y Eficiencia Energética contemplan una gran preocupación por las necesidades de un elevado volumen de información necesaria para abordar la optimización de los proyectos de construcción civil en términos de sostenibilidad y eficiencia.

La mayoría de los autores también abordaron el problema de la falta de un marco práctico como obstáculo para la aplicación en el sector de la arquitectura, la ingeniería y el urbanismo. Sin embargo, los avances tecnológicos y el uso de BIM presentan una forma de reducir los costes y el tiempo de trabajo en la aplicación de esos criterios.

El uso de Machine Learning presentó el potencial de recopilar información común de varios edificios diferentes en aras de definir parámetros y rellenar el gran volumen de información requerido. El uso de Big Data también presenta un papel a la hora de llenar este vacío para abordar la función de proporcionar más información.

La adopción de marcos de eficiencia energética permite a los usuarios seguir un modelo más práctico y bien definido para analizar el consumo de energía en los edificios, siendo la fiabilidad de los cálculos de la demanda una preocupación actual.

Las preocupaciones comunes están relacionadas con (I) El gran volumen de información necesario y el elevado coste y trabajo necesarios para aplicar los criterios discutidos, (II) La falta de marcos prácticos que analicen los factores críticos de éxito y presenten pasos bien definidos para aplicaciones prácticas. Las soluciones están relacionadas con (I) Abordar un modelo práctico y metodología de implementación de soluciones en los campos tratados, (II) Aplicar Big Data para cubrir las carencias de información en edificios comunes, (III) Implementar software secundario o Lenguaje de Programación Visual.

Se identificó una laguna, de los 29 artículos más relevantes de la base de datos web of science, sólo 14 de ellos presentaban una aplicación válida de BIM en términos de Sostenibilidad, Eficiencia Energética o Rendimiento Térmico, y sólo 9 de ellos analizaban casos para aportar mejoras al sector. Esto nos permite concluir que existe un gran potencial para aplicaciones BIM más significativas en el sector, que pueden lograrse con una mejor comprensión de la relevancia de los criterios sostenibles en las primeras fases de los proyectos.

De los 29 artículos revisados, 13 presentaban una mejora sostenible utilizando herramientas o aplicaciones BIM, mientras que 20 presentaban un marco para la aplicación de BIM. Esto indica una fase aún neófita de desarrollo académico, ya que la mayoría de los artículos versan sobre conceptos y marcos y una pequeña parte sobre aplicaciones prácticas.

Sin embargo, existe un avance considerable en las discusiones presentadas en los artículos más relevantes de los últimos cinco años, lo que implica una evolución acelerada del debate actual sobre BIM y Sostenibilidad. En términos de contribución científica, este artículo presenta una Revisión de la Literatura que resume de forma práctica cómo el BIM puede ser utilizado para resolver problemas complejos relacionados con la Sostenibilidad, el Rendimiento Térmico y la Eficiencia Energética, permitiendo a académicos y profesionales encontrar marcos, casos de estudio, aplicaciones y literatura que ayuden en la resolución de los problemas enumerados en el artículo.

Referencias

- Abhinaya, K. S., Prasath Kumar, V. R., Krishnaraj, L. (2017). Assessment and remodelling of a conventional building into a green building using BIM. *International Journal of Renewable Energy Research*, 7(4),1675-1681.
- Alkhatib, H., Lemarchand, P., Norton, B., et al (2021). Deployment and control of adaptive building facades for energy generation, thermal insulation, ventilation, and daylighting: Una revisión. *Applied Thermal Engineering*, 185, 116331, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116331>
- Beach, T., Petri, I., Rezgui, Y., & Rana, O. (2017). Management of collaborative BIM data by the Federatinon of Distributed Models. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(4).
- Cavalliere, C., Dell'osso, G. R., Favia, F., et al. (2019). BIM-based assessment metrics for the functional flexibility of building designs. *Automation in Construction*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102925>
- De Oliveira, C. C., Forgiarini Rupp, R., & Ghisi, E. (2021). Influence of environmental variables on thermal comfort and air quality perception in office buildings in the humid subtropical climate zone of Brazil. *Energy and Buildings*, 243, 110982. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110982>
- Ding, Z., Niu, J., & Liu, S. (2020). An approach integrating geographic information system and building information modelling to assess the building health of commercial buildings. *Journal of Cleaner Production*, 257, 120532. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120532>.
- Fan, C., Yan, D., & Xiao, F. (2020). Advanced data analytics for enhancing building performances: From data-driven to big data-driven approaches. *Building Simulation*, 14(1), 3–24. <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0723-1>.
- Gao, X., Pishdad-Bozorgi, P., & Shelden, D. R. (2021). Internet of Things Enabled Data Acquisition Framework for Smart Building Applications. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(2), 04020169. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001983](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001983).
- Ghaffarianhoseini, A., Zhang, T., & Nwadigo, O. (2017). Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-

- construction energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 935-949. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.061>.
- González Mahecha, R. E., Rosse Caldas, L., & Garaffa, R. (2020). Constructive systems for social housing deployment in developing countries: A case study using dynamic life cycle carbon assessment and cost analysis in Brazil. *Energy and Buildings*, 227. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110395>.
- Montiel-Santiago, F. J., Hermoso-Orzáez, M. J., & Terrados-Cepeda, J. (2020). Sustainability and energy efficiency: Bim 6d. study of the bim methodology applied to hospital buildings. value of interior lighting and daylight in energy simulation. *Sustainability (Suiza)*, 12(14), 1-29. <https://doi.org/10.3390/su12145731>.
- Najjar, M., Figueiredo, K., & Hammad, A. W. A. (2019). Integrated optimization with building information modeling and life cycle assessment for generating energy efficient buildings. *Applied Energy*, 250, 1366-1382. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.101>.
- Ozarisoy, B. y Altan, H. (2018). Low-energy design strategies for retrofitting existing residential buildings in Cyprus. En *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability* (pp. 241-255). Thomas Telford Ltd.
- Pessoa, S., Guimarães, A. S., Lucas, S. S., & Simões, N. (2021). 3D printing in the construction industry-A systematic review of the thermal performance in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110794.
- Raouf, A. M. & Al-Ghamdi, S. G. (2020). Framework to evaluate quality performance of green building delivery: construction and operational stage. *International Journal of Construction Management*, 23(2), 253-267. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1858539>
- Utkucu, D. & Sözer, H. (2020). Interoperability and data exchange within BIM platform to evaluate building energy performance and indoor comfort. *Automation in Construction*, 116, 103225. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103225>.
- Yi, H. (2018). A biophysical approach to the performance diagnosis of human–building energy interaction: Information (bits) modeling, algorithm, and indicators of energy flow complexity. *Environmental Impact Assessment Review*, 72, 108-125. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.007>.
- Yi, H., Braham, W. W., & Tilley, D. R. (2017). A metabolic network approach to building performance: Information building modeling and simulation of biological indicators. *Journal of Cleaner Production*, 165, 1133-1162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.082>.
- Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S.W. (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.12.027>

Fecha de recepción: 25/05/2022

Fecha de revisión: 11/07/2022

Fecha de aceptación: 11/08/2022