

Macaya-Vitali, P., Guzmán-Burgos, K., Martínez-Soto, A., Polanco-Levicán, K., Reyes-Riveros, A., (2024). Revisión Sistemática de la integración de modelos BIM-BEM: Análisis Exhaustivo de avances y desafíos para la creación eficiente de modelos energéticos. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción (IX ELAGEC2024)*.

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA INTEGRACIÓN DE MODELOS BIM-BEM: ANÁLISIS EXHAUSTIVO DE AVANCES Y DESAFÍOS PARA LA CREACIÓN EFICIENTE DE MODELOS ENERGÉTICOS

Paolo Macaya-Vitali¹ – paolo.macaya@ufrontera.cl

Katerin Guzmán-Burgos² – k.guzman05@ufromail.cl

Aner Martínez-Soto³ – aner.martinez@ufrontera.cl

Karina Polanco-Levicán⁴ – karina.polanco@ufrontera.cl

Alejandro Reyes-Riveros⁵ – alejandro.reyes@ufrontera.cl

¹*Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera.*

²*Estudiante de la Carrera Ingeniería en Construcción, Universidad de la Frontera.*

³*Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera.*

⁴*Programa de Doctorado en Ciencias Sociales, Universidad de la Frontera.*

⁵*Departamento de Ingeniería de Obras Civiles, Universidad de la Frontera.*

RESUMEN

La industria de la construcción, fundamental para el desarrollo económico y social, enfrenta desafíos significativos debido a su alta contaminación y consumo energético. La integración de BIM y BEM surge como una solución clave para mejorar la eficiencia energética. Sin embargo, la interoperabilidad entre ambas herramientas dificulta su implementación efectiva en todas las fases del ciclo de vida del edificio. Es necesario profundizar en la investigación para maximizar su impacto en la sostenibilidad y eficiencia energética de los edificios. El objetivo de esta investigación es realizar una revisión sistemática de la literatura para analizar los avances en la integración de BIM y BEM e identificar los nichos de investigación aún presentes en esta metodología. Se busca promover la eficiencia energética y la sostenibilidad en el sector de la construcción y definir futuras direcciones de investigación basándose en la metodología PRISMA. Los resultados revelan un creciente interés global en herramientas como Revit y EnergyPlus descartando la eficiencia energética lograda a través de esta integración. Este estudio

contribuye el entendimiento global de la integración proporcionando un análisis sobre la interoperabilidad, los softwares y formatos de intercambio, destacando los principales desafíos y avances en la metodología.

PALABRAS CLAVE

Optimización; Simulación Energética; Edificios; Construcción; Integración de datos

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción representa alrededor del 6% del PIB mundial (World Economic Forum Annual Meeting 2018, 2024). Este sector fomenta el desarrollo social y económico, garantiza seguridad, mejora la salud y contribuye al bienestar comunitario (X. Wu et al., 2023). Sin embargo, es una fuente significativa de contaminación debido a sus altas emisiones y al gran consumo de energía en sus procesos (Enshassi et al., 2014; Li & Li, 2023; María & Moreno, 2019). Además, es responsable de más del 30% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, y más del 40% de los residuos urbanos generados anualmente (Liang et al., 2020). Por lo tanto, mejorar la eficiencia energética en esta industria y reducir el consumo de energía son esenciales para promover el desarrollo sostenible y mitigar el calentamiento global (Abanda et al., 2013; Celik et al., 2024; Chen et al., 2016).

Desarrollar sistemas de captación y administración de información sobre la demanda energética dinámica es crucial para gestionar eficientemente los recursos en edificios (Wang & Srinivasan, 2017). Según Petrushevski et al. (2018), integrar Building Energy Management Systems (BEMS) con Building Information Modelling (BIM) como alternativa de captación y administración de información emerge como una estrategia efectiva para optimizar el consumo de energía y aumentar la eficiencia integral en la construcción y operación de edificaciones (Petrushevski et al., 2018). Aguilar et al. (2021) han señalado que edificios basados en BIM y BEMS representan una alternativa que se debe explorar para la administración eficiente de los recursos energéticos (Aguilar et al., 2021). Cuccozzi et al. (2023), indican que la integración de BEMS con BIM, permite mejorar el diseño de edificios al combinar aspectos arquitectónicos y energéticos, promoviendo estructuras eficientes y respetuosas con el medio ambiente (Ciccozzi et al., 2023). Gao et al. (2019) señala que en la etapa de operación de edificios una de las formas efectivas de lograr la eficiencia energética en edificios es utilizar la tecnología BEM, concluyendo que las investigaciones futuras deben considerar no solo la transferencia de la información, sino también como la información de los modelos ayudaría en la toma de decisiones sobre todo las relacionadas con la provisión y uso de la energía (Gao et al., 2019a).

Debido a lo novedoso de estas nuevas perspectivas que se abren con el uso combinado de BIM y BEM quedan abiertos diversos nichos que se deben explorar. Por ejemplo, Porsani et al. (2020) menciona que los edificios de alto rendimiento requieren un mejor intercambio de datos entre modelos BIM y BEM debido a que los modelos BIM no cubren todas las aplicaciones necesarias para el análisis completo de eficiencia energética (Porsani et al., 2021a). En este sentido, es relevante la integración de un modelo BIM como base para un modelo BEM, ya que facilita el acceso directo a la información de

diseño de edificios y la transferencia de datos necesaria para automatizar y sincronizar el proceso de modelado BEM (Bazjanac, 2008). Esto tendría la ventaja adicional de eliminar los procesos de reingreso de la información geométrica del edificio desde el modelo de diseño, ahorrando tiempo y reduciendo la probabilidad de errores inadecuados por la intervención humana que conduce a decisiones subjetivas y arbitrarias para la administración energética del edificio (O'donnell et al., 2013). Según Herbinger et al. (2023), otro de los actuales desafíos a abordar es la calibración de los modelos BEM debido a la multitud de atributos que afectan el rendimiento energético de los edificios modernos (Herbinger et al., 2023). Actualmente, las diferencias en la representación de información en BIM y BEM hacen que el intercambio de datos entre ambas herramientas sea tedioso y propenso a errores (Ramaji et al., 2020). Por otro lado, la conversión de BIM a BEM no está estandarizada y varía según el usuario y la aplicación, limitando su aplicabilidad en todas las fases del ciclo de vida del edificio (Elnabawi, 2020a). Pezeshki et al. (2019), señalan que tanto los modelos en BIM y BEM proporcionan medios para almacenar geometría con datos atribuidos; sin embargo, esta información a menudo no se exporta con precisión con la herramienta BIM ni se puede interpretar con la herramienta BEM (Pezeshki et al., 2019a). En resumen, la falta de interoperabilidad entre BIM y BEM dificulta la entrega integrada de proyectos sostenibles y energéticamente eficientes (Prada-Hernández & Vargas, 2014). En adición, Kozlovska et al. (2023), concluyeron que la dirección de las próximas investigaciones, deben enfocarse en desarrollar estándares de interoperabilidad entre BEMS-BIM (Kozlovska et al., 2023)

Al revisar la literatura existente, se identificaron cinco revisiones sistemáticas sobre el tema. La primera revisión realizada por Ciccozzi et al. (2023), analiza en profundidad la interoperabilidad, pero no incluye la base de datos WoS, limitando su alcance. La segunda de (Alhammad et al., 2024), aborda diversos aspectos, pero con poca profundidad, limitándose a tres palabras claves y sin incluir un análisis bibliométrico que es crucial para evaluar el desarrollo y la evolución de esta metodología. Las tres revisiones restantes publicadas en 2019 (Alsharif & Ali Alsharif, 2019; Gao et al., 2019b; Pezeshki et al., 2019b), se consideran desactualizadas debido a que se enfocan únicamente en estudios hasta el año 2018, Como se puede ver existen antecedentes sobre los problemas de interoperabilidad, pero se hace necesario realizar una revisión sistemática y exhaustiva que permita ordenar e identificar estos problemas, considerando una cantidad de literatura relevante y estudios actualizados.

De esta manera, el objetivo de esta investigación es llevar a cabo una revisión sistemática que permita visualizar las interrelaciones en la integración de modelos BIM y BEM en la industria de la construcción. Además de identificar los avances logrados en esta implementación y los nichos de investigación que están pendientes, en la proporcionando directrices que faciliten una integración más eficaz entre ambos modelos en un futuro próximo. La revisión propuesta utilizara tanto WoS como Scopus, aplicando una búsqueda más amplia con diversas palabras claves relacionadas al tema y abarcando de 2019 al 2024. El propósito final es ofrecer una visión crítica sobre las áreas que requieren mayor investigación y desarrollo para optimizar la integración BIM-BEM y maximizar su impacto en la sostenibilidad y eficiencia energética de los edificios.

METODOLOGÍA

El proceso de búsqueda sistemática de literatura y la recuperación de registros se realizaron siguiendo las directrices de PRISMA (Page et al., 2021) y las recomendaciones para el proceso de búsqueda sistemática de (Bramer et al., 2018). En la Figura 1 y se detalla en las siguientes subsecciones.

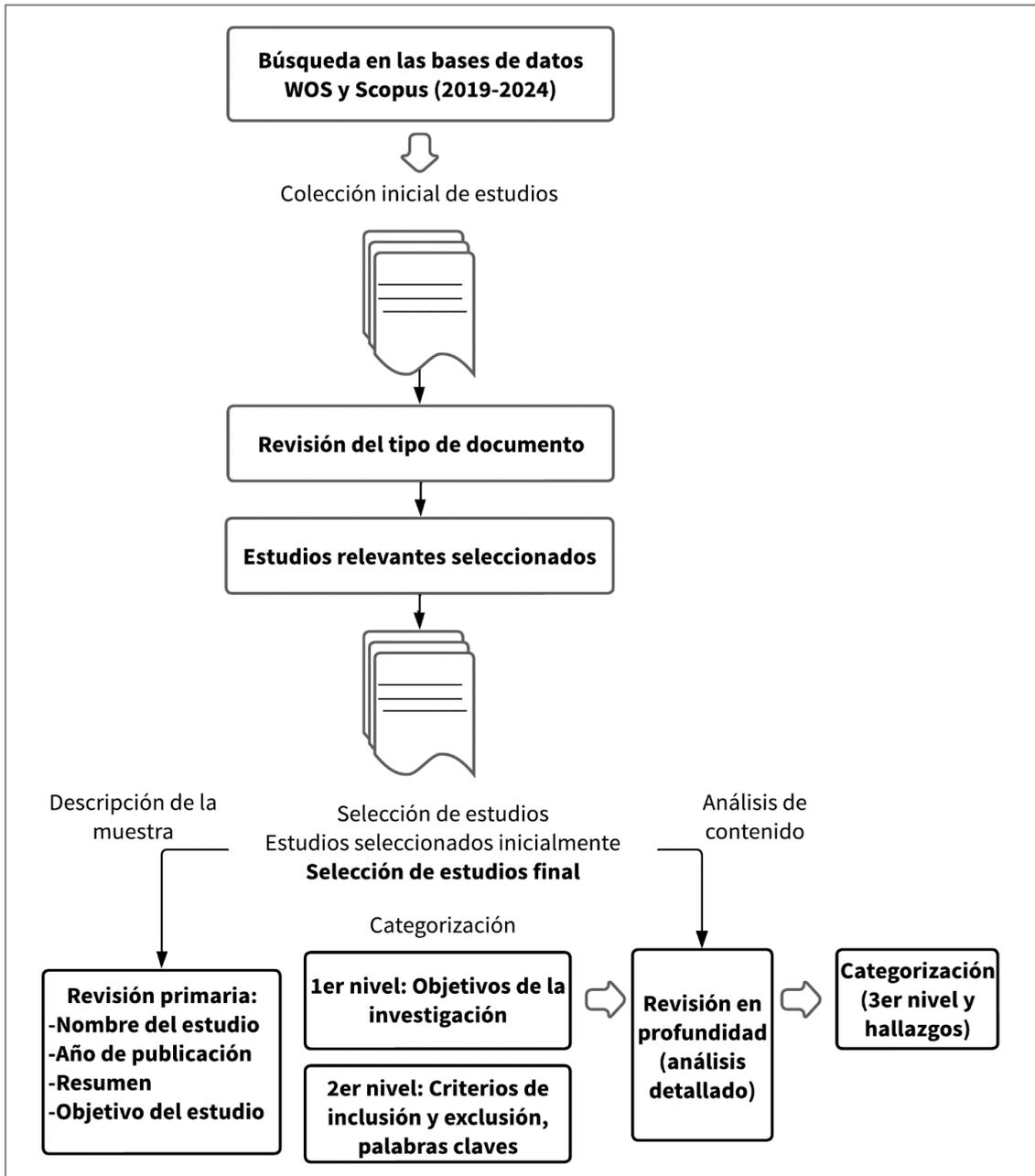


Figura 1. Esquema del proceso global de búsqueda sistemática basada en PRISMA 2019, traducido al español.

ESTRATEGIAS DE BÚSQUEDA

Esta investigación considera el análisis de artículos de revistas científicas (sólo artículos) de las bases de datos de Web of Science (WoS) y Scopus, abarcando documentos

publicados entre los años 2019 y 2024 (últimos 5 años), en inglés o español, con el fin de que los hallazgos sean actuales y útiles para la toma de decisiones. Las preguntas de investigación que originaron este estudio son:

1. ¿Qué artículos científicos han abordado la integración de modelos BEM y BIM en la literatura reciente?
2. ¿Cuáles son los avances actuales en la creación de modelos Building Energy Modeling (BEM) basados en Building Information Modeling (BIM), y qué brechas y nichos de investigación emergen como prioritarios para futuras investigaciones?

El proceso exploratorio inicial se basó en el estudio previo de la literatura y la experiencia del equipo de investigación. La estrategia de búsqueda consideró una combinación de términos booleanos clasificados en tres áreas temáticas (AA.TT.). La primera área temática (AT) aborda términos asociados a "BEM" y su integración con BIM. La segunda AT se enfoca en "BIM" como base para un modelo BEM. La tercera AT se enfoca en aspectos generales del tema. Para refinar el proceso de búsqueda, se utilizaron los operadores booleanos "AND" entre las AT y "OR" entre los conceptos incluidos en la misma AT de búsqueda. La Figura 2 representa las AT, palabras clave y operadores booleanos de la estrategia de búsqueda utilizada en esta investigación.

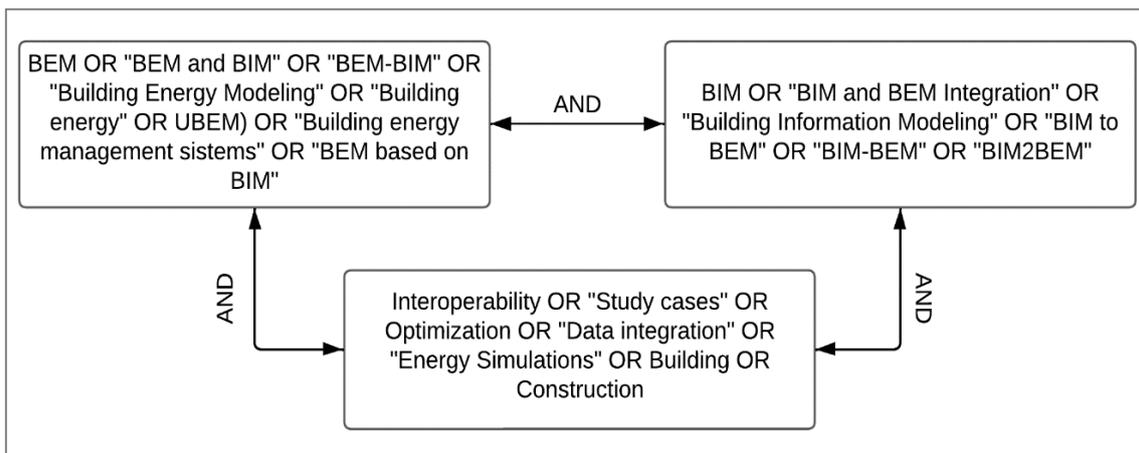


Figura 2. Combinación de términos booleanos utilizados en la estrategia de búsqueda.

ELEGIBILIDAD

En la primera selección de artículos, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión de la revisión sistemática.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos científicos publicados entre los años 2019 y 2024 para garantizar información actualizada.	Se excluyen los artículos publicados fuera del rango de años establecido (2019-2024).
Artículos científicos que aborden la integración de modelos BEM basados en BIM en la industria de la construcción.	Artículos que no estaban relacionados con la integración de BIM y BEM.

Estudios que presentan resultados empíricos, casos de estudio e información sobre el tema.	Se excluyen revisiones sistemáticas relacionadas a la investigación.
Artículos científicos que discuten las barreras de interoperabilidad entre BIM y BEM.	Artículos duplicados en las bases de datos.
Artículos de todos los países del mundo que se encuentren escritos en inglés o español.	Artículos que fueron solicitados y no llegaron a tiempo para la investigación y/o no se tuvo respuesta de parte de los autores.

SELECCIÓN DE ESTUDIOS

Se realizó la selección de estudios según el tipo de documento y su relevancia basada en la pertinencia al objetivo de estudio, métodos utilizados y alcance definido. Los artículos científicos de WoS y Scopus, fueron importados en la aplicación web y móvil gratuita “Rayyan” (Ouzzani et al., 2016), con el objeto de eliminar los artículos duplicados. Esto se realizó de manera manual y verificando el porcentaje de duplicación entre ambas bases, eliminando los duplicados de Scopus. A los artículos resultantes, se les aplicó el primer filtro de búsqueda, el cual consideró evaluar la pertinencia de los estudios seleccionados en función del título del artículo y el resumen. Posteriormente, los artículos seleccionados se revisaron y leyeron por completo. Para asegurar un análisis en profundidad de cada artículo seleccionado, se asignaron en partes iguales entre los autores de la investigación los artículos seleccionados, trabajando el análisis de manera independiente. En aquellos casos en que existieron dudas respecto a la inclusión de algún artículo por parte de los autores, se tomó la decisión final de forma conjunta. Finalmente, todos los artículos seleccionados fueron leídos y analizados tanto cuantitativamente como cualitativamente por cada autor. Los artículos que no entregaron datos específicos para analizar fueron excluidos del análisis final por no aportar al proceso.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

ANÁLISIS CUANTITATIVO

Se realiza una lectura en profundidad del contenido de los artículos científicos obtenidos para clasificarlos y evaluar su calidad. Se realiza un análisis bibliométrico para evaluar la relevancia, impacto e influencia cuantitativa de los artículos seleccionados a través de un examen detallado de los años de publicación de los artículos, distribución geográfica, y las revistas más frecuentes.

ANÁLISIS CUALITATIVO

Este análisis cualitativo de la información implica una exploración profunda de la integración de BIM y BEM proporcionando una comprensión contextualizada de los desafíos y oportunidades asociados. Se clasifican los hallazgos más relevantes de la creación de modelos BEM basados en modelos BIM, considerando la interoperabilidad, el uso de software y formatos de intercambio permitiendo la identificación de patrones y tendencias en la literatura revisada. Además, se elabora un gráfico de resumen que destaca con los avances más importantes en la integración de estos modelos.

El análisis también busca identificar tanto los desafíos como las oportunidades de la integración de BIM y BEM. Esto incluye un examen exhaustivo para entender las dificultades y ventajas de esta metodología, determinando los obstáculos que pueden

dificultar su implementación. Posteriormente, se elaboran tablas que agrupan tanto los avances, como los nichos de la integración. Esta tarea se lleva a cabo tras finalizar la lectura exhaustiva y la selección de los artículos definitivos, de los cuales se extrae la información relevante del tema. Identificando las brechas de la integración y las necesidades no cubiertas, con el fin de orientar futuras investigaciones y esfuerzos de desarrollo hacia estas áreas prioritarias.

RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSIÓN.

DETALLES DE LA BUSQUEDA SISTEMÁTICA

Para la búsqueda sistemática, se usó “All field” en WoS, y “Article title, Abstract, Keywords” en Scopus, combinando los operadores booleanos y palabras claves señalados en la Figura 2, lo que resultó en los datos de la Tabla 2.

Tabla 2. Estrategia de palabras claves y resultados de la búsqueda sistemática realizada el 11 de junio de 2024.

Concepto	Palabras Claves	Artículos de WoS	Artículos de Scopus	Número Total de artículos
BEM	BEM OR "BEM and BIM" OR "BEM-BIM" OR "Building Energy Modeling" OR "Building energy" OR UBEM) OR "Building energy management systems" OR "BEM based on BIM"	28264	45151	73415
BIM	BIM OR "BIM and BEM Integration" OR "Building Information Modeling" OR "BIM to BEM" OR "BIM-BEM" OR "BIM2BEM"	18314	30215	48529
Integración	Interoperability OR "Study cases" OR Optimization OR "Data integration" OR "Energy Simulations" OR Building OR Construction	4173580	5066667	9240247
Integración BIM y BEM	Combinación de palabras claves de las AA. TT. con el booleano “AND”	269	460	729

Se obtuvo un total de 729 artículos, de los cuales 269 eran de WoS y 460 era de Scopus. Se introdujeron a Rayyan versión estándar, permitiendo eliminar los duplicados. Se encontraron 185 duplicados esto fue de forma manual.

SELECCIÓN PRELIMINAR DE ARTÍCULOS.

En la Figura 3, se detallan 4 etapas que muestran el proceso de selección y exclusión de

artículos, mostrando los resultados en cada proceso.

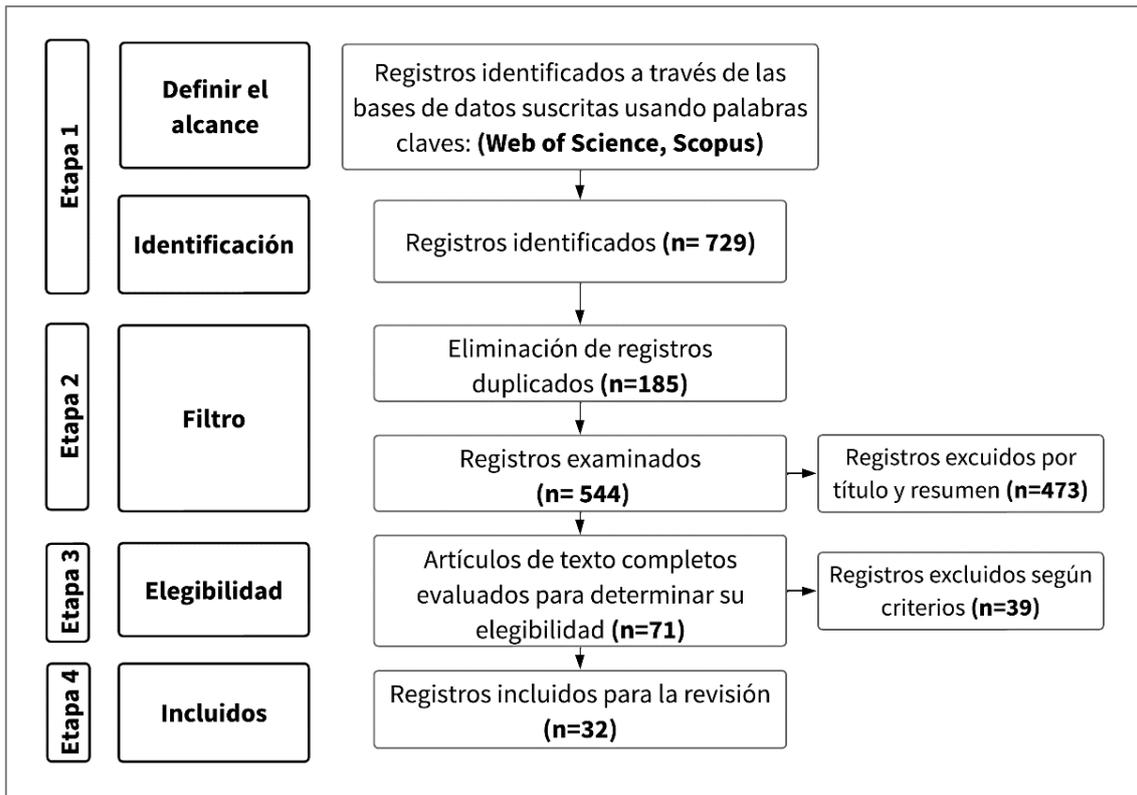


Figura 3: Esquema basado en el modelo PRISMA.

El proceso de selección de artículos, inició con la búsqueda en las bases de datos seleccionadas de acuerdo con la estrategia de búsqueda y los criterios de exclusión. De los 729 artículos científicos identificados, se eliminaron 185 duplicados, resultando 544 artículos únicos para analizar. Tras la lectura de títulos y resúmenes, se excluyeron 473 artículos que no eran relevantes para la investigación, dejando 71 artículos para la lectura en profundidad. Posterior a este proceso, se excluyeron 39 artículos que no contribuían al objetivo de la búsqueda, resultando 32 artículos para la síntesis cualitativa y cuantitativa.

LISTADO DE ARTÍCULOS CIENTIFICOS

La Tabla 3, presenta el listado de artículos seleccionados que fueron considerados en el análisis. La información específica que se incluye contempla el autor, año, país y base de dato donde se publicó.

Tabla 3. Listado de artículos seleccionados para la lectura en profundidad.

Nº	Referencia	Base de datos	Año de publicación	País
1	(Gong et al., 2019)	Scopus	2019	FRANCIA
2	(Spiridigliozzi et al., 2019)	Scopus	2019	ITALIA
3	(Xu et al., 2019)	Scopus	2019	EE.UU

4	(Ying & Lee, 2019)	Scopus	2019	CHINA
5	(Shalabi & Turkan, 2020)	Scopus	2020	TURQUÍA
6	(Sun et al., n.d.)	Scopus	2020	EE.UU
7	(Trani et al., 2021)	Scopus	2021	ITALIA
8	(Marchione & Ruperto, 2022)	Scopus	2022	ITALIA
9	(Massafra et al., 2022)	Scopus	2022	ITALIA
10	(Mediavilla et al., 2023)	Scopus	2023	ESPAÑA
11	(Odeh & de Wilde, 2023)	Scopus	2023	REINO UNIDO
12	(Stendal et al., 2023)	Scopus	2023	SUECIA
13	(Guo et al., 2023)	Scopus	2023	CHINA
14	(Elnabawi, 2020b)	WoS	2020	REINO UNIDO
15	(Alvarez & Ripoll-Meyer, 2020).	WoS	2020	ARGENTINA
16	(Álvarez et al., 2020)	WoS	2020	ARGENTINA
17	(Rocha et al., 2020)	WoS	2020	PORTUGAL
18	(Porsani et al., 2021b)	WoS	2021	ESPAÑA
19	(Bracht et al., 2021)	WoS	2021	BRASIL
20	(Carriço de Lima Montenegro Duarte et al., 2021)	WoS	2021	BRASIL
21	(Watfa et al., 2021b).	WoS	2021	Emiratos Árabes Unidos
22	(González et al., 2021)	WoS	2021	BRASIL
23	(Yang et al., 2022)	WoS	2022	CHINA
24	(Gutiérrez González et al., 2022)	WoS	2022	ESPAÑA
25	(Asdrubali et al., 2022)	WoS	2022	BELGICA
26	(Jung et al., 2023)	WoS	2023	COREA DEL SUR
27	(Kamel & Kazemian, 2023)	WoS	2023	EE.UU
28	(Z. Wu et al., 2023)	WoS	2023	FRANCIA
29	(Truong et al., 2023)	WoS	2023	VIETNAM
30	(Delgado et al., 2023)	WoS	2023	PORTUGAL
31	(González et al., 2024)	WoS	2024	AUSTRALIA
32	(Etemad et al., 2024)	WoS	2024	IRAN

ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO

ANÁLISIS DE ARTÍCULOS POR AÑO

La Figura 4 representando el número de artículos en el eje vertical y los años en el eje horizontal, este tipo de gráfico facilita la interpretación de la información de manera rápida y efectiva.

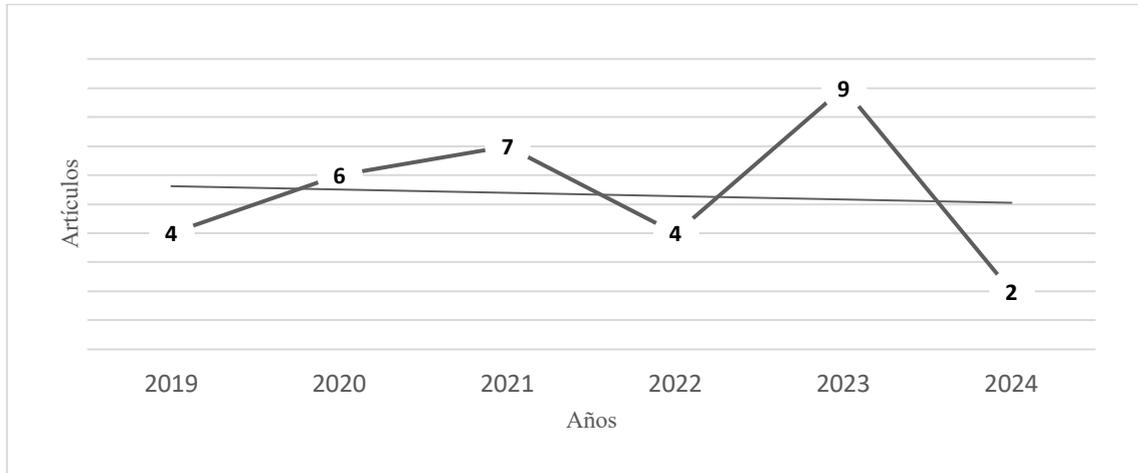


Figura 4: Grafico de artículos por año.

En general, la Figura 4 permite observar la evolución de la producción académica a lo largo del tiempo. Desde 2019 hasta 2021, se aprecia un aumento constante en la cantidad de artículos publicados, reflejando un creciente interés en la investigación sobre BIM y BEM. Sin embargo, en 2022, se registra una disminución en esta tendencia, probablemente debido al impacto de la pandemia de COVID-19, que afectó significativamente la producción académica y los proyectos de investigación. En 2023, se observa un notable repunte en el número de publicaciones, lo que podría indicar un renovado interés en la investigación y la publicación de trabajos que quedaron pendientes en 2022. En lo que va de 2024, se han identificado solo 2 artículos publicados; sin embargo, dado que el año aún no ha concluido, se espera que esta cifra aumente.

Cabe mencionar que, aunque la línea de tendencia segmentada muestra una aparente disminución entre 2019 y 2024, esto se debe a que la revisión sistemática solo contempló hasta el mes en que se realizó la búsqueda, identificando los 2 artículos mencionados para 2024. Por lo tanto, la tendencia al alza observada en años anteriores podría mantenerse una vez que se complete el año en curso.

ANÁLISIS DE ARTÍCULOS POR PAÍSES.

La Figura 5 presenta un gráfico de barras que compara el número de publicaciones entre naciones. Este enfoque permite identificar y comparar los países con mayor contribución en términos de publicaciones científicas la temática objetiva de la investigación.

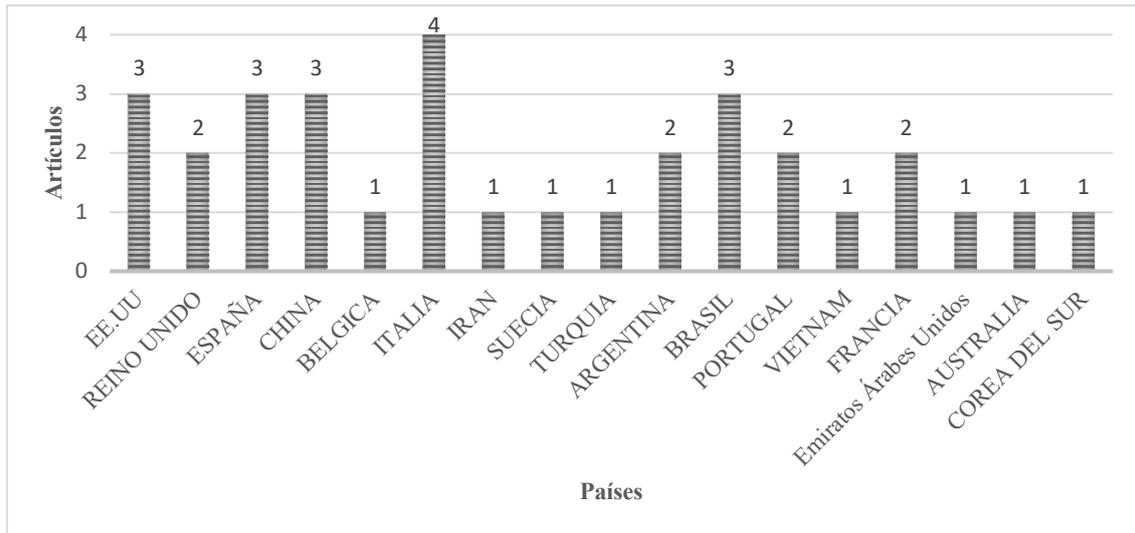


Figura 5: Grafico de artículos por País.

En la Figura 5, se presenta la distribución de la producción científica por país. Italia destaca como líder en esta área con 4 artículos, lo que indica que puede estar invirtiendo significativamente en tecnologías más avanzadas que proporciones sostenibilidad en las construcciones. Luego, le sigue EE.UU., España, China y Brasil con 3 artículos, representando un 9% de la producción científica. Esto podría deberse a que EE.UU. y China cuentan con los recursos y la infraestructura necesarios para respaldar la investigación, mientras que España y Brasil podrían estar priorizando la sostenibilidad en sus agendas de desarrollo. Reino Unido, Argentina, Portugal y Francia se quedan en el tercer lugar con 2 artículos, representando un 6% del total. Los países restantes, tienen 1 publicación cada uno.

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

INTEROPERABILIDAD ENTRE BIM Y BEM

La interoperabilidad BIM-BEM es esencial para integrar el análisis energético en las primeras etapas del proyecto de construcción, ya que, permite calcular la intensidad del uso de energía (EUI), asignar presupuestos energéticos anuales, comparar sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) y definir estándares de energía y confort (González et al., 2021).

En un caso de estudio realizado por Asdrubali et al. (2022) los problemas más complicados fueron la interpretación de balcones y sistemas de sombreado mediante el software BEM. Además, no fue posible intercambiar información sobre los sistemas HVAC y la generación de energía renovable. Estos problemas de interoperabilidad BIM-BEM hacen que el proceso de diseño sea ineficiente y menos automático (Yang et al., 2022).

A continuación, se presenta el análisis de los softwares BIM y BEM más utilizados en las investigaciones y un análisis de los formatos de intercambio de archivos involucrados.

SOFTWARE BIM MÁS UTILIZADOS.

En la Figura 6, se presentan los resultados del análisis sobre los softwares BIM más utilizados en las investigaciones revisadas. Este análisis permite identificar cuáles son las herramientas más adoptadas.

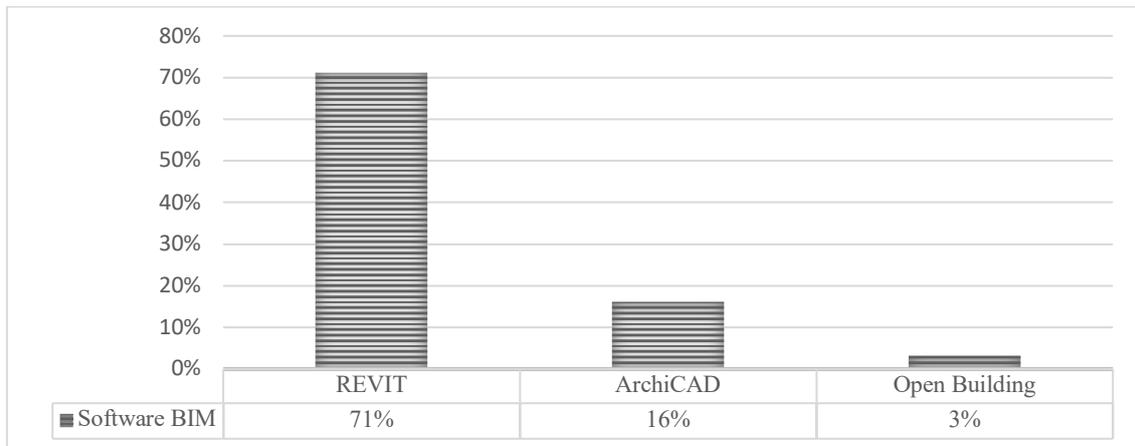


Figura 6: Softwares BIM más utilizado en la integración de BIM y BEM.

El uso de la tecnología BIM se está utilizando cada vez más en estudios relacionados con la eficiencia energética, ya que permite asignar información no gráfica a elementos modelados, como propiedades de materiales, puertas, paredes y techos (Carriço de Lima Montenegro Duarte et al., 2021). Según los resultados de la revisión, el software más utilizado para la integración entre BIM y BEM es Revit, con una tasa de adopción del 71%, seguido por ArchiCAD con un 16% y Open Building con un 3%.

Diversos autores señalan la elección de Revit por su aplicación en la industria (Asdrubali et al., 2022; Mediavilla et al., 2023). Revit es una opción adecuada y ventajosa para la interoperabilidad entre BIM y BEM (González et al., 2021). Su utilización permite modelar el edificio y, al asociarlo con la metodología BEM, evaluar el desempeño energético, térmico y de luz natural, mejorando así la eficiencia energética y los niveles de confort (González et al., 2024). El uso de Revit predomina en el Reino Unido y Canadá, donde genera geometría 3D y realiza análisis energéticos del edificio (Elnabawi, 2020c). Además, algunos autores han utilizado Autodesk Insight 360, una herramienta integrada en Revit que verifica el cumplimiento de la norma ASHRAE 90.1 y facilita el análisis y la optimización simultánea de energía de manera visual y automatizada (Carriço de Lima Montenegro Duarte et al., 2021; Sun et al., n.d.; Truong et al., 2023).

Por otro lado, algunos autores prefieren Graphisoft Archicad, dado que es uno de los softwares más comunes en las etapas de diseño. Archicad ayuda a evitar duplicidades y conflictos, lo que potencialmente facilita la replicación de esta investigación (Marchione & Ruperto, 2022). El software de eficiencia energética de Archicad (Ecodesigner), es considerado uno de los más precisos, con un rango de error menor al 5% en las evaluaciones de rendimiento energético (Álvarez et al., 2020). En resumen, tanto Revit como ArchiCAD son valorados por su facilidad de uso, lo que beneficia la evaluación en etapas tempranas de diseño (Alvarez & Ripoll-Meyer, 2020).

SOFTWARE BEM MÁS UTILIZADOS.

En la Figura 7, se aprecian los softwares BEM que más se utilizaron en las publicaciones analizadas.

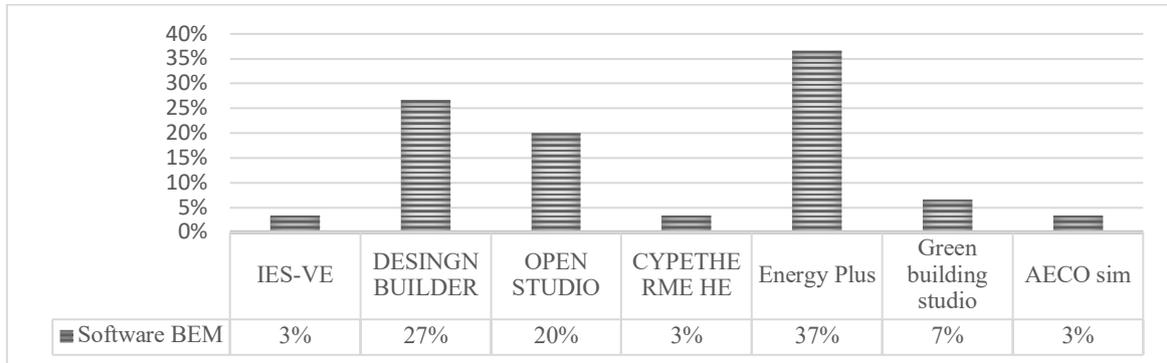


Figura 7: Softwares BEM más utilizado en la integración de BIM y BEM.

EnergyPlus lidera el interés en su uso, con un 37% de menciones en los artículos analizados (Álvarez et al., 2020; Alvarez & Ripoll-Meyer, 2020; Asdrubali et al., 2022; Bracht et al., 2021; Gutiérrez González et al., 2022; Jung et al., 2023; Mediavilla et al., 2023; Shalabi & Turkan, 2020; Z. Wu et al., 2023; Yang et al., 2022). DesignBuilder alcanza un 27% de las menciones (Asdrubali et al., 2022; Carriço de Lima Montenegro Duarte et al., 2021; Delgado et al., 2023; Elnabawi, 2020c; Etemad et al., 2024; Jung et al., 2023; Porsani et al., 2021b; Rocha et al., 2020), Open Studio alcanza un 20 % en la mención en artículos (Kamel & Kazemian, 2023; Marchione & Ruperto, 2022; Porsani et al., 2021b; Sun et al., n.d.; Xu et al., 2019; Yang et al., 2022), luego Green Building Studio con un 7 % y IES-VE, Cypertherm He, y AECOsim con un 3 % cada uno.

FORMATOS DE INTERCAMBIO MÁS UTILIZADOS.

En la Figura 8, se aprecian los formatos de intercambio de información entre modelos BIM y BEM que más se utilizaron en las publicaciones analizadas.

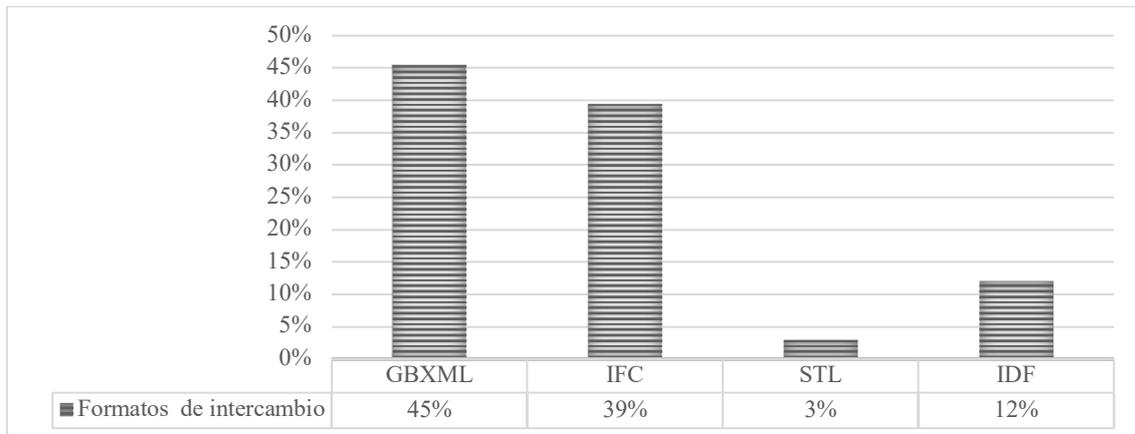


Figura 8: Formatos de intercambio de información más utilizado en la integración de BIM y BEM.

El análisis de los formatos de intercambio de información en estudios BIM y BEM revela

que gbXML es el más utilizado, con un 45% de menciones en los artículos revisados, seguido por IFC con un 39%, IDF con un 12%, y STL con un 3%.

Jung et al, (2023) señalan que el formato gbXML se ha adoptado debido a que es un lenguaje de marcado extensible (XML) de código abierto desarrollado por Green Building Studio, considerado más sencillo que la clase básica industrial (IFC) (Jung et al., 2023; Watfa et al., 2021b). Además, gbXML se ha probado con EnergyPlus para demostrar su capacidad de facilitar un intercambio de geometría fluido entre BIM y BEM (Yang et al., 2022). El formato gbXML se utiliza principalmente para transferir datos relacionados con la energía y la temperatura del edificio, mientras que IFC modela toda la geometría del edificio, las características de los materiales y los cronogramas. A pesar de sus similitudes, IFC no considera las características energéticas del edificio (Watfa et al., 2021b).

Porsani et al. (2021b) indican que no se puede confiar completamente en los modelos de energía creados con gbXML o IFC como referencia para BIM, ya que presentan propiedades térmicas y valores de geometría diferentes al modelo de referencia, lo que lleva a resultados de simulación distintivos y erróneos.

El formato IFC, desarrollado por buildingSMART, es un estándar global y es compatible con herramientas como IES-VE y OpenStudio, que facilitan las transformaciones geométricas necesarias. El módulo de verificación IDF completa la información esencial para el análisis energético al convertir datos de gbXML.

AVANCES DE LA METODOLOGÍA BIM Y BEM

En la Tabla 4, se clasifican por enfoque las publicaciones analizadas, incluyendo la referencia respectiva.

Tabla 4. Avances de la metodología BIM y BEM clasificados por enfoques

Enfoques de los avances	Referencia
Ahorro de costos	(Delgado et al., 2023; Mediavilla et al., 2023; Porsani et al., 2021b; Rocha et al., 2020; Spiridigliozzi et al., 2019; Watfa et al., 2021b)
Automatización del proceso	(Elnabawi, 2020c; Mediavilla et al., 2023; Trani et al., 2021)
Contribución al conocimiento	(Sun et al., n.d.)
Enfoque en edificios históricos	(Massafra et al., 2022; Rocha et al., 2020; Trani et al., 2021)
Facilita la toma de decisiones	(Álvarez et al., 2020; Gong et al., 2019; González et al., 2021, 2024; Mediavilla et al., 2023; Porsani et al., 2021b; Stendal et al., 2023; Watfa et al., 2021b)
Flexibilidad en diseño y Operación	(Elnabawi, 2020c; Kamel & Kazemian, 2023)
Información Energética	(Truong et al., 2023; Watfa et al., 2021b)
Interoperabilidad	(Z. Wu et al., 2023; Xu et al., 2019)

Mayor competitividad	(Porsani et al., 2021b)
Mejora eficiencia energética	(Alvarez & Ripoll-Meyer, 2020; Asdrubali et al., 2022; González et al., 2021; Gutiérrez González et al., 2022; Jung et al., 2023; Kamel & Kazemian, 2023; Odeh & de Wilde, 2023; Spiridigliozzi et al., 2019; Z. Wu et al., 2023; Yang et al., 2022; Ying & Lee, 2019)
Optimización	(Bracht et al., 2021; Etemad et al., 2024; González et al., 2024; Gutiérrez González et al., 2022; Rocha et al., 2020; Truong et al., 2023; Watfa et al., 2021b)
Precisión mejorada	(Alvarez & Ripoll-Meyer, 2020; Delgado et al., 2023; Elnabawi, 2020c; González et al., 2021, 2024; Jung et al., 2023; Kamel & Kazemian, 2023; Odeh & de Wilde, 2023; Z. Wu et al., 2023; Ying & Lee, 2019)
Posibilidad de aplicación futura	(Bracht et al., 2021; González et al., 2021; Rocha et al., 2020)
Reducción de Tiempo y esfuerzo	(Álvarez et al., 2020; Elnabawi, 2020c; Kamel & Kazemian, 2023; Mediavilla et al., 2023; Spiridigliozzi et al., 2019; Trani et al., 2021)

La Figura 9 se destaca la "mejora de la eficiencia energética" con un 17% del total, y la "precisión mejorada de los datos" con un 15% del total. Los avances subsecuentes incluyen "facilitar la toma de decisiones" (12%), "optimización del diseño" (11%), "ahorro de costos" (9%), "reducción de tiempo y esfuerzo" (9%), "automatización del proceso" (5%), "enfoque en edificios históricos" (5%), "aplicaciones futuras" (5%), "información energética" (3%), "interoperabilidad" (3%), "flexibilidad en diseño y operación" (3%), "contribución al conocimiento" (2%) y "mayor competitividad" (2%).

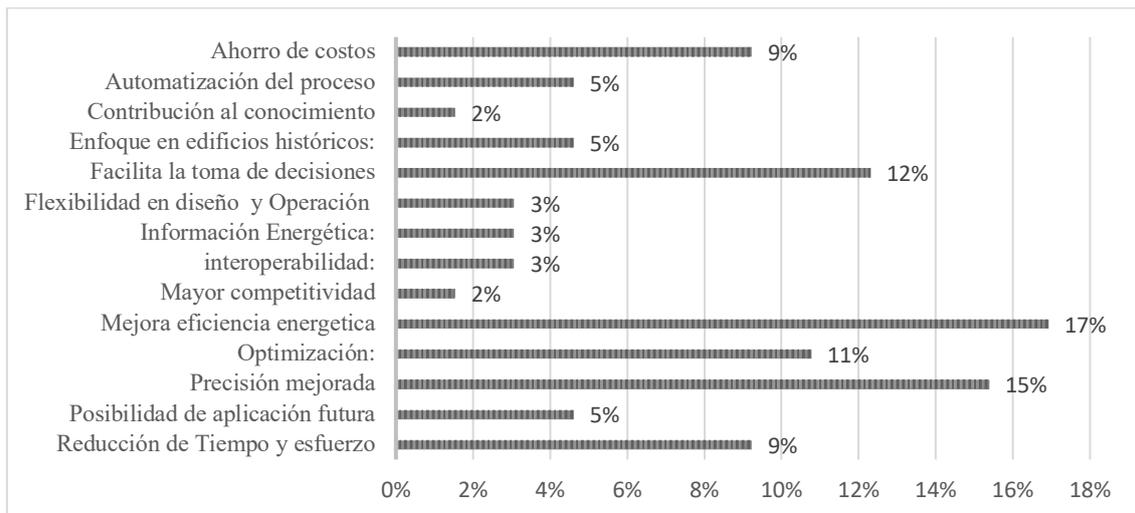


Figura 9: Grafico de avances de la metodología BIM y BEM. Fuente: Elaboración propia.

Este gráfico muestra que los principales avances contribuyen significativamente a la mejora de eficiencia energética y la precisión de datos, lo que ayuda para optimizar el consumo energético y aumentar la precisión del modelado lo que ayuda a mitigar los impactos ambientales. La facilitación de la toma de decisiones también es relevante ya que ayudan a los profesionales a tomar decisiones más informadas. Además, la optimización refleja el impacto positivo en la mejora de procesos, permitiendo un diseño y operación más eficiente. Sin embargo, la automatización del proceso e interoperabilidad son desafíos que aún se enfrentan en la integración, especialmente en términos de integración y automatización, esto indica que la comunidad científica continúa explorando y mejorando su aplicación para maximizar sus beneficios en la industria de la construcción.

NICHOS DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA INTEGRACIÓN ENTRE BIM Y BEM.

En la Tabla 4.6.2.1., se clasifican los nichos de investigación clasificados por enfoque de las publicaciones analizadas, incluyendo la referencia respectiva.

Tabla 5 Nichos de investigación sobre la integración entre BIM y BEM clasificadas por enfoques.

Enfoques de los nichos de investigación	Referencias
Automatización del diseño	(Bracht et al., 2021; Kamel & Kazemian, 2023)
Complejidad del proceso	(Cariço de Lima Montenegro Duarte et al., 2021; González et al., 2021; Jung et al., 2023; Sun et al., n.d.)
Complejidad en edificios grandes	(Etemad et al., 2024; Porsani et al., 2021b)
Interoperabilidad	(Asdrubali et al., 2022; Bracht et al., 2021; Cariço de Lima Montenegro Duarte et al., 2021; Delgado et al., 2023; Elnabawi, 2020c; González et al., 2021, 2024; Guo et al., 2023; Jung et al., 2023; Marchione & Ruperto, 2022; Mediavilla et al., 2023; Odeh & de Wilde, 2023; Porsani et al., 2021b; Sun et al., n.d.; Yang et al., 2022)
Precisión de los datos	(González et al., 2021; Guo et al., 2023; Porsani et al., 2021b)
Procesos no estandarizados	(Asdrubali et al., 2022; Elnabawi, 2020c; Odeh & de Wilde, 2023)
Soluciones óptimas	(Truong et al., 2023)

La Figura 10 se aprecia que mayoritariamente los nichos de investigación se clasifican dentro del enfoque “Interoperabilidad”, alcanzando un 50% del total. Los enfoques subsecuentes de los nichos de investigación incluyen “Complejidad del proceso” (13%), “Precisión de datos” (10%), “Procesos no estandarizados” (10%), “Automatización del diseño” (7%), “Complejidad de edificios grandes” (7%), y “Soluciones óptimas” (3%).

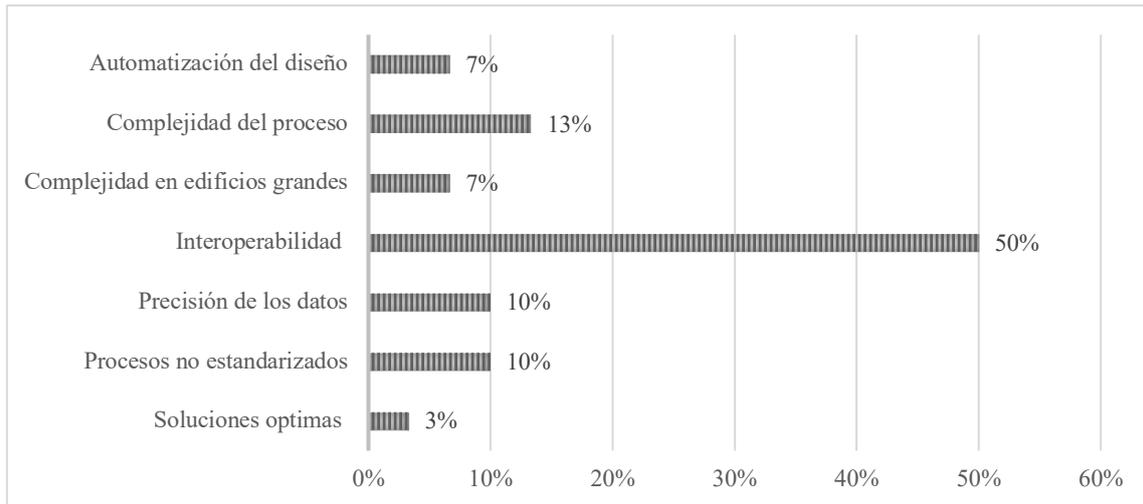


Figura 10: Grafico de los nichos de investigación de la integración entre BIM y BEM.

El gráfico sobre nichos de investigación destaca la interoperabilidad como el área más crucial representando un 50% de menciones. Esto refleja la necesidad de que los diferentes sistemas y herramientas compartan información de manera efectiva, ya que la interoperabilidad puede causar problemas como la pérdida de datos o que se deban insertar datos de forma manual siendo un desafío para los proyectos. La complejidad del proceso y la precisión de datos también son temas importantes ya que la integración de BIM y BEM requieren una gestión y coordinación precisa. La falta de estandarización es otro desafío clave que impide la consistencia de un proyecto. Aunque áreas como automatización del diseño y la complejidad en edificio grandes tienen menos menciones en los artículos también son importantes para mejorar la eficiencia energética. Por ello, existe la necesidad que futuras investigaciones puedan abordar estos nichos para avanzar en la eficiencia y efectividad de los proyectos.

CONCLUSIONES

Esta investigación revela un creciente interés global en la convergencia de BIM y BEM a lo largo de los últimos años, con un aumento notable en la cantidad de publicaciones académicas desde 2019. Lo que refleja la creciente importancia de la eficiencia energética y la sostenibilidad en la industria de la construcción.

El software Revit se destaca como la herramienta más utilizada para BIM, con un 71% de participación en los estudios, mientras que EnergyPlus es preferido para BEM, abarcando el 37% de los casos estudiados. Esta preferencia indica una tendencia hacia la adopción de herramientas robustas y especializadas para abordar los desafíos de la simulación energética en el diseño y gestión de edificios.

Un aspecto crítico identificado es la interoperabilidad entre BIM y BEM, abordando en aproximadamente el 50% de los estudios revisados, lo que refleja la necesidad de desarrollar estándares y prácticas que faciliten una integración fluida entre estas tecnologías. Mejorar la interoperabilidad no solo optimizaría la eficiencia energética de

los edificios, sino que también impulsaría la competitividad y sostenibilidad ambiental en la industria de la construcción.

La investigación cumple con los objetivos propuestos y con las preguntas formuladas en la metodología ya que se proporcionó un análisis detallado y fundamentado sobre el actual del conocimiento en este ámbito identificando los softwares y formatos de intercambio más utilizados además de identificar los avances y nichos que aún están presentes en esta metodología. Es importante señalar que este estudio es de carácter teórico, ya que se ha basado íntegramente en la revisión de la literatura existente. Dentro de la investigación se presentaron algunas limitaciones como el acceso restringido a ciertos artículos, la falta de recursos financieros. Estas dificultades, sumadas a las restricciones de tiempo impuestos por la universidad donde se realizó la investigación. A pesar de estos desafíos, se hizo un esfuerzo considerable para compensar estas limitaciones utilizando las fuentes disponibles y optimizando el tiempo asignado.

Este estudio contribuye de manera significativa el entendimiento global de la integración de modelos BIM y BEM al proporcionar un análisis sobre la interoperabilidad, tanto a nivel de software como de formatos de intercambio más utilizados, esta investigación ofrece una visión más clara y precisa de donde se encuentran los principales desafíos y problemas en esta integración. Además, se destacan otros hallazgos cruciales que subrayan la importancia y el valor de utilizar esta metodología, no solo para mejorar la interoperabilidad entre BIM y BEM, sino también para optimizar el diseño y la gestión energética en la construcción al clarificar los beneficios y las áreas de mejora, este estudio no solo fomenta un interés académico y profesional en la adopción de estas herramientas.

Se sugiere que las futuras investigaciones puedan enfocarse en continuar resolviendo los problemas como la interoperabilidad, precisión de datos y además implementar enfoques innovadores como gemelos digitales a la integración BIM y BEM para mejorar la precisión de las predicciones energéticas y su confiabilidad. Este trabajo, por lo tanto, no solo contribuye el conocimiento actual, sino que también abre nuevas vías para la investigación y la implementación de prácticas más avanzadas de BIM y BEM.

REFERENCIAS

- Abanda, F. H., Tah, J. H. M., & Cheung, F. K. T. (2013). Mathematical modelling of embodied energy, greenhouse gases, waste, time-cost parameters of building projects: A review. *Building and Environment*, 59, 23–37. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.07.014>
- Aguilar, J., Garces-Jimenez, A., R-Moreno, M. D., & García, R. (2021). A systematic literature review on the use of artificial intelligence in energy self-management in smart buildings. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 151). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111530>
- Alhammad, M., Eames, M., & Vinai, R. (2024). Enhancing Building Energy Efficiency through Building Information Modeling (BIM) and Building Energy Modeling (BEM) Integration: A Systematic Review. In *Buildings* (Vol. 14, Issue 3). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

<https://doi.org/10.3390/buildings14030581>

Alsharif, R., & Ali Alsharif, R. (2019). A review on the challenges of BIM-based BEM automated application in AEC industry. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26102.55366>

Álvarez, A. A., Ripoll, V., Campos, L., & Ortega, A. (2020). Lineamientos para la implementación BIM en la evaluación ambiental de la vivienda social. *Estoa*, 9(18), 79–90. <https://doi.org/10.18537/est.v009.n018.a07>

Alvarez, A. A., & Ripoll-Meyer, M. V. (2020). Proposal for the implementation of the bim methodology in an classroom experience focused on building sustainability. *Habitat Sustentable*, 10(1), 32–43. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.03>

Asdrubali, F., Manzo, M., & Grazieschi, G. (2022). Interoperability between BIM and building energy modelling - a case study. *Building Simulation Conference Proceedings*, 2063–2069. <https://doi.org/10.26868/25222708.2021.30849>

Bazjanac, V. (2008). IFC BIM-Based Methodology for Semi-Automated Building Energy Performance Simulation.

Bracht, M. K., Melo, A. P., & Lamberts, R. (2021). A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage. *Automation in Construction*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103422>

Bramer, W. M., de Jonge, G. B., Rethlefsen, M. L., Mast, F., & Kleijnen, J. (2018). A systematic approach to searching: An efficient and complete method to develop literature searches. *Journal of the Medical Library Association*, 106(4), 531–541. <https://doi.org/10.5195/jmla.2018.283>

Cariço de Lima Montenegro Duarte, J. G., Ramos Zemeró, B., Dias Barreto de Souza, A. C., de Lima Tostes, M. E., & Holanda Bezerra, U. (2021). Building Information Modeling approach to optimize energy efficiency in educational buildings. *Journal of Building Engineering*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102587>

Celik, Y., Barbero, I., Hodorog, A., Petri, I., & Rezgüi, Y. (2024). Blockchain for energy efficiency training in the construction industry. *Education and Information Technologies*, 29(1), 323–349. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12261-y>

Chen, Y., Liu, B., Shen, Y., & Wang, X. (2016). The energy efficiency of China's regional construction industry based on the three-stage DEA model and the DEA-DA model. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(1), 34–47. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0553-3>

Ciccozzi, A., de Rubeis, T., Paoletti, D., & Ambrosini, D. (2023). BIM to BEM for Building Energy Analysis: A Review of Interoperability Strategies. In *Energies* (Vol. 16, Issue 23). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/en16237845>

Delgado, J. M. P. Q., Guimarães, A. S., Poças Martins, J., Parracho, D. F. R., Freitas, S. S., Lima, A. G. B., & Rodrigues, L. (2023). BIM and BEM Interoperability–

- Evaluation of a Case Study in Modular Wooden Housing. *Energies*, 16(4). <https://doi.org/10.3390/en16041579>
- Elnabawi, M. H. (2020a). Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results. *Frontiers in Built Environment*, 6. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.573971>
- Elnabawi, M. H. (2020b). Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results. *Frontiers in Built Environment*, 6. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.573971>
- Elnabawi, M. H. (2020c). Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results. *Frontiers in Built Environment*, 6. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.573971>
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). An evaluation of environmental impacts of construction projects Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. www.ricuc.cl
- Etemad, A., Zare, N., Shafaat, A., & Bahman, A. M. (2024). Assessing strategies for retrofitting cooling systems in historical buildings. *Energy Reports*, 11, 1503–1516. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.01.017>
- Gao, H., Koch, C., & Wu, Y. (2019a). Building information modelling based building energy modelling: A review. In *Applied Energy* (Vol. 238, pp. 320–343). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>
- Gao, H., Koch, C., & Wu, Y. (2019b). Building information modelling based building energy modelling: A review. In *Applied Energy* (Vol. 238, pp. 320–343). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>
- Gong, X., Michel, P., & Cantin, R. (2019). Multiple-criteria decision analysis of BIM influences in building energy management. *Building Simulation*, 12(4), 641–652. <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0534-4>
- González, J., Da Costa, B. B. F., Tam, V. W. Y., & Haddad, A. (2024). Effects of latitude and building orientation in indoor-illuminance levels towards energy efficiency. *International Journal of Construction Management*, 24(7), 784–798. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2215087>
- González, J., Soares, C. A. P., Najjar, M., & Haddad, A. N. (2021). Bim and bem methodologies integration in energy-efficient buildings using experimental design. *Buildings*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/buildings11100491>
- Guo, M., Xu, P., Wang, H., Gu, J., & Chen, Z. (2023). Building energy modelling based on building information modelling: the remaining problems and a more robust method. *Building Simulation Conference Proceedings*, 18, 1867–1874. <https://doi.org/10.26868/25222708.2023.1412>
- Gutiérrez González, V., Ramos Ruiz, G., & Fernández Bandera, C. (2022). Ground characterization of building energy models. *Energy and Buildings*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111565>

- Herbinger, F., Vandenhof, C., & Kummert, M. (2023). Building energy model calibration using a surrogate neural network. *Energy and Buildings*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113057>
- José, P., Martínez, P., Monzón, A., & Cáceres, D. E. (2008). Palabras clave: emisiones medidas, emisiones de CO₂, escenarios, eficiencia. In *Observatorio Medioambiental* (Vol. 127).
- Jung, D. E., Kim, S., Han, S., Yoo, S., Jeong, H., Lee, K. H., & Kim, J. (2023). Appropriate level of development of in-situ building information modeling for existing building energy modeling implementation. *Journal of Building Engineering*, 69, 106233. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106233>
- Kamel, E., & Kazemian, A. (2023). BIM-integrated thermal analysis and building energy modeling in 3D-printed residential buildings. *Energy and Buildings*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112670>
- Kozlovska, M., Petkanic, S., Vranay, F., & Vranay, D. (2023). Enhancing Energy Efficiency and Building Performance through BEMS-BIM Integration. In *Energies* (Vol. 16, Issue 17). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/en16176327>
- Li, L., & Li, Y. (2023). The Spatial Relationship between CO₂ Emissions and Economic Growth in the Construction Industry: Based on the Tapio Decoupling Model and STIRPAT Model. *Sustainability* (Switzerland), 15(1). <https://doi.org/10.3390/su15010528>
- Liang, X., Lin, S., Bi, X., Lu, E., & Li, Z. (2020). Chinese construction industry energy efficiency analysis with undesirable carbon emissions and construction waste outputs. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11632-z/Published>
- Marchione, P., & Ruperto, F. (2022). PROTOTYPING A DIGITAL TWIN - A CASE STUDY of A “U-SHAPED” MILITARY BUILDING. *International Journal of Energy Production and Management*, 7(1), 83–94. <https://doi.org/10.2495/EQ-V7-N1-83-94>
- María, L., & Moreno, V. (2019). Construcciones sostenibles, impactos ambientales Sustainable constructions, environmental impacts Construir y transformar Build and transform.
- Massafra, A., Predari, G., & Gulli, R. (2022). TOWARDS DIGITAL TWIN DRIVEN CULTURAL HERITAGE MANAGEMENT: A HBIM-BASED WORKFLOW FOR ENERGY IMPROVEMENT OF MODERN BUILDINGS. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 46(5/W1-2022), 149–157. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-5-W1-2022-149-2022>
- Mediavilla, A., Elguezabal, P., & Lasarte, N. (2023). Graph-Based methodology for Multi-Scale generation of energy analysis models from IFC. *Energy and Buildings*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112795>
- Odeh, K., & de Wilde, P. (2023). Exploring the Potential of Digital Twins at the District

- Scale: a Framework for Investigation. *Building Simulation Conference Proceedings*, 18, 516–523. <https://doi.org/10.26868/25222708.2023.1201>
- O'donnell, J. T., Maile, T., Rose, C., Mrazović, N., Morrissey, E., Regnier, C., Parrish, K., & Bazjanac, V. (2013). LBNL-XXXX Transforming BIM to BEM: Generation of Building Geometry for the NASA Ames Sustainability Base BIM.
- Ouzzani, M., Hammady, H., Fedorowicz, Z., & Elmagarmid, A. (2016). Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>
- Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., Mcdonald, S., ... Mckenzie, J. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. In *The BMJ* (Vol. 372). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>
- Petrushevski, F., Montazer, M., Seifried, S., Schiefer, C., Zucker, G., Preindl, T., Suter, G., & Kastner, W. (2018). Use cases for improved analysis of energy and comfort related parameters based on BIM and BEMS data. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10864 LNCS, 391–413. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91638-5_22
- Pezeshki, Z., Soleimani, A., & Darabi, A. (2019a). Application of BEM and using BIM database for BEM: A review. In *Journal of Building Engineering* (Vol. 23, pp. 1–17). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.021>
- Pezeshki, Z., Soleimani, A., & Darabi, A. (2019b). Application of BEM and using BIM database for BEM: A review. *Journal of Building Engineering*, 23, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.021>
- Porsani, G. B., Del Valle De Lersundi, K., Sánchez-Ostiz Gutiérrez, A., & Fernández Bandera, C. (2021a). Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM). <https://doi.org/10.3390/app11052167/Academic>
- Porsani, G. B., Del Valle De Lersundi, K., Sánchez-Ostiz Gutiérrez, A., & Fernández Bandera, C. (2021b). Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM). <https://doi.org/10.3390/app11052167/Academic>
- Prada-Hernández, A., & Vargas, H. (2014). Interoperabilidad de la Modelación Energética de Edificaciones (BEM) con el Modelado de Información de Construcción (BIM): Experiencia con el diseño de un edificio de oficinas en Colombia.
- Ramaji, I. J., Messner, J. I., & Mostavi, E. (2020). IFC-Based BIM-to-BEM Model Transformation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 34(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000880](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000880)

- Rocha, A., Pinto, D., Ramos, N. M. M., Almeida, R. M. S. F., Barreira, E., Simões, M. L., Martins, J. P., Pereira, P. F., & Sanhudo, L. (2020). A case study to improve the winter thermal comfort of an existing bus station. *Journal of Building Engineering*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101123>
- Shalabi, F., & Turkan, Y. (2020). Bim-energy simulation approach for detecting building spaces with faults and problematic behavior. *Journal of Information Technology in Construction*, 25, 342–360. <https://doi.org/10.36680/J.ITCON.2020.020>
- Spiridigliozzi, G., Pompei, L., Cornaro, C., Santoli, L. De, & Bisegna, F. (2019). BIM-BEM support tools for early stages of zero-energy building design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 609(7). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/609/7/072075>
- Stendal, M. F., Ferreira, T., & Dubois, M. C. (2023). BEM to BIM in the early design phase: A comparison between static and dynamic heating energy predictions. *Journal of Physics: Conference Series*, 2600(6). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/6/062006>
- Sun, A., Hu, R., & Gowri, Z. (n.d.). UC Berkeley UC Berkeley Previously Published Works Title Improving the Interoperability of gbXML Data Model through Redefining Data Mapping Rules of HVAC Systems Publication Date. In *Journal ASHRAE 2020 Annual Conference* (Vol. 126, Issue 2). <https://escholarship.org/uc/item/1899g42q>
- Trani, M. L., Ruschi, M., & Ripamonti, F. (2021). Cross information and BIM interoperability tools for energy retrofit analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 863(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/863/1/012049>
- Truong, N. S., Luong, D. L., & Nguyen, Q. T. (2023). BIM to BEM Transition for Optimizing Envelope Design Selection to Enhance Building Energy Efficiency and Cost-Effectiveness. *Energies*, 16(10). <https://doi.org/10.3390/en16103976>
- Wang, Z., & Srinivasan, R. S. (2017). A review of artificial intelligence based building energy use prediction: Contrasting the capabilities of single and ensemble prediction models. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 75, pp. 796–808). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.079>
- Watfa, M. K., Hawash, A. E., & Jaafar, K. (2021a). Using building information & energy modelling for energy efficient designs. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 427–440. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.023>
- Watfa, M. K., Hawash, A. E., & Jaafar, K. (2021b). Using building information & energy modelling for energy efficient designs. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 427–440. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.023>
- World Economic Forum Annual Meeting 2018. (2024). World Economic Forum Annual Meeting 2018 | Foro Económico Mundial. <https://es.weforum.org/events/world-economic-forum-annual-meeting-2018/>
- Wrobel, J., Sanabria Walter, P., & Schmitz, G. (2013). Performance of a solar assisted air conditioning system at different locations. *Solar Energy*, 92, 69–83.

<https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.02.030>

- Wu, X., Ma, T., Zhang, J., & Shi, B. (2023). The role of construction industry and construction policy on sustainable rural development in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 7942–7955. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22632-6>
- Wu, Z., Cheng, J. C. P., Wang, Z., & Kwok, H. H. L. (2023). An ontology-based framework for automatic building energy modeling with thermal zoning. *Energy and Buildings*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113267>
- Xu, W., Chong, A., Lam, K. P., & Wang, H. (2019). A new BIM to BEM framework: The development and verification of an open-source gbXML to EnergyPlus translator for supporting building life cycle performance analysis. *Building Simulation Conference Proceedings*, 4, 2659–2666. <https://doi.org/10.26868/25222708.2019.210837>
- Yang, Y., Pan, Y., Zeng, F., Lin, Z., & Li, C. (2022). A gbXML Reconstruction Workflow and Tool Development to Improve the Geometric Interoperability between BIM and BEM. *Buildings*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/buildings12020221>
- Ying, H., & Lee, S. (2019). An algorithm to facet curved walls in IFC BIM for building energy analysis. *Automation in Construction*, 103, 80–103. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.004>