

Estado de la publicación: El preprint no ha sido enviado para publicación

Avances y progresos en la investigación científica en el modelado de información para la construcción (BIM)

Luz Yolanda Morales Martín

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18345>

Enviado en: 2026-10-08

Postado en: 2026-10-09 (versión 1)

(AAAA-MM-DD)

Avances y retos de la investigación científica en la modelación de la información de la construcción (BIM)

Luz Yolanda Morales Martín*

Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería,
Programa de Ingeniería Civil, Bogotá, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8152-5594>

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en una revisión bibliográfica de 34 artículos científicos sobre temas relacionados con la modelación de la información de la construcción (BIM) de los últimos 5 años (2018–2023), publicados en la base de datos bibliográficos Science Direct. El propósito de la revisión fue conocer cómo ha sido la evolución de BIM y determinar las tendencias, desafíos y retos de la investigación en este campo. La metodología desarrollada comprendió la selección de los documentos, el análisis bibliométrico, el análisis de contenido, el análisis sistémico y la identificación de brechas y retos. Inicialmente los artículos seleccionados se clasificaron según las temáticas que trataron. Luego se revisaron las metodologías y resultados obtenidos de cada artículo para determinar los principales hallazgos, retos y desafíos obtenidos.

Palabras clave: modelación de la información de la construcción (BIM), ciclo de vida del proyecto, interoperabilidad, ISO 19650, blockchain, sostenibilidad, infraestructura vial.

Advances and challenges of scientific research in building information modeling (BIM)

Abstract

This paper presents the results of a literature review of 34 scientific articles on topics related to Building Information Modeling (BIM) published over the last five years (2018–2023) in the ScienceDirect bibliographic database. The purpose of the review was to understand how BIM has evolved and to determine the trends, challenges and open issues of research in this field. The methodology comprised the selection of documents, bibliometric analysis, content analysis, systemic analysis, and the identification of gaps and challenges. The selected articles were first classified according to the topics they addressed. The methodologies and results of each article were then reviewed to determine the main findings, challenges and open issues.

Keywords: building information modeling (BIM), project life cycle, interoperability, ISO 19650, blockchain, sustainability, road infrastructure.

*Doctora en Ciencias de la Ingeniería por la Universidad de Santiago de Chile (USACH). Docente titular. Correo electrónico: luz.morales@unimilitar.edu.co.

Introducción

La concepción, el diseño y la ejecución de proyectos se transforma día a día con el uso de las tecnologías de la información y la comunicación. Tradicionalmente los proyectos de construcción implican generar gran cantidad de datos, información y documentos manualmente, y su impresión en físico. Actualmente se requiere usar herramientas informáticas robustas que permitan su manejo e integración y faciliten el trabajo colaborativo en las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto en entornos virtuales, para lo que surge la metodología de modelación de la información de la construcción BIM.

El propósito de esta revisión fue conocer el origen de BIM, su evolución e identificar los avances y tendencias en la investigación científica, conocer las metodologías utilizadas por los autores y determinar brechas y desafíos para trabajos futuros, basados en que el avance de la ingeniería se da paralelamente al descubrimiento de nuevos conocimientos, herramientas de trabajo, materiales y equipos; y a la aplicación de las metodologías y estrategias de trabajo tradicionales y nuevas como BIM, la que en el campo del diseño en ingeniería ha sido favorecida por el gran avance en el desarrollo de las tecnologías de Diseño asistido por computador (CAD).

Se puede considerar que la implementación de BIM se inicia aproximadamente en el año 2003, en Estados Unidos, con el Programa Nacional 3D-4D-BIM, pero su origen se remonta a 1969 con la creación del primer plotter o trazador, usado en las industrias aeroespacial y automotriz, que un año después empezaron a usar modelos CAD. En marzo de 1975 el profesor estadounidense Charles Eastman publicó el artículo *“El uso de ordenadores en lugar de dibujos en el diseño de edificios”* (Eastman, 1975) en el cual describió un prototipo llamado BDS, para el diseño paramétrico, generación de representaciones 3D de calidad y una base de datos integrada; para análisis visual y cuantitativo; este trabajo proyectó en su momento una visión futurista de BIM como se conoce actualmente.

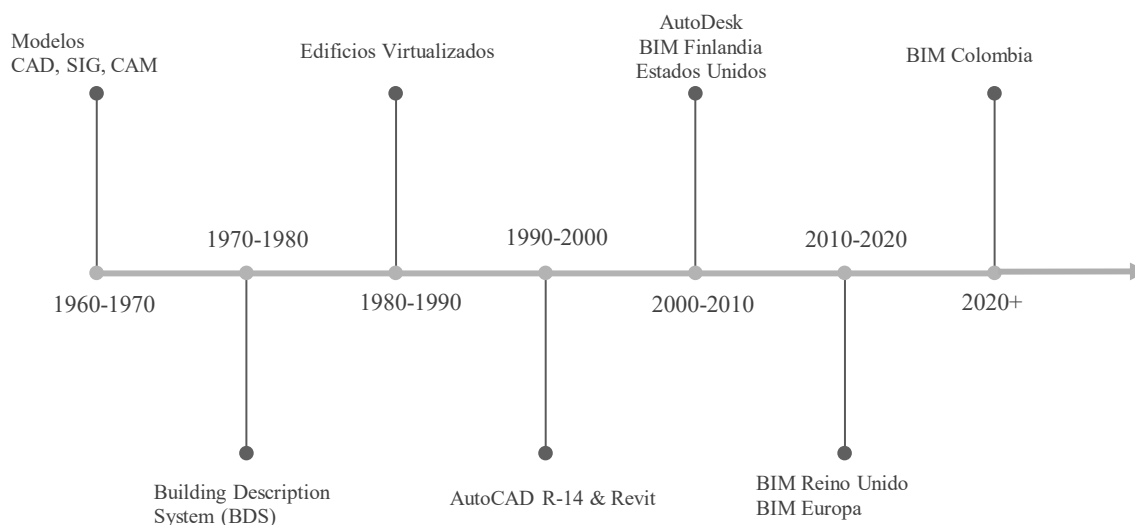
En el año 1982 John Walker, programador norteamericano, junto con otros desarrolladores presentaron AutoCAD y después en 1985, se crea Microstation, un desarrollo adicional para computador de CAD. En 1987 en Hungría, Graphisoft crea ArchiCAD, implementando el concepto de “edificio virtual”. En 1997 la compañía Autodesk desarrolla AutoCAD R14, luego Parametric Technology Corporation desarrolló REVIT para el diseño arquitectónico.

En el año 2000 REVIT se consolida como la única herramienta para diseñar mediante parámetros BIM, REVIT es adquirido por AutoDesk en el año 2002. En el 2015 la metodología BIM ya era conocida y ofrecida por Nemetschek, Sigma Design, Autodesk, StruCAD/ AceCAD, Bentley Systems y Graphisoft, entre otras.

En el año 2018 la Organización Internacional de Normalización (ISO), estableció la norma 19650, para organizar y digitalizar la información de obras de edificación e ingeniería civil BIM. Esta norma ha sido acatada por varios países y se ha dividido en 5 partes: Conceptos y principios, fase de desarrollo de los activos¹, fase de operación de los activos, intercambio de información y enfoque de seguridad en la gestión de la información, y aún sigue en desarrollo. Simultáneamente con la evolución de BIM en Estados Unidos se fue implementando en el 2002 en Finlandia, en el 2010 en el Reino Unido, en 2015 en Europa, en 2018 en España luego en Chile y posiblemente Colombia terminará de implementar la estrategia nacional BIM 2020-2026 para la modernización del Sector de la construcción e infraestructura la cual se constituirá en una norma a nivel nacional.

BIM hoy se constituye en un marco metodológico y tecnológico para el manejo e integración

¹ Este término se refiere a la obra o edificación objeto del proyecto

Figura 1*Línea de Tiempo BIM*

de proyectos, basado en el trabajo colaborativo e interdisciplinario; metodológico acorde con el ciclo de los proyectos, es decir, desde su concepción, diseño, implementación, operación y mantenimiento; y tecnológico desde el uso de software y hardware que permite la integración del trabajo de las personas, desde la colaboración aprovechando el ingenio y los diferentes conocimientos de los equipos de trabajo durante el ciclo de vida del proyecto. Esto hace la gran diferencia con los procesos en los proyectos desarrollados con metodologías tradicionales y permite ahorrar tiempos y costos.

Marco Conceptual

El marco conceptual para este proyecto comprende el Ciclo de vida del proyecto y la modelación de la información de la construcción BIM; considerando que BIM es una metodología que parte de la integración de las metodologías tradicionales, las buenas prácticas y la información de la construcción mediante las herramientas tecnológicas y el trabajo colaborativo.

Ciclo de vida del proyecto

Project Management Institute (2021) define el ciclo de vida de un proyecto como la serie de fases por las que atraviesa desde su inicio hasta su cierre, estas son secuenciales y sus nombres se designan en relación con el tipo de proyecto, las necesidades de gestión y control de la organización u organizaciones que participan en éste, la naturaleza propia del proyecto y su área de aplicación, es decir, que los proyectos pueden seguir diferentes estructuras según sus necesidades específicas.

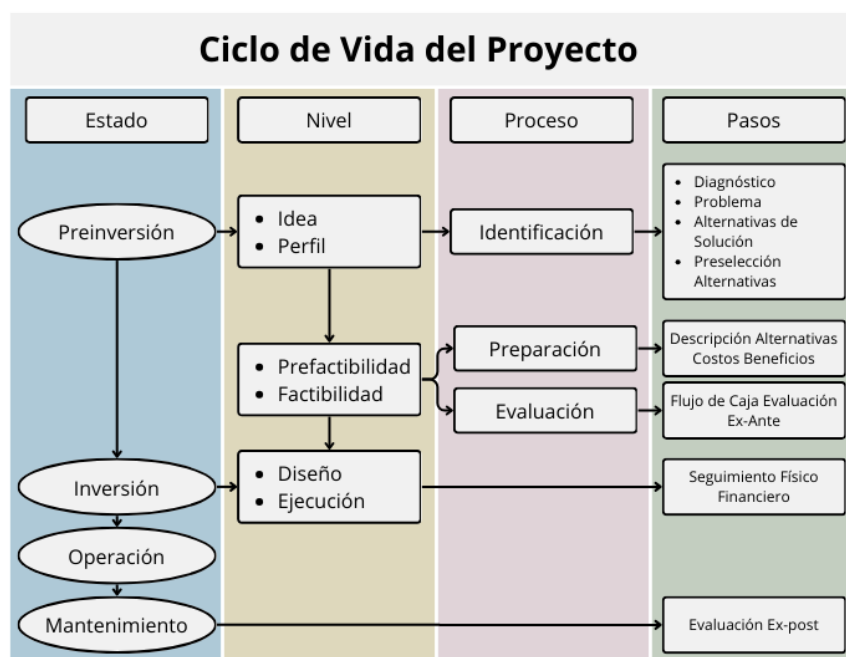
Tradicionalmente la identificación, formulación y evaluación de los proyectos se hace teniendo como marco de referencia el ciclo de vida del proyecto; este ciclo corresponde a las fases de pre-inversión, inversión, operación y mantenimiento. En la Figura 2 se representan los estados y los correspondientes niveles de estudios, procesos y pasos para cada uno.

Se destaca en esta metodología tradicional el planteamiento de varias alternativas para el proyecto y la necesidad de su evaluación legal, técnica, ambiental, económica, social y financiera,

antes, durante y después de su ejecución, para la toma de decisiones.

Figura 2

Ciclo de vida del proyecto



Modelación de la información de la construcción BIM

La integración de los proyectos en la metodología BIM, se da a través de diferente software que permite la comunicación y transferencia de información entre la gran variedad de disciplinas que participan durante el ciclo de vida de un proyecto. Según Rojas y Rojas (2006) el software CAD se usa mediante lenguajes de programación y paquetes aplicativos. Los lenguajes de programación requieren un dominio avanzado, de las tecnologías, de análisis matemático, geométrico y vectorial; mientras que los paquetes especializados se implementan rápidamente por su arquitectura en diversos campos de aplicación.

El desarrollo del concepto BIM comprende dos procesos, la integración de datos en modelos 3D y la estandarización; la primera tuvo un gran incremento a partir de los años 90s cuando la arquitectura y la ingeniería comenzaron a trabajar en un modelo común para el diseño y la construcción; la segunda inicia con la estandarización de los formatos de intercambio de datos, específicamente el formato “Industry Foundation Classes” por sus siglas en inglés (IFC)² el cual permitió la interoperabilidad entre diferentes plataformas de software BIM.

CAD permite el análisis para la creación de un modelo del comportamiento de un producto, en la fase de diseño. Los formatos de intercambio de archivo se clasifican en 2 tipos, los de propietario y los generalizados; los de propietario han sido diseñados para que sólo software específico (o del propietario), tenga la capacidad de interpretarlos, algunos ejemplos son: DWG, DXF, RVT o NWD, mientras que los generalizados pueden ser abiertos por cualquier programa diseñado para este tipo de archivos y son de código abierto IFC y su desarrollo está sustentado

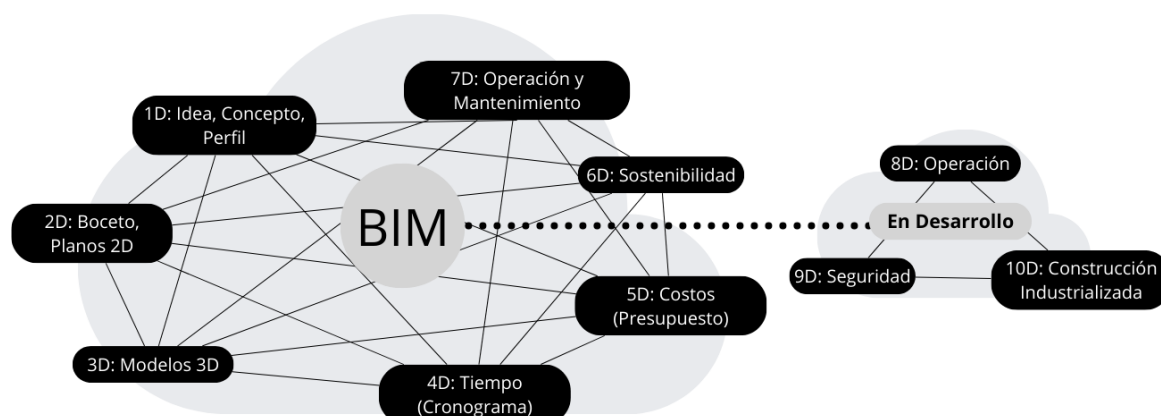
²IFC: NTC-ISO 16739. Estándar global desarrollado por BuildingSmart, para describir, comparar e intercambiar información de gestión de instalaciones y construcción, es neutral.

en la colaboración internacional (Bellido-Montesinos, Lozano-Galant, Castilla y Lozano-Galant, 2019).

Actualmente BIM se compone de 7 dimensiones; en la 1D, Idea, se determina el Plan de ejecución del proyecto. En la 2D, Boceto, se elaboran los diseños en 2D, se inician las primeras etapas del ciclo de vida del proyecto, se escogen posibles materiales y software que se van a utilizar en el diseño completo. En la 3D se generan los modelos 3D, en la 4D se agrega la variable tiempo, en la 5D se determinan las cantidades de obra, gastos de operación y costos para generar el presupuesto del proyecto. En la 6D se realiza el análisis energético y seguimiento LEED y en la 7D se trabaja con herramientas que permiten el monitoreo, funcionamiento y el mantenimiento futuro del proyecto. En resumen, BIM en los proyectos de construcción puede integrar procesos, modelos y bases de datos con la información del diseño, la programación, los costos, la gestión, la seguridad, la ejecución y el mantenimiento (ver Figura 3). Para el futuro se plantean las dimensiones 8D, 9D y 10D que corresponderían a la seguridad, salud y mantenimiento de la obra, optimización en procesos y costos, y la construcción industrializada, respectivamente (Sisternes, 2022).

Figura 3

Dimensiones BIM



En este contexto, es necesaria una mayor estandarización en la investigación sobre el tema en cuanto a las mejores prácticas y resultados, lo que permitiría formular una propuesta para la academia e industria de la construcción, específicamente en Colombia, que actualmente desarrolla la estrategia BIM 2020-2026, la cual se convertirá en una norma de obligatorio cumplimiento a nivel nacional, para todos los proyectos de Infraestructura que desarrolle el país en el futuro.

Marco normativo

En BIM un Entorno Común de Datos (CDE) para compartir la información, permite el trabajo colaborativo (ISO 19650-1). En la Figura 4 se representa un CDE, este se compone de 4 estados: Trabajo en proceso (WIP), Compartido, Publicado y Archivado.

En el WIP la información se encuentra en estado de producción y no ha sido revisada para publicarse con el equipo del proyecto, se desarrolla aisladamente y contiene la información de cada equipo. En el estado compartido, una vez se tiene la información completa, chequeada, aprobada

y validada por el coordinador BIM, se dispone para acceso colaborativo a los otros equipos, en el repositorio compartido. La actualización y los cambios en la información compartida se comunican mediante documentos, planos, registros u otras formas de notificación como correos. En el estado publicado se almacena la documentación, los datos exportados y dibujos 2D del proyecto, con previa verificación y autorización del Project Manager. El estado archivado corresponde a almacenar en la carpeta del proyecto las copias de las salidas aprobadas, los dibujos y datos publicados, y aquellos definidos como As-Built. La información almacenada se dispone y nombra en repositorios de carpetas lógicas, estos procesos se muestran en la Figura 4.

Figura 4

Esquema de estados del CDE según ISO 19650



Lo anterior implica que las personas y artefactos que coinciden en un CDE interactúen en actividades de trabajo y redes informáticas, mediante sistemas que sean un soporte de la colaboración y la interacción humana, para el cumplimiento de los objetivos de un proyecto.

Por otra parte, actualmente, la norma ISO 19650 se implementa desde la concepción, el diseño y la ejecución de proyectos y se transforma día a día con el uso de las tecnologías de la información conservando los tradicionales pasos del ciclo de vida del proyecto. Tradicionalmente el diseño implicó la elaboración de un conjunto de documentos en forma manual y mecánica, y la impresión en físico. Actualmente se requiere usar herramientas informáticas robustas, que permitan su integración entre sí, facilitando el trabajo colaborativo.

En otras palabras se puede expresar que BIM es la evolución de las metodologías tradicionales para el desarrollo de proyectos, teniendo como base su integración en los diferentes software y herramientas informáticas que desde hace muchos años se han generado y consolidado para el diseño y ejecución de los proyectos de construcción, las cuales tienen como requisito principal permitir el trabajo colaborativo entre los integrantes de los equipos de personas para crear, compartir y coordinar información detallada y precisa del proyecto en las diferentes etapas de su ciclo de vida es decir desde la concepción, el diseño, la ejecución, la implementación, la operación

y el mantenimiento.

En Colombia actualmente se establecen normativas basadas en los estándares internacionales ISO. El Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) adapta o adopta dichos estándares mediante las Normas Técnicas Colombianas (NTC). En este orden de ideas, la ISO 19650 en cada una de sus partes, es adaptada al territorio colombiano, adicionalmente, se han acatado y adecuado otros estándares ISO para complementar la normativa, como lo son la ISO 12006, para la estructuración de la información de la construcción, la ISO 16739 Industry Foundation Classes (IFC)³, para establecer un modelo de datos abiertos con el fin de intercambiar información fácilmente entre diferentes software de diseño, y la ISO 29481-1 que en su primera parte, establece metodologías para vincular procesos BIM y su ciclo de vida facilitando la interoperabilidad entre aplicaciones de software y promoviendo el trabajo colaborativo (ver Tabla 1).

Tabla 1

Principales normativas de soporte para BIM y equivalencias en NTC

Normativa	Definición	NTC	Adapta / Adopta
ISO 19650	Establece normas para gestionar y organizar la información de proyectos de construcción usando BIM.	NTC-ISO 19650 - 1/5: 2021	Establece estándares para la gestión de la información BIM en Colombia
ISO 12006	Proporciona un marco para la clasificación y modelado de información en proyectos de construcción.	NTC-ISO 12006 - 2/3: 2021/2022	Estandariza la clasificación y modelado de la información de proyectos de construcción
ISO 16757	Define estándares para datos de productos de sistemas de construcción para BIM.	NTC-ISO 16757 - 1/2: 2021	Estandarización de datos para productos de construcción.
ISO 29481 - 1	Establece metodologías para la interoperabilidad y el intercambio de información en BIM.	NTC-ISO 29481 - 1: 2022	Adopta: Estandariza el intercambio de información BIM
ISO 14001, 14004	Gestión ambiental y directrices de implementación.	NTC-ISO 14001, NTC-ISO 14004	SGA y directrices para implementación efectiva.
ISO 14040, 14044	Análisis del ciclo de vida de productos y procesos.	NTC-ISO 14040, NTC-ISO 14044	ACV para evaluar impacto ambiental completo.
ISO 23387	Estandarización de datos y propiedades de objetos BIM.	NTC-ISO 23387	Gestión e intercambio estandarizado de datos BIM.

Metodología

Este trabajo se desarrolló mediante 6 etapas: selección de documentos, análisis bibliométrico, análisis de contenido, análisis sistémico, identificación de brechas y retos, y conclusiones. Para la

³IFC

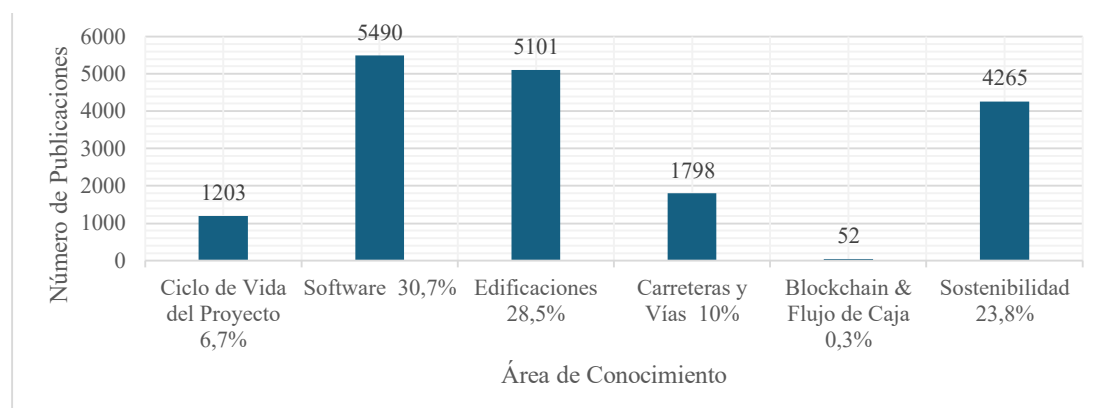
selección de documentos se estableció como temática general la modelación de la información de la construcción (BIM), se estableció como periodo de publicación 5 años del 2019 al 2023, se escogieron inicialmente mediante una exploración aleatoria en la base de datos bibliográficos Science Direct 23 documentos; los cuales se analizaron mediante la técnica de mapas conceptuales logrando identificar 6 temáticas principales en estos: Ciclo de vida del proyecto, software, edificaciones, carreteras y vías, blockchain & flujo de caja, y sostenibilidad. De igual forma se determinaron las dimensiones BIM que trataban.

Con esta primera clasificación se hizo una nueva búsqueda en la base de datos bibliográficos Science Direct, utilizando las siguientes palabras clave asociadas a las temáticas previamente identificadas: BIM lifecycle, BIM buildings, BIM road, BIM blockchain, BIM cash flow, BIM sustainability y BIM software; luego se filtraron los artículos de los últimos 5 años de cada temática; los principales resultados de búsqueda fueron analizados y según su contenido se seleccionaron.

Con base en la cantidad de resultados obtenidos en cada búsqueda se determinó una muestra estratificada por conveniencia, (ver Figura 5), donde se evidenció que la primera revisión carecía de suficientes artículos relacionados con las temáticas de software, sostenibilidad y edificaciones para poder ejecutar un análisis acorde al número de publicaciones por temática, (ver Figura 6), por lo cual se expandió la búsqueda para completar una muestra representativa de cada temática definida.

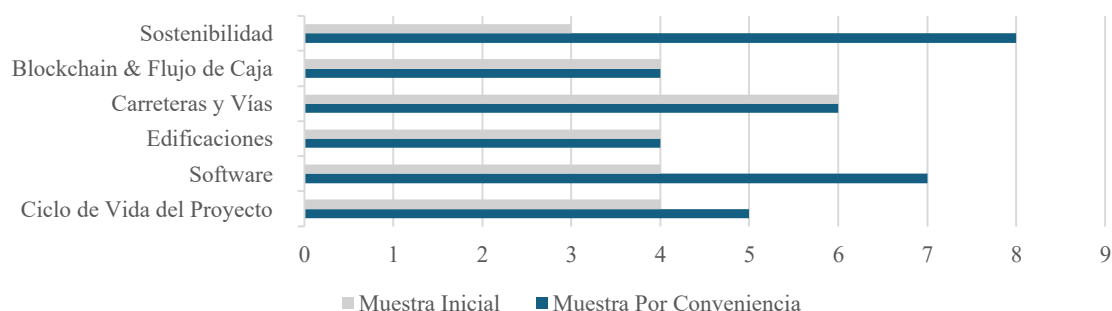
Figura 5

Cantidad de resultados de búsqueda por categoría en los últimos 5 años



En la Figura 5 se muestra la cantidad de resultados encontrados por búsqueda, cada temática tiene una proporción con la cantidad total de artículos encontrados, cada artículo puede tener más de una temática. Se encontraron 1203 artículos relacionados con ciclo de vida del proyecto, 5490 con software, 5101 con edificaciones, 1798 con carreteras y vías, 52 con blockchain y con flujo de caja y 4265 con sostenibilidad, siendo las temáticas relacionadas con software, edificaciones y sostenibilidad las más publicadas. Por otra parte, a pesar de que las publicaciones de blockchain son las menos frecuentes, se destaca su auge y crecimiento en los últimos 5 años.

Finalmente, se escogieron 34 artículos y se categorizaron según las temáticas previamente establecidas en 7 en ciclo de vida del proyecto, 10 en software, 9 en edificaciones, 6 en vías y carreteras, 6 en blockchain & flujo de caja, y 9 en sostenibilidad. En la Tabla 1 se presentan los títulos, el perfil de los autores de los artículos seleccionados, la institución y el país al que pertenecen. En la Tabla 2 se muestra el número que se le asignó a cada artículo y el título en español, para facilitar la comprensión de las siguientes figuras y tablas, resultado del análisis

Figura 6*Artículos seleccionados al azar y por muestra estratificada por conveniencia*

bibliométrico.

Tabla 2*Títulos de artículos y números de identificación correspondientes para tablas y figuras*

No.	Título del artículo
1	Enfoques para la optimización multiobjetivo basada en BIM en la programación de construcciones
2	Enfoque de DEA en red de tres etapas para la evaluación del desempeño de la aplicación de BIM en proyectos de construcción
3	Requisitos de datos BIM para entregables 2D en documentación de construcción
4	Mejora de la seguridad BIM en proyectos de construcción de emergencia
5	Procedencia de datos BIM soportada por Blockchain para proyectos de construcción
6	Contrato inteligente integrado con BIM para la administración de pagos de progreso en proyectos de construcción
7	Desarrollo de un nuevo marco de análisis de riesgo de flujo de caja para la construcción
8	Cadena de suministro de construcción circular digitalizada. Una solución integrada BIM-Blockchain
9	Metodologías de integración de BIM y LCA. Un análisis crítico y directrices propuestas
10	Integración de BIM y Blockchain a lo largo del ciclo de vida de la construcción y cadenas de suministro
11	Investigación del nivel de BIM en la industria de la construcción iraquí
12	Construcción sostenible utilizando nuevos marcos con BIM, LEED y métodos Lean
13	Adopción de BIM en sostenibilidad, modelado energético e implementación utilizando ISO 19650: Una revisión
14	Evaluación de riesgos de seguridad en la construcción integrada con BIM en la etapa de diseño de proyectos de edificación
15	Análisis y optimización arquitectónica basada en BIM para el concepto de construcción 4.0 (una comparación)
16	Características de la interacción de los participantes en la construcción de instalaciones de infraestructura de transporte en la etapa de implementación de tecnologías BIM
17	BIM-CAREM: Evaluación de las capacidades de BIM en los procesos de diseño, construcción y gestión de instalaciones en la industria de la construcción
18	Optimización basada en BIM de extremo a extremo para el diseño de alineación de carreteras con doble objetivo: seguridad vial y eficiencia de costos de construcción
19	Estimación de demolición de edificios en proyectos de ampliación de carreteras urbanas utilizando modelos BIM actuales

Tabla 2 (continuación)

No.	Título del artículo
20	BIM y seguridad vial – Aplicaciones de modelos digitales desde evaluaciones de seguridad incorporadas hasta la gestión de activos
21	Análisis y simulación de tráfico basados en BIM en el diseño de intersecciones viales
22	Marco integrado de BIM-IoT y compactación inteligente para el monitoreo y gestión avanzados de la calidad de compactación de carreteras
23	Aplicación de Modelado de Información de Construcción (BIM) para una infraestructura vial existente
24	Experiencias aprendidas de un concurso internacional de BIM: Uso de software y análisis de flujo de trabajo de información
25	Enriquecimiento semántico para BIM Tecnologías habilitadoras y aplicaciones
26	Revisión de la integración entre BIM y CFD para la construcción al aire libre
27	Funciones clave en plataformas AR basadas en BIM
28	Integrando BIM con el enfoque de Construcción Lean Requisitos funcionales
29	Impedimentos en la implementación de BIM para la gestión de riesgos de edificios altos
30	Aplicación de la tecnología BIM en el refuerzo y renovación de proyectos de inspección de edificios existentes
31	Avances recientes en edificios sostenibles basados en BIM Revisión del estado del arte
32	BIM en construcción verde Mejorando la sostenibilidad en lo pequeño
33	Metodología BIM para análisis de costos, sostenibilidad y gestión de estructuras de acero con juntas reconfigurables para estructuras industriales
34	Análisis informétrico y revisión de la literatura sobre el papel de BIM en la construcción sostenible

Análisis Bibliométrico

Para el análisis bibliométrico inicialmente se consideraron los siguientes aspectos el año de publicación, el país, el tipo de investigación, la temática y los temas y dimensiones BIM tratadas en cada artículo. El país o países se determinó tomando como referencia el lugar de las ubicaciones de las universidades a las que pertenecen los autores. En la Tabla 3 se detallan los 34 artículos finalmente consultados en esta revisión. El título y autores correspondientes a cada artículo se pueden consultar en las referencias bibliográficas.

Tabla 3

Relación de artículos según: año, país, tipo de investigación, temas y dimensiones BIM

Nº	Año	País	Tipo De Investigación	Temas	Dimensiones
1	2023	Egipto	Investigación Científica, Revisión	Ciclo De Vida del Proyecto	3D, 4D
2	2022	China	Investigación Científica	Ciclo De Vida Del Proyecto	3D
3	2022	Corea Del Sur	Investigación Científica	Software	2D
4	2023	Hong Kong, China	Investigación Científica	Software	3D, 9D

Tabla 3 (continuación)

Nº	Año	País	Tipo De Investigación	Temas	Dimensiones
5	2023	Reino Unido	Investigación Aplicada	Blockchain & Flujo de Caja	3D
6	2022	Turquía	Investigación Aplicada	Blockchain & Flujo de Caja	3D, 5D
7	2021	Irán, Australia	Investigación Aplicada	Blockchain & Flujo de Caja	5D
8	2023	Reino Unido, Australia, Irán	Investigación Científica	Blockchain & Flujo de Caja	10D
9	2023	Brasil, Canadá	Investigación Científica, Revisión	Sostenibilidad	3D, 6D
10	2023	Reino Unido	Investigación Científica, Revisión	Sostenibilidad	3D, 10D
11	2023	Irak	Investigación Científica, Revisión	Ciclo de Vida Del Proyecto, Blockchain & Flujo de Caja	3D
12	2024	India	Investigación Aplicada	Software	3D, 6D
13	2024	China, Pakistán, Egipto, Arabia Saudita	Investigación Científica, Revisión	Sostenibilidad, Software	3D, 6D
14	2021	China	Investigación Aplicada	Edificaciones	3D, 9D
15	2023	China, Pakistán, Kuwait, Arabia Saudita	Investigación Científica, Revisión	Sostenibilidad	3D, 10D
16	2022	Rusia	Investigación Científica	Software, Edificaciones	3D
17	2023	Reino Unido, Turquía	Investigación Aplicada	Edificaciones	3D, 7D
18	2023	China	Investigación Aplicada	Carreteras y Vías	3D, 5D
19	2022	Reino Unido, China	Investigación Aplicada	Carreteras y Vías	3D
20	2023	Italia	Investigación Aplicada	Carreteras y Vías	3D, 9D
21	2021	Colombia, España, Chile	Investigación Aplicada	Carreteras y Vías	2D, 9D
22	2022	China	Investigación Aplicada	Carreteras y Vías	3D, 9D, 10D
23	2021	Italia	Investigación Aplicada	Carreteras y Vías	3D, 10D
24	2019	España	Investigación Aplicada	Software, Edificaciones	3D, 4D

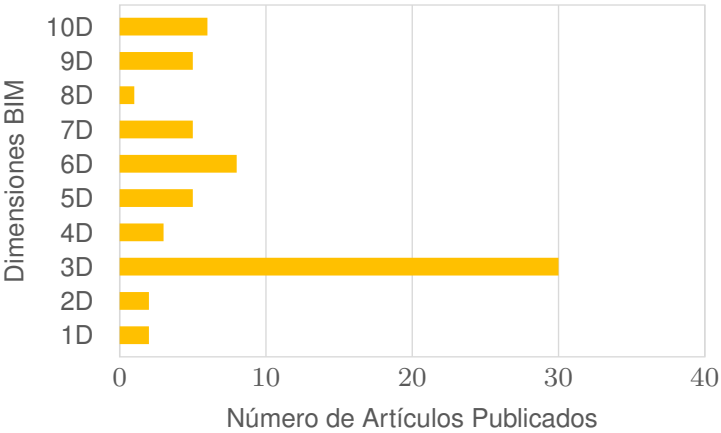
Tabla 3 (continuación)

Nº	Año	País	Tipo De Investigación	Temas	Dimensiones
25	2023	China	Investigación Científica, Revisión	Software, Blockchain & Cash-flow	3D
26	2023	China	Investigación Científica	Edificaciones, Sostenibilidad	3D, 6D
27	2023	Reino Unido	Investigación Científica, Revisión	Software, Ciclo de Vida del Proyecto	3D, 10D
28	2021	Italia, Alemania	Investigación Científica	Ciclo de Vida del Proyecto, Software	3D, 4D, 5D
29	2023	Malasia, Egipto, Arabia Saudita, China	Investigación Científica	Ciclo de Vida del Proyecto, Edificaciones	1D, 3D, 8D
30	2023	Canadá	Investigación Aplicada	Edificaciones	3D, 7D
31	2023	Reino Unido	Investigación Científica, Revisión	Sostenibilidad, Edificaciones	3D, 6D, 7D
32	2023	Malasia, Kuwait	Investigación Aplicada, Revisión	Sostenibilidad, Edificaciones	3D, 6D
33	2023	España	Investigación Aplicada	Sostenibilidad, Software	3D, 5D, 6D, 7D
34	2019	Bélgica, Portugal	Investigación Científica, Revisión	Sostenibilidad, Ciclo de Vida del Proyecto	1D, 3D, 6D, 7D

En total se consultaron 19 artículos de 2023, 6 del 2022, 5 de 2021, 2 de 2024 y 2 de 2019 de los cuales 18 corresponden a trabajos de investigación científica, 16 de investigación aplicada y 11 de revisión.

Las dimensiones que más se abordan en los artículos son la 3D (30 veces), 6D (8 veces) y 10D (6 veces) (ver Figura 7).

Figura 7
Número de Artículos que abordan dimensiones BIM.



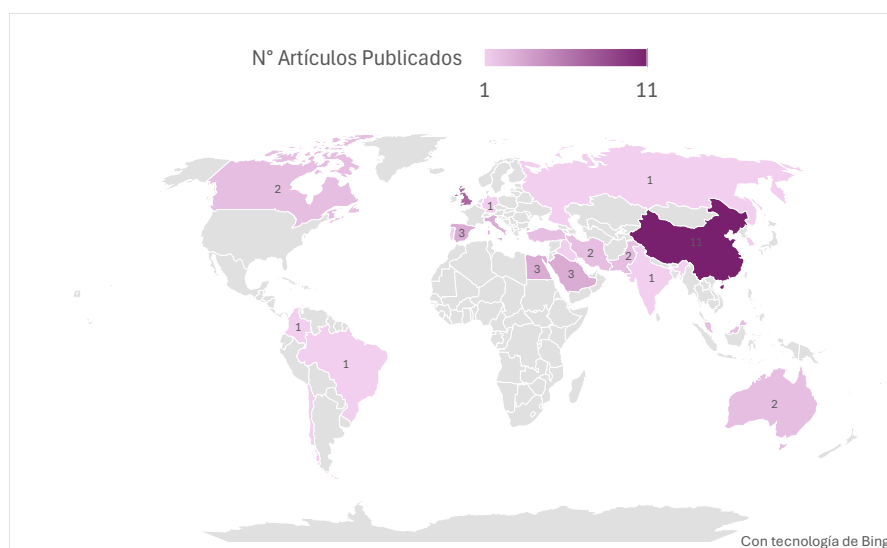
Como se observa en la Figura 8, el mayor número de publicaciones consultadas para este trabajo, corresponden a China (11); luego Reino Unido (7); Egipto, Arabia Saudita, Italia y

España (3); Australia, Turquía, Irán, Canadá, Pakistán, Kuwait y Malasia (2); y Corea del Sur, Hong Kong, Brasil, Irak, India, Rusia, Colombia, Chile, Alemania, Bélgica y Portugal (1).

Según las temáticas previamente definidas, se asignaron 5 artículos a ciclo de vida del proyecto, 7 a software, 4 a edificaciones, 6 a carreteras y vías, 4 a blockchain & flujo de caja, y 8 a sostenibilidad. Con los artículos de más de una categoría, solo se tomó la principal (la primera) para su clasificación.

Figura 8

Distribución geográfica de publicaciones de las publicaciones seleccionadas.



Análisis de contenido de los artículos seleccionados

Se resume de cada artículo su contenido mediante la técnica de mapas conceptuales, los cuales permitieron tener una visión completa de los temas tratados, sus conceptos claves, y de las relaciones entre estos, de la metodología y de los resultados obtenidos. A continuación, se presenta la síntesis, resultado de la revisión.

Ciclo de vida del proyecto

Los autores Essam, Khodeir y Fathy (2023) se enfocaron en la fase de ejecución del ciclo de vida del proyecto, específicamente en la programación de la construcción, es decir, en disponer las actividades para la ejecución de proyectos de manera eficiente en el tiempo y asignar los respectivos recursos; tarea difícil de resolver cuando hay muchas actividades en un período de tiempo, característica de los grandes proyectos de construcción, incluso utilizando la tecnología informática avanzada. Estos autores proponen crear una programación de construcción automatizada desde el diseño de construcción, que pueda actualizarse con el uso de un entorno en la nube y herramientas BIM en tiempo real.

En el estudio realizado por Luo, Chen, Yang, Wu y Chen (2022) tratan el tema de la evaluación, aspecto fundamental en el ciclo de vida del proyecto, específicamente se enfocan en la evaluación del rendimiento de la aplicación de BIM en China, basados en el método de cuadro de mando equilibrado y el método Delphi, mediante un modelo de análisis envoltorio de datos (DEA), el cual aplicaron como una estrategia de mejora del rendimiento, en 9 casos de proyectos de

construcción de vivienda. Encontraron que la gestión de BIM en los proyectos de construcción no es integral, se debe establecer un sistema de evaluación de indicadores de rendimiento asociados al sector de la construcción, capacitar a los profesionales en BIM y establecer normas relacionadas con BIM.

Youkhanna Zaia, Mustafa Adam y Heeto Abdulrahman (2023) parten de que el éxito de cualquier proyecto de ingeniería depende de la integración de la información, afirman que BIM está ampliamente implementado en países desarrollados, mientras que los países en desarrollo están intentando seguir los procesos y tecnologías para implementarlos. Realizan un estudio del nivel de implementación de BIM en la construcción en Irak para determinar las principales barreras y limitaciones, encontrando que la mayoría de las empresas utilizan métodos tradicionales y planos en 2D en sus diseños por la “Falta de expertos en BIM”, “Falta de conciencia sobre BIM” y “Métodos tradicionales de contratación”. Concluyen que tanto las organizaciones públicas como las privadas deben generar estrategias para superar las barreras detectadas y utilizar metodologías BIM en el sector de la construcción en Irak.

En el artículo “Integrando BIM con el enfoque de Construcción Lean: Requisitos funcionales” Schimanski, Pradhan, Chaltsev, Monizza y Matt (2021) exploran cómo la combinación de BIM con la Construcción Lean puede optimizar los procesos y reducir el desperdicio en la industria de la construcción. Detallan los requisitos funcionales necesarios para una integración exitosa, proponiendo un marco de trabajo que puede ser de gran ayuda para las empresas que buscan mejorar sus operaciones.

Waqar, Othman, Shafiq, Deifalla, Ragab y Khan (2023) en “Impedimentos en la implementación de BIM para la gestión de riesgos” examinan los desafíos que enfrenta la adopción de BIM en la gestión de riesgos de proyectos de construcción. El artículo identifica los principales obstáculos, como la falta de conocimiento y la resistencia al cambio, y discute estrategias para superar estos retos y aprovechar plenamente los beneficios de BIM.

Software

La mayoría de los autores coinciden en que la integración de los proyectos en BIM se da a través de diferente software, Dorozhkina (2022) clasifica el software BIM en herramientas básicas, auxiliares, paramétricas y de modelación, y de detalle. En la Tabla 4 se presenta la clasificación del software.

Tabla 4

Clasificación de herramientas de software según su tipo

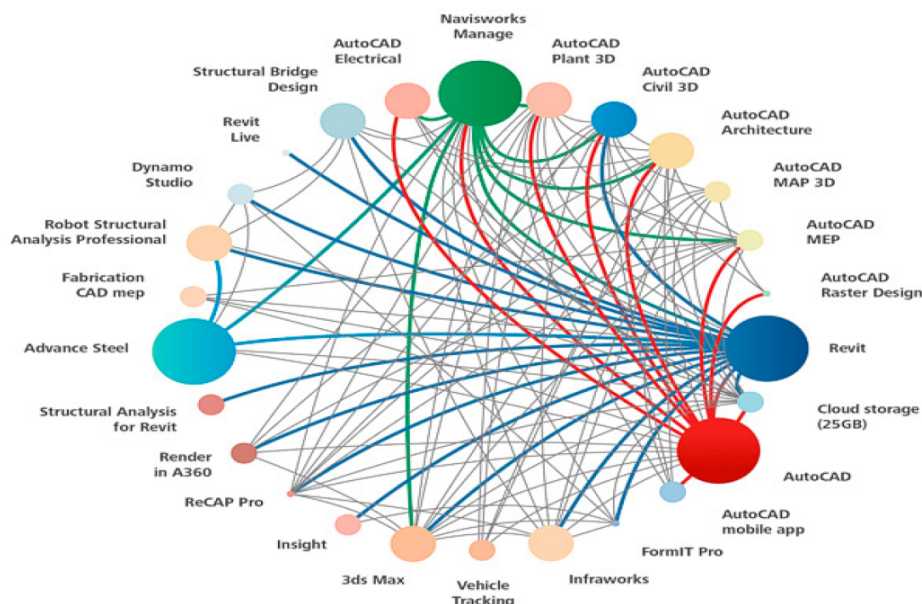
Básicas	Auxiliares	Paramétricas	De detalle
Archicad. Graphisoft	CAD	Dynamo	Advance Steel.
Revit. Autodesk	Office	Solidworks	Autodesk
Infrworks. Autodesk	ANSYS		Solibri
Civil 3D			Latex
Allplan			
Tekla			
Robot structural analysis			

Igualmente, se establece la compatibilidad como elemento fundamental para la integración de

los componentes. La misma autora Dorozhkina (2022) elaboró un diagrama de compatibilidad del software de aplicación BIM el que se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Diagrama de compatibilidad de aplicaciones BIM de software



Nota. Tomado de Features of interaction of participants in the construction of transport infrastructure facilities at the stage of implementing BIM technologies (p.6). Dorozhkina, 2022.

En la Figura 9 se observa que Revit y AutoCAD ocupan el primer y segundo lugar en compatibilidad con otros software.

Han, Han, Ma, Tong, Wang y Hei (2023) realizaron el estudio Optimización integral basada en BIM para el diseño de carreteras, utilizaron BIM para el modelado y estadística de movimiento de tierras, Matlab para la simulación de conducción automatizada y NSGA-II para resolver la alineación óptima en el diseño de una autopista, los resultados mostraron una mejora con respecto a los métodos tradicionales.

Bellido-Montesinos, Lozano-Galant, Castilla y Lozano-Galant (2019) afirman que los Software BIM para edificaciones se basan en la arquitectura para la creación de la geometría del edificio e introducción de los elementos arquitectónicos de igual forma clasificaron los software por área de conocimiento y aplicación así: 1. Modelado 3D y diseño arquitectónico, 2. Estructuras, 3. Eficiencia energética, 4. Cantidades de obra y presupuesto, 5. Planificación y ejecución, 6. Gestión de instalaciones para la operación y mantenimiento de las edificaciones y 7. Coordinación, colaboración y gestión de proyectos, documentos y equipos en tiempo real. Esta clasificación se presenta en la Tabla 5 con sus correspondientes software.

Por otra parte, Kim, Chin y Choo (2022) plantean que, en la práctica, generar entregables en 2D a partir de BIM requiere un trabajo adicional y una reducción en la consistencia entre los dibujos y los datos del modelo, pero extraer vistas y dibujos bidimensionales (2D) de un modelo tridimensional es esencial para el modelado de información de construcción, razón por la que realizan un estudio para determinar la información esencial para obtener resultados aceptables en los dibujos. Y desarrollaron un marco de requisitos de datos BIM para los entregables en 2D que mejoraron la consistencia entre los dibujos y los datos del modelo.

Tabla 5*Clasificación de software según área de conocimiento.*

Área de conocimiento	Software
1. Modelado 3D y Diseño Arquitectónico	Archicad, Allplan, Revit, Autocad, Aecosin, Boceto, Tekla y Dynamo
2. Estructuras	Tekla Structures, DDSCAD, Cifrar y Robot Structural Analysis
3. Eficiencia Energética	Constructor, Diseño Green Building, Análisis Ecotec, TQC, Ecodiseñador, Visari
4. Cantidades de obra y presupuesto	Pronto. Arquímedes y Excel
5. Planificación y ejecución	Project MS, Vico Office, Sincro y Navisworks
6. Gestión de Instalaciones para la operación y mantenimiento de las edificaciones	DDSCAD, Revit, Archibus, FM: Systems
7. Coordinación, colaboración y gestión de proyectos, documentos y equipos en tiempo real	Navisworks, Solibri, BIM Sincronización, Tekla BIM Sight, Gerentes BCF, BIM 360

Tao, Das, Zheng, Liu, Wong, Xu, Liu, Gong y Cheng (2023) exploran el uso de BIM para la construcción de proyectos de construcción de emergencia. En el marco de la pandemia del COVID 19, estudiaron el caso de la construcción de hospitales móviles en donde BIM desempeña un papel vital al incorporar información de la organización y procesos en un contenedor compartido, para agilizar la coordinación y facilitar la creación, compartición y recopilación de información digital, fomentando la colaboración. Por ejemplo, BIM supera a los dibujos en 2D en visualización y simulación, usando modelos en 3D, que permite a los diseñadores examinar rápidamente las funciones y detalles de diseño de los contenedores, acelerando la fabricación y entrega de estos. Este estudio explora el mecanismo de integrar la fase de diseño con un servicio de blockchain ligero (tecnología basada en una cadena de bloques de datos descentralizada y pública) (LBaaS), para mejorar la seguridad de la colaboración basada en BIM, mejorando la seguridad de los datos y aumentando la eficiencia del diseño.

Patel, Shelake y Yadhav (2023) desarrollaron un marco metodológico en un entorno virtual que integra BIM, métodos de construcción sostenible y métodos Lean, mediante el uso de marcos de trabajo. Examinaron los factores que impactan la construcción y entrega de edificaciones sostenibles; en los que BIM permitiría manejar las restricciones de tiempo, costo y calidad, aplicando métodos de construcción de edificaciones verdes y Lean para reducir residuos y desperdicios, optimizar la utilización de recursos, supervisar y medir el progreso de la construcción y agilizar los procedimientos de pago de la construcción.

Pan, Mateen Khan, Eldin, Aslam, Kashif Ur Rehman y Jameel (2024) investigaron acerca de la adopción de BIM en la sostenibilidad, el modelado y la implementación energética, evidenciando la falta de guías para vincular a las partes involucradas en la creación de las necesidades de información de BIM, de igual forma los grandes vacíos en la investigación, entre otras causas, mencionan que la norma ISO 19650 adopta un enfoque muy teórico, citando a Ashworth (2021) quien expresó que no existían métodos estandarizados para crear las necesidades de información

de BIM, por lo que proponen mejor las buenas prácticas en la gestión de la información de los proyectos mediante el diseño de estrategias de implementación de BIM, lo que es más útil para las empresas.

Por otra parte, los autores afirman que BIM puede respaldar estudios de Evaluación del Ciclo de Vida y del impacto ambiental porque permite evaluar cada etapa del diseño arquitectónico, facilitando la toma de decisiones más documentadas; pero hay vacíos en el trabajo en equipo y la comunicación efectiva trascendentales en una implementación exitosa. Concluyen que BIM es una tecnología revolucionaria en la industria de la construcción, pero se necesita garantizar su integración completa con otras herramientas y tecnologías para generar un gran beneficio a las empresas. En general si la industria comprende los cambios de paradigma que esta norma promueve se crearán mejores prácticas para la gestión de la información como una mayor transparencia, mayor calidad, seguridad de programación y costos, y un análisis mejorado del costo del ciclo de vida.

En el reporte “Experiencias aprendidas en concurso internacional BIM: Uso de software y análisis de flujo de trabajo de información”, los autores Bellido-Montesinos et al. (2019) analizan cómo los concursos BIM pueden servir como una herramienta efectiva para fomentar el uso de metodologías avanzadas entre los profesionales del sector. A través de un análisis de las ediciones del concurso BIM Valladolid en España, los autores proporcionan valiosas perspectivas sobre el uso del software en diversas disciplinas, destacando cómo estos eventos pueden promover significativamente la innovación y la colaboración.

Jiang, Feng, Zhang y Shi (2023) desarrollan y discuten en su artículo “Enriquecimiento semántico para BIM: Tecnologías habilitadoras y aplicaciones”, cómo el enriquecimiento semántico puede resolver la brecha de información entre diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto y distintas plataformas BIM. Destacan la importancia de modelos BIM enriquecidos semánticamente para garantizar la integridad y disponibilidad de la información a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio, dando ejemplos que demuestran sus beneficios en la mejora de procesos de diseño, construcción y operación.

El artículo “Funciones clave en plataformas AR basadas en BIM” de Amin, Mills y Wilson (2023) identifica cómo las plataformas de Realidad Aumentada integradas con BIM están revolucionando la gestión de proyectos de construcción. Los autores resaltan cómo estas plataformas permiten una mejor visualización y detección de conflictos, mejorando la colaboración entre equipos y aumentando la eficiencia y precisión en los proyectos.

Edificaciones

En el diseño y construcción de edificaciones BIM ha sido muy usado, actualmente se incrementa su uso en la operación y el mantenimiento. El uso principal de BIM se ha dado en la construcción de edificaciones, varios autores han reportado casos de estudio en este tipo de obras. Lu, Gong, Tang, Sun y Li (2021) realizaron un estudio sobre la evaluación de riesgos de seguridad en la construcción integrada con BIM en la etapa de diseño, motivados por la alta tasa de mortalidad y lesiones durante la construcción; para lo que realizaron la recolección de información en bases de datos de lesiones y fatalidades, mediante mapeo de datos integrándolos con elementos de diseño BIM, automatizaron el cálculo para el análisis de datos implementando una API de Revit; luego desarrollaron un plugin mediante la automatización de cálculos de riesgos, y la identificación de elementos de construcción y procesos de trabajo.

Dorozhkina (2022) realizó un estudio sobre las características de la interacción de los

participantes en la construcción de Instalaciones de infraestructura de transporte en la etapa de implementación de BIM soportado en que el uso de tecnologías de la información ha cambiado significativamente el diseño tradicional. Actualmente la industria realiza una transición de dibujos tradicionales al diseño en 3D creando modelos virtuales para la construcción. Los modelos utilizados en la arquitectura son modelos conceptuales, modelos visuales, modelos BIM para coordinación del diseño, modelos estructurales, modelos de diseño vertical y paisajístico, entre otros. El autor se enfoca en la gestión del trabajo en un proyecto para el cambio del esquema tradicional a las tecnologías de la información, específicamente (BIM) definiendo las características distintivas del diseño BIM y los principales trabajos de especialistas técnicos en la industria de la construcción durante su implementación igualmente describe las opciones de su interacción en el diseño de instalaciones de construcción.

Yilmaz, Akcamete y Demirors (2023) evaluaron las capacidades BIM en cada etapa del ciclo de vida de la construcción enfocándose principalmente en la arquitectura, la ingeniería y la construcción y gestión de instalaciones. En el desarrollo parten de BIM-CAREM como modelo de referencia para la evaluación de la capacidad BIM, pasándolo por estándares ISO, investigaciones cualitativas, revisión iterativa de expertos y estudios de caso explicativos; mediante componentes de BIM-CAREM como PRM (Modelo de Referencia de Procesos) y MF (Marco de Medición), haciendo una caracterización de la capacidad y la evaluación de la calidad de los procesos BIM en construcción. Adicionalmente, proponen unos niveles de madurez y capacidad del modelo BIM, L0: Incompleto, L1: Realizado, L2: Integrado, L3: Optimizado.

En el artículo “Una revisión de la integración entre BIM y CFD para exteriores de edificios” de Zheng, Lu, Wu y Zhou (2023), se presenta una revisión de cómo BIM junto con la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), puede potenciar el diseño y operación de edificaciones. El análisis muestra cómo esta integración permite realizar simulaciones más precisas que mejoran la eficiencia energética y el confort ambiental, proporcionando un marco útil para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el sector.

Tang (2023), en el trabajo “Aplicación de la tecnología BIM en el refuerzo y renovación de proyectos de inspección de edificios existentes” destaca cómo BIM está transformando la renovación de estructuras existentes. El artículo presenta casos en los que BIM ha mejorado la coordinación y gestión de proyectos de renovación, lo que resulta en mejoras en la seguridad y eficiencia.

Carreteras y vías

Castañeda, Sánchez, Herrera, Pellicer y Porras (2021) destacan el potencial de BIM en el sector de la construcción de edificaciones, pero su poca implementación en proyectos de infraestructura vial por lo que proponen un marco metodológico basado en BIM para el análisis de tráfico y la simulación del diseño de intersecciones viales. Estos autores destacan la importancia de las partes interesadas y el flujo del trabajo colaborativo. En el desarrollo de su trabajo conformaron un equipo de nueve profesionales ubicados en cuatro países diferentes para aplicar el marco metodológico BIMA; a los miembros del equipo se les asignaron roles y responsabilidades de acuerdo con las áreas de especialización y los requisitos del proyecto. Para los flujos de trabajo colaborativo y las interacciones entre las partes interesadas utilizaron la plataforma de Autodesk BIM 360, en la que cada interesado podía acceder a la información del proyecto según los permisos asignados por el “BIM mánager”. Los participantes podían comentar el modelo BIM subido a la nube, lo que posibilitó el flujo de comunicación continuo.

Han, Han, Ma, Tong, Wang y Hei (2023) proponen una optimización BIM para la alineación vial mejorando la seguridad y eficiencia de costos, encuentran que la calidad del diseño de alineación vial impacta la seguridad vial y encuentran falencias en los diseños convencionales dado que en el modo 2D es difícil verificar todas las posibles fallas. BIM ofrece ventajas en el diseño vial, en la visualización, con la inspección comprensiva y 3D, en la coordinación, con los cambios de diseño rápidos y flexibles, en la simulación de actividades requeridas y en la optimización con la aplicación completa de información heterogénea.

Jiang, Ma, Broyd, Chen, Luo y Du (2022) plantean una interesante estimación de demolición de edificios en proyectos de ampliación de carretera urbanas utilizando modelos BIM existentes, encuentran problemas de tráfico en carreteras antiguas y evidencian la necesidad de la demolición de edificios en el ensanchamiento de carreteras. En el curso de la estimación desarrollan un flujo de trabajo sistemático para calcular la demolición de edificios usando BIM existente, y se hacen construcciones de modelos BIM usando datos de mapas en internet y estadísticas gubernamentales, escaneo láser y nube de puntos para la geometría del edificio, reconocimiento de objetos basado en imágenes y uso de RFID para ayudar en la construcción de modelos, así se recrean modelos BIM de edificios con datos topográficos, DTM y DSM, así como modelos 3D y costos de demolición.

Sabato, D'Amico, Tripodi, y Tiberi (2023) realizaron un estudio sobre las aplicaciones de BIM en la seguridad vial, dados sus problemas actuales a nivel mundial, abordaron la necesidad de nuevas estrategias y enfoques innovadores. Plantean la aplicabilidad del BIM en proyectos de seguridad vial, la integración BIM y GIS para infraestructuras lineales y urbanas, y la importancia de datos geospaciales y dinámicos. Implementan una metodología multinivel funcional con modelos simplificados construidos, aplicable en contextos urbanos y rurales, y que no está restringida por el nivel de desarrollo de los modelos BIM. Desarrollan un estudio de caso en la autopista A90 y carretera rural SS4 en Italia para construir y validar modelos BIM.

El artículo “Análisis y simulación de tráfico basado en BIM en el diseño de intersecciones viales” desarrollado por Castañeda, Sánchez, Herrera, Pellicer y Porras (2021) hace un análisis al crecimiento poblacional y centros urbanos; en torno al aumento de la demanda de proyectos de infraestructura vial y la necesidad de las intersecciones viales por la congestión vial, el comportamiento de los conductores y las normas de tráfico. Usan diferentes plataformas para el análisis y simulación de tráfico, dada la necesidad de integración de análisis de tráfico con otras disciplinas. Como resultado afirman que se obtienen beneficios en la adopción de BIM: mejoras en el entendimiento del diseño, en la determinación del alcance, en la calidad del proyecto, en comunicaciones más efectivas y en los tiempos de diseño.

Han, Ma, Fang, Zhang, y Han (2022) proponen una investigación de un marco integrado BIM-IoT (Internet de las cosas) y Compactación Inteligente, mediante la transformación digital en la industria de la construcción de carreteras porque se evidencia la importancia del proceso de compactación en su ejecución, al haber limitaciones en los métodos tradicionales de control de calidad. Se proponen como tecnologías clave BIM para la integración de datos y visualización y gestión de la organización de la construcción, IC (Circuitos integrados), para el monitoreo en tiempo real y métodos de control de calidad e IoT para la conexión entre activos físicos y cibernéticos y captura de datos en tiempo real. Se aplica en un sitio real de construcción de carreteras, se evalúa la compactación en tiempo real, se ajusta y optimiza el programa de construcción basado en los resultados del monitoreo.

En el estudio denominado “Aplicación BIM para Infraestructura Vial Existente” (Carreteras,

ferrocarriles y túneles) Vignali, Acerra, Lantieri, Di Vincenzo, Piacentini y Pancaldi (2021) realizaron específicamente un estudio de caso en la carretera SS 245 en el norte de Italia. Abordaron problemas relacionados con la congestión vehicular, la contaminación del aire y el ruido, el diseño de un nuevo tramo de carretera, la conexión con la red vial existente mediante una rotonda, un cruce ferroviario mediante un túnel empujado y un carril para bicicletas. En la ejecución de BIM se utilizó AutoDesk – AutoCAD, Civil 3D y Revit Structure en 7 pasos; primero el modelado del terreno en 3D, luego la alineación horizontal, los perfiles verticales y secciones transversales, el modelado del túnel empujado, finalmente la creación de la rotonda, generando el modelo 3D para la visualización en un contexto real, logrando la optimización y validación del proyecto, reducción de tiempos de diseño y mejora en la colaboración y gestión de información.

Blockchain y flujo de caja

El proyecto “Contrato inteligente integrado con BIM para pagos de avance en el desarrollo del proyecto de construcción” elaborado por Sonmez, Ahmadiheykhsarmast y Güngör (2022) propone un método basado en blockchain para mejorar el proceso de pago tradicional en proyectos de construcción, mediante un sistema de administración de pagos de avance de contratos integrado con (BIM) para vincular los pagos del mundo real con la cadena de bloques. Los resultados se confrontaron con las respuestas a una encuesta a profesionales de la construcción y revelaron que el sistema propuesto tiene un potencial significativo para mejorar el procedimiento de pago tradicional porque acelera el proceso y disminuye las inconformidades y falta de precisión al hacer los pagos especialmente en proyectos de presupuestos elevados.

Celik, Petri y Barati (2023) coinciden con Tao et al. (2023) en afirmar que los avances recientes en BIM revelan nuevas formas de integración de datos, información y procesos, en los cuales se determina la prioridad, la procedencia y la idoneidad de la información para su uso; para esto proponen el uso de Blockchain para registrar metadatos de objetos BIM, porque puede ofrecer la capacidad de aplicar niveles de ‘confianza’ a objetos BIM individuales y un marco de colaboración más seguro entre las partes interesadas.

Celik, Petri y Rezgui (2023) encontraron que la tecnología blockchain, al crear un sistema descentralizado y transparente, donde todos los actores pueden tener acceso a una base de datos compartida; puede ayudar a mitigar problemas como baja eficiencia, retrasos, retrabajo y desperdicio innecesario, causados por un flujo de trabajo lineal y una cultura de relaciones adversas, evitación de riesgos y falta de confianza en la industria de la construcción. Además, el blockchain permite rastrear y supervisar las diferentes etapas del proyecto, e incluso automatizar algunos procesos.

El documento explora la integración de BIM y blockchain a lo largo del ciclo de vida y las cadenas de suministro basadas con el objetivo de agilizar la colaboración mientras se mejora la eficiencia del proceso y la trazabilidad de recursos en proyectos, a partir de la integración de BIM y blockchain durante el ciclo de vida del proyecto. La integración de blockchain y BIM permitió el desarrollo de una infraestructura de datos sólida necesaria para digitalizar el proceso de construcción; mediante la implementación de una hoja de ruta.

Elghaish, Hosseini, Kocaturk, Arashpour, y Bararzadeh (2023) en el estudio “Cadena de suministro de construcción circular digitalizada: una solución integrada” se enfocan en la mejora de una cadena de suministro circular en la construcción, mediante la adopción del sistema blockchain, para lo cual diseñaron una aplicación que interactúa en un contexto problemático

con el fin de mejorar algo en ese contexto. Los investigadores se convierten en solucionadores de problemas, en lugar de aplicar métodos que se centran en observar y evaluar actividades para esto proponen cinco etapas: la identificación del problema, la sugerencia de tratamiento, el diseño del tratamiento, la evaluación y la conclusión.

Amin Ranjbar, Ansari, Taherkhani y Hosseini (2021) desarrollaron un marco para el análisis de riesgos en el flujo de caja para la construcción, partiendo de que la mayoría de las soluciones para la gestión del flujo de efectivo en los proyectos de construcción implica gran cantidad de operaciones manuales, que consumen tiempo y pueden conducir a errores. Otra razón es que en la implementación de la dimensión 5D de BIM (costos) las soluciones actuales no han tenido éxito en fusionar BIM con la gestión de riesgos porque el análisis de diversos escenarios requiere la integración de la dimensión 5D, con procedimientos de codificación y enfoques avanzados de estimación de costos, mediante procedimientos simples y teóricamente sólidos, fáciles de adoptar. El marco propuesto estima con precisión el flujo de efectivo de los proyectos, considerando los patrones de pago de materiales, equipos, recursos humanos y subcontratistas, y los atributos relacionados con el contrato, evaluando los impactos de factores de riesgo en el flujo de efectivo de los proyectos. Validan los resultados con un estudio de caso en Irán. El principal aporte son los fundamentos teóricos y los procedimientos lógicos para un marco habilitado para BIM, para la gestión del flujo de efectivo de proyectos de construcción.

Sostenibilidad

En el trabajo Análisis arquitectónico y optimización para la construcción basado en BIM, desarrollado por Zhang, Zhu, Khan, Houda, Rehman, Jameel, Javed y Alrowais en (2023) se resalta que la creciente necesidad de electricidad ha puesto en peligro la economía de Pakistán y consideran la noción de “Construcción 4.0” para lograr la máxima utilización de energía y análisis arquitectónico, aplicando conceptos de construcción verde. Realizan un estudio de caso de análisis energético y comparación de optimización del Bloque A y el Bloque Z de COMSATS Abbottabad, Pakistán, el cual representan “como un modelo paramétrico utilizando la plataforma Autodesk Revit con los planos originales y datos y utilizando Autodesk Insight 360 analizan el rendimiento energético, al rotar el edificio 360 grados en intervalos de 45 grados y utilizar BIM para instalar materiales de construcción eficientes desde el punto de vista energético; el costo energético anual promedio para los bloques A y Z se reduce de 228 kWh/m² a 160 kWh/m² y 192 kWh/m², respectivamente”.

Según Pan, Mateen Khan, Eldin, Aslam, Kashif Ur Rehman y Jameel (2024) el concepto de sostenibilidad combina aspectos sociales, ambientales y financieros y se define como “El desarrollo que satisface las demandas de las generaciones actuales sin poner en peligro el potencial de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades y objetivos” (Comisión Mundial sobre el medio ambiente y desarrollo, 1987). La combinación de BIM con el marco de sostenibilidad, gira en torno a tres dimensiones o las tres P: personas, planeta, provecho económico (TBL), permite medir, mejorar y evolucionar en las construcciones sostenibles, de igual forma Guignone, Calmon, Vieira y Bravo (2023) realizaron una revisión sistemática y encontraron que existen vacíos y desafíos en la implementación de metodologías BIM Lifecycle Analysis (LCA), específicamente, destacan que no hay artículos estandarizados que presenten mejores prácticas que permitan construir un referente relevante para reducir la subjetividad en la toma de decisiones en cuanto al diseño y desarrollo de proyectos de ingeniería con un mejor desempeño ambiental, es decir, hace falta un marco conceptual y metodológico que guíe su desarrollo.

Soust-Verdaguer, Llatas y García-Martínez (2017) citados por Pan et al. 2024 expresan que la utilización de todos los datos incluidos en el modelo BIM brinda una influencia ambiental en el diseño a través de 3 pasos: primero, uso de BIM para datos (cuantificar elementos materiales y arquitectónicos), segundo, incluir datos ambientales en BIM como herramienta de diseño, y tercero, establecer un sistema automatizado basado en datos de software.

Guignone, Calmon, Vieira, y Bravo (2023) realizaron una revisión bibliográfica, con la metodología ProKnow-C, sobre la integración de ciclo de vida (LCA) y BIM en el proceso de desarrollo de proyectos de ingeniería teniendo en cuenta el rendimiento ambiental de los edificios. Encontraron que, a pesar de la importancia de esta integración, las publicaciones sobre el tema son en su mayoría recientes y que el 70 % de éstas se realizaron entre 2020 y 2022, además detectaron la ausencia de un marco conceptual y metodológico para la integración BIM-LCA. Producto de esta revisión, presentaron pautas para la elaboración de artículos BIM-LCA.

El estudio “Avances recientes en edificaciones sostenibles basadas en BIM: Revisión del estado del arte” realizado por Fonseca Arenas y Shafique (2023), aborda cómo BIM se puede utilizar para desarrollar edificaciones sostenibles. A través de una revisión sistemática, los autores evalúan las metodologías BIM, la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) y la Modelación Energética de Edificios (BEM) proporcionando un análisis exhaustivo de las tecnologías y estrategias actuales para reducir el impacto ambiental de la construcción.

En el artículo “BIM en la construcción ecológica: Mejorando la sostenibilidad en lo pequeño” de Waqar, Othman, Saad, Azab y Khan (2023), los autores exploran cómo BIM está siendo adoptada por pequeñas y medianas empresas para mejorar sus prácticas de sostenibilidad. El artículo destaca los beneficios y desafíos específicos que enfrentan las PYMEs al implementar BIM, proporcionando una visión valiosa sobre su potencial para transformar el sector de la construcción.

Pereiro, Cabaleiro, Conde, Riveiro (2023) en su estudio “Metodología BIM para análisis de costos, sostenibilidad y gestión de estructuras de acero con juntas reconfigurables para estructuras industriales” examinan cómo BIM puede ser utilizado para analizar los costos y la sostenibilidad en reconfiguraciones de estructuras industriales. El análisis detallado de tres reconfiguraciones diferentes ofrece perspectivas sobre cómo BIM puede ayudar a entender y gestionar mejor los costos y la sostenibilidad de los proyectos de construcción.

En el artículo “Análisis informétrico y revisión de la literatura sobre el papel de BIM en la construcción sostenible” de Santos, Costa, Silvestre, Pyl (2019) los autores realizan un análisis sobre cómo (BIM) está siendo utilizada para fomentar prácticas de construcción sostenible. Mediante un análisis informétrico, los autores proporcionan una visión detallada de la literatura existente, identificando brechas y tendencias que destacan el creciente papel de BIM en la mejora de la sostenibilidad en el sector de la construcción.

Métodos, Resultados y Desafíos

La síntesis de la metodología de los resultados y los desafíos extraídos de los 34 artículos se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6*Síntesis de metodología, resultados y desafíos de los artículos.*

No	Metodología	Resultados	Retos y Desafíos
1	Búsqueda exploratoria de información mediante enfoques: matemáticos, heurísticos y metaheurísticos.	Recomendaciones para desarrollar un modelo de optimización multiobjetivo BIM utilizando un algoritmo genético con base en los hallazgos para futuras investigaciones en este campo.	Problemas de programación con múltiples actividades y necesidad de soluciones aproximadas en lugar de óptimas.
2	DEA. 3 etapas: transformación de logros, beneficios y efectos de BIM. Evaluación: AHP, SVP y CNN	Indicadores para mejora de eficiencia, gestión de datos y satisfacción del cliente.	Formación de talento, establecimiento de estándares e innovación en aplicaciones BIM.
3	Requisitos de información, sistema de clasificación de datos, Delphi, comparación BIM con estándares.	La generación de entregables 2D efectivos mejora la productividad.	Mejorar estándares de desarrollo LOD y marco de requisitos BIM para entregables 2D.
4	Investigación científica, análisis de vulnerabilidades, entrevistas.	Prototipo ligero de blockchain para mejorar la eficiencia de diseño en BIM: Lightweight-Blockchain-as-a-Service (LBaaS).	Mejorar captación de requisitos y automatizar proceso para agilizar flujos de información.
5	BIM-Blockchain, eventos, transacciones y contratos inteligentes. Análisis de tecnologías emergentes. Estudio de caso.	Blockchain mejora la confianza, transparencia y aceleración de procesamiento de datos de construcción.	Escalabilidad y rendimiento Blockchain BIM, Implementar Internet de las cosas (IoT) y Cloud Service.
6	Estudio de caso, método waterfall, diseño de plugin.	Reducción de conflictos, aceleración de procesos, experimentación computacional.	Infraestructura legal y contable, contratos a precio unitario, sistemas semiautónomos.
7	Marco de análisis 5D, flujo de caja y riesgos (simulación de Monte Carlo). Estudio de caso.	Apoyo al análisis y gestión de recursos financieros BIM, y predicción de flujo de caja considerando riesgos e incertidumbre.	Procedimiento estandarizado, confiable para gestión de riesgos, estimación de costos y planificación.
8	DSR, identificación del problema, sugerencia de tratamiento, diseño de tratamiento, evaluación y conclusión.	Integración de tecnologías digitales para mejorar la gestión de suministro circular.	Necesidad de soluciones prácticas para proyectos de gran escala.
9	Revisión sistemática, análisis bibliométrico, integración BIM-LCA, desarrollo de modelo LOD 300.	Importancia de incluir análisis de incertidumbre y sensibilidad en los estudios de BIM-LCA.	Integración dinámica sin plugins, estudios de caso, estandarización y regulaciones.
10	Revisión de literatura, modelado de proyección real, evaluación cualitativa.	Eficiencia y automatización para solucionar limitaciones en el proceso de construcción mediante blockchain.	Necesidad de estándares y políticas, escalabilidad limitada, complejidad de la tecnología.

Tabla 6 (continuación)

No	Metodología	Resultados	Retos y Desafíos
11	Revisión de literatura, recolección y análisis de datos SPSS, investigación científica.	BIM en Irak nivel 0, necesidad de adoptar tecnologías modernas, recomendaciones para superar barreras.	Uso limitado de BIM avanzado, formar expertos y conciencia, abandonar métodos tradicionales.
12	Integración de BIM, LEED y Lean. Estudio de caso.	AR/VR permite identificar problemas antes de construcción y capacitar personal, impacto positivo en costos, tiempo, calidad.	Integrar tecnologías modernas para lograr construcciones sostenibles.
13	Investigación científica, revisión sistemática, evaluación de estudios existentes.	Falta de conocimiento, costos altos y resistencia al cambio, limitan adopción BIM, Modelado Energético del Edificio (BEM).	Interoperabilidad, compatibilidad, investigación empírica.
14	Bases de datos de riesgo para el diseño, recolección, mapeo, análisis y desarrollo del plugin, estudio de caso.	Plugin, automatización del cálculo de riesgos, identificación de elementos de construcción y procesos de trabajo.	BIM podría suplir la falta de conocimiento en seguridad de arquitectos y diseñadores.
15	Revisión, estudio de caso, modelo BIM, análisis empírico, comparación de optimización.	BEM, factores de optimización temprana mediante simulación en BIM – BEM.	Se necesita implementar BIM para equilibrar costos y reducir consumo energético.
16	Investigación científica, Modelos 3D, análisis ciclo de vida, modelos federados, integrado, híbrido.	Software y tecnologías de información permiten trabajo colaborativo, reducen tiempos, costo, y mejoran la calidad.	Redistribuir responsabilidades, compatibilidad de software, gestionar información de forma eficiente.
17	Análisis respecto a ISO, investigación cualitativa, desarrollo BIM-CAREM, revisión por expertos, estudio de caso.	BIM-CAREM es útil para evaluar y mejorar capacidades en ciclo de vida	Incluir proveedores de segundo nivel, adaptar regulaciones, gestión de archivos y planificación de desastres.
18	Estudio de caso, modelado BIM, evaluación de alineación vial, optimización basada en NSGA-II.	Mejora del 6.6 % respecto a métodos tradicionales, BIM mejora calidad y eficiencia de diseño vial.	Mejorar precisión en simulación de conducción e impacto de alineación en costos de mantenimiento.
19	Estudio de caso, uso de modelos BIM “as-is”, análisis con algoritmo de ajuste a carreteras.	Beneficios “as-is” en diseño preliminar, mejora en precisión, impactos ambientales positivos.	Evaluar enfoque propuesto con método cuantitativo.
20	Estudio de caso, Evaluación de seguridad iRAP, modelado BIM	La codificación automatizada brinda resultados con precisión, el método usado es eficiente.	Estándares BIM y metodología iRAP, integración con seguridad vial.
21	Estudio de caso, modelado BIM, análisis de costos, comparativa con alternativas.	Mejora entendimiento, calidad, comunicación, alcance, y se acelera el proceso de diseño.	Aspectos ambientales, sociales y de sostenibilidad, modelos de análisis de tráfico microscópicos.
22	Estudio de caso, modelado BIM, demostración del caso.	Hay eficacia en el framework de BIM, se pueden hacer ajustes y optimizaciones basado en el monitoreo.	Proceso de construcción de carreteras y programación con BIM-4D.

Tabla 6 (continuación)

No	Metodología	Resultados	Retos y Desafíos
23	Estudio de caso, diseño y modelado BIM, integración GIS-BIM.	Beneficios en vías, se reducen tiempos de diseño, mejora en colaboración y gestión de la información.	Se necesita mejorar la interoperabilidad y formatos de intercambio.
24	Estudio de Caso, Uso de BIM, Aprendizaje basado en proyectos (PBL).	Uso de software en disciplinas específicas, Formatos de Intercambio de Archivos (IFC, COBie).	Interoperabilidad, capacitación BIM en personal, riesgos sociales, legales, técnicos.
25	Recolección de datos (Scopus), análisis bibliométrico, tecnologías de la web semántica.	Incremento en publicaciones, importancia de la información semántica en restauración.	Automatización, interoperabilidad, grandes conjuntos de datos.
26	Propuesta de preguntas, búsqueda de evidencia, filtración y síntesis, evaluación y discusión.	Integración de datos BIM-CFD, análisis de parámetros.	Coste computacional, transferencia de datos.
27	Revisión sistemática de la literatura, criterios de inclusión/exclusión.	Incremento en publicaciones desde 2010, funciones BIM clave identificadas.	Existe fragmentación de la literatura y falta evaluación de efectividad.
28	Investigación de ciencia del diseño (DSR), entrevistas, encuestas.	Prototipo BeeM, alta aceptación en utilidad y aplicabilidad.	Número limitado de participantes, pruebas a largo plazo.
29	Identificación de impedimentos, recolección de datos, análisis factorial exploratorio (EFA).	Impedimentos técnicos, de integración, creatividad, privacidad, estandarización y operacionales	Falta de integración con otros sistemas, precisión limitada de datos.
30	Bibliotecas de familias paramétricas, evaluación estructural.	Optimización del diseño de refuerzo, mejora en la colaboración de proyectos.	Inconsistencias de datos, limitaciones de espacio y componentes existentes.
31	Revisión sistemática de la literatura, análisis descriptivo, análisis cualitativo.	Incremento en publicaciones, análisis de rendimiento ambiental en edificios.	Problemas de intercambio de datos, necesidades de un plan de ejecución BIM.
32	Revisión de literatura, análisis cuantitativo, estudio de caso.	Beneficios de la integración de BIM, optimización del diseño en etapas tempranas.	Recursos limitados, restricciones en costos.
33	Diseño, modelado, rediseño, reconfiguración, repetición. Análisis de rentabilidad y sostenibilidad, 3 Estudios de caso.	Rentabilidad económica desde la tercera reconfiguración, sostenibilidad ambiental.	Costos iniciales elevados, gestión de trazabilidad de perfiles reutilizados.
34	Búsqueda de publicaciones, análisis informétrico, categorización por contenido.	BIM ha permitido intercambio y transparencia en el acceso a la información.	Drones y TI, en el monitoreo de obras. BIM-GIS para ciudades inteligentes y sostenibles.

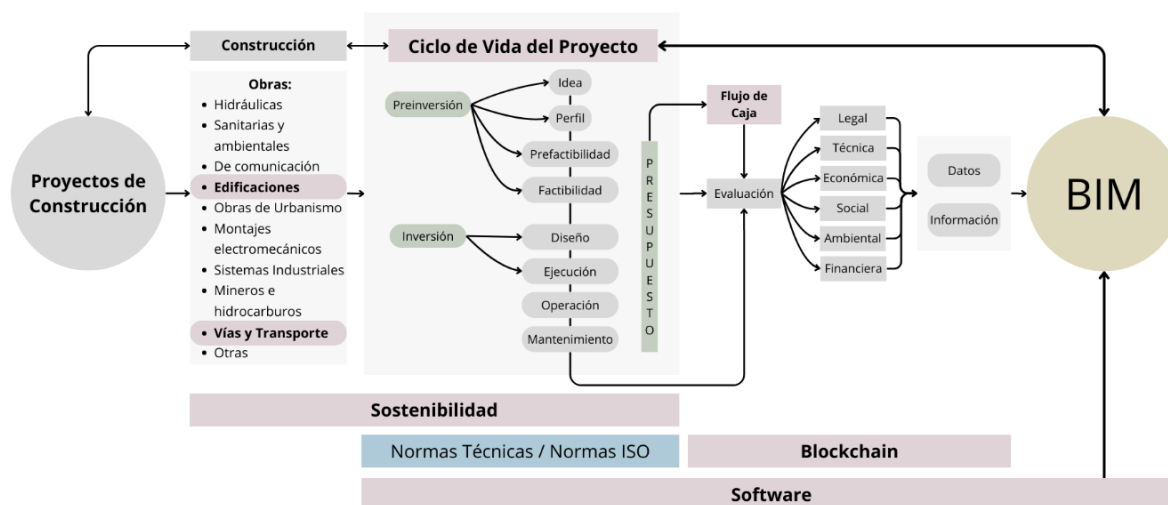
En la Tabla 6 se logró sintetizar la metodología y los resultados obtenidos por los autores de los artículos que formaron parte de esta revisión, dando una visión completa de la investigación en BIM, sus métodos, tendencias, desafíos y retos lo que permitirá orientar la investigación futura en este campo. De igual forma permitió conocer aspectos de los componentes que se proponen para el análisis sistémico.

Análisis Sistémico

El análisis sistémico es un resultado de este trabajo con el propósito de establecer un marco de referencia en el campo de los proyectos de construcción, que permita visualizar los diferentes temas y componentes encontrados en la revisión bibliográfica realizada sobre BIM y las relaciones que se pueden establecer entre estos, para formular nuevas áreas, líneas y proyectos de investigación. Se diseñó determinando y relacionando 6 elementos: el proyecto de construcción, los tipos de proyectos, el ciclo de vida del proyecto, la normatividad, las dimensiones BIM, el software y la sostenibilidad como valor agregado a la implementación de BIM. Los componentes mencionados y sus relaciones se presentan en la Figura 10.

Figura 10

Representación del enfoque sistémico



Se parte de los proyectos de construcción y los diferentes tipos de éstos como: obras hidráulicas, sanitarias y ambientales, de comunicación, edificaciones, obras de urbanismo, montajes electromecánicos, sistemas industriales, obras de minería e hidrocarburos, obras de infraestructura, vías y transporte, entre otras. Cada obra se formula mediante un proyecto el cual cumple con las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto pre-inversión, inversión, operación y mantenimiento.

En la pre-inversión se origina la idea del proyecto y se desarrolla su perfil; en la inversión se realizan los estudios de prefactibilidad y de factibilidad, se plantean varias alternativas de solución; se evalúan desde los aspectos legal, técnico, económico, social, ambiental y financiero, dependiendo del tipo de proyecto si es público o privado y finalmente se escoge el mejor, acorde con los recursos disponibles para su ejecución.

En los estudios de prefactibilidad y factibilidad se aplica la ingeniería básica y conceptual para los prediseños; y la ingeniería de detalle para los diseños definitivos de la alternativa seleccionada, la elaboración del presupuesto y la proyección del flujo de caja para la ejecución (construcción) del proyecto. De igual forma se proyectan los costos y gastos para la operación y mantenimiento del proyecto. Los diseños deben cumplir con las normas técnicas para su desarrollo y si se están implementando con BIM con las normas ISO correspondientes.

Durante todo el ciclo de vida del proyecto se generan datos e información escrita y gráfica como planos, cálculos, especificaciones técnicas, etc., producto del trabajo colaborativo que desarrollan los equipos y que debe ser compartido para la elaboración de los modelos 3D, es

en este proceso donde los diferentes software que apoyan cada fase del proyecto necesitan la interoperabilidad para poder integrar toda la información y producir la versión final para el diseño definitivo, el cual servirá de base para la construcción de la obra.

Actualmente la cultura y la economía circular orientan el desarrollo de proyectos sostenibles y amigables con el medio ambiente de tal forma que se garantice que las generaciones futuras también puedan disfrutar de los recursos naturales del planeta y BIM facilita la inclusión de los aspectos sociales, ambientales y financieros en la sostenibilidad en los proyectos desde su inicio, para que sea tomada en cuenta en el diseño, ejecución, operación y mantenimiento.

Conclusiones

Mediante la revisión bibliográfica de contenido, metodológica y análisis bibliométrico, de contenido y sistémico, se lograron evidenciar diferentes avances, brechas y desafíos a los que se enfrenta BIM, tanto en su desarrollo, como en su implementación y ejecución. Los autores en sus distintas investigaciones han abarcado diferentes temáticas desde perspectivas diversas. Al analizar y comprender sus estudios y relacionarlos entre sí, se logra obtener una mirada holística del presente de BIM que permite hacer una aproximación a la proyección de su futuro, dando indicios para saber hacia dónde se debe ir y dirigir las investigaciones.

Avances Significativos

En el transcurso de los últimos años se ha progresado notablemente en la investigación en las diferentes temáticas de BIM, con esto, se ha logrado obtener avances a nivel tecnológico, metodológico, teórico y práctico en cada campo de BIM y, para este estudio, en las temáticas identificadas.

Dentro del *ciclo de vida del proyecto* en el diseño y planeación, BIM proporciona automatización y modelado avanzado, entregando precisión y detalle en la planificación. Con esto se disminuye el número de revisiones durante y después del diseño. Así mismo, BIM facilita el análisis de sostenibilidad y eficiencia energética contribuyendo a la optimización a largo plazo, provee herramientas que simplifican la coordinación entre equipos y disciplinas, minimizando conflictos y retrasos. Se logra establecer monitoreo y logística con el IoT, permitiendo un monitoreo en tiempo real de la construcción, optimizando la logística y gestión de materiales. En consecuencia, de todos los anteriores, se da disminución en tiempo y costos, y aumento de calidad en los resultados.

Por otra parte, en cuanto a *software* la compatibilidad e interoperabilidad en BIM, son temas de investigación permanente en el área de herramientas informáticas y tecnología al ser necesarias para el intercambio de información de forma eficiente. Actualmente existen estándares que facilitan este proceso, por ejemplo, IFC y COBie, abordan gran parte de este requisito al incluir definiciones globales de diferentes elementos constructivos y sus atributos, la ISO 19650 proporciona una estandarización en los procesos de diseño y construcción, y promueve la uniformidad en los procesos BIM lo que favorece la interoperabilidad entre distintos actores y herramientas.

Otros autores muestran que también se ha incentivado el desarrollo de soluciones innovadoras para problemas de interoperabilidad, incluyendo el uso de herramientas complementarias como

plugins que mejoran la integración de datos. La integración de BIM con CFD y análisis de sostenibilidad, amplía las capacidades del modelado y optimiza los resultados de diseño y construcción. Estos avances facilitan el trabajo colaborativo y la integración de datos multidisciplinares dentro de un proyecto de construcción BIM.

La implementación de BIM en la construcción de **edificaciones** es predominante, hay procedimientos estandarizados y confiables para la planificación, gestión de riesgos y estimación de costos, así como modelos para fases futuras del ciclo de vida como BEM y la implementación de las dimensiones 8D, 9D y 10D para dar mejor rendimiento financiero y ambiental.

En **carreteras y vías** se evidenció que hay un avance significativo en la implementación de software BIM para detallar el trazado y lineamientos de construcciones nuevas y remodelaciones, así como simulaciones para detectar errores en fases tempranas y generar soluciones en los nuevos diseños.

La implementación de **blockchain & flujo de caja** en proyectos de construcción BIM y las investigaciones han venido creciendo exponencialmente en los últimos años. Esto surge a partir de la necesidad de generar transparencia, acelerar y automatizar procesos en flujo de caja y brindar agilidad, seguridad y confianza en los contratos evitando conflictos en los interesados en el proyecto.

En cuanto a **sostenibilidad**, BIM permite la integración de diferentes metodologías adicionales para mejorar la productividad y sostenibilidad como Lean y LEED, así como incluir modelos de energía de las edificaciones (BEM) para optimizar su consumo de energía mediante optimización temprana de sostenibilidad y obtener un impacto ambiental positivo.

Brechas Identificadas

Con el estudio realizado, se identificaron ausencias y deficiencias en el conocimiento, investigación y práctica en la implementación y metodología de BIM, donde hay un claro espacio conceptual, práctico y normativo, entre el estado actual y el deseado de los resultados en proyectos que usan BIM. Mediante el análisis realizado, se logra conocer específicamente, qué áreas del conocimiento deben ser tratadas, qué necesidad debe ser suplida operacionalmente, y dónde se requieren implementaciones para el uso eficiente y completo de BIM.

Software

Ya se han mencionado avances significativos en el desarrollo de interoperabilidad y compatibilidad, sin embargo, siguen existiendo desafíos a la hora de transferir y manejar datos, por la falta de interoperabilidad eficiente entre plataformas, adicionalmente, a pesar de que ya existen estándares como ISO 19650, la interpretación y aplicación varían significativamente entre países y empresas, generando inconsistencia de datos y procesos.

BIM y la implementación de nuevas tecnologías de realidad aumentada (AR) y realidad virtual (VR) hace que sea más fácil detectar errores en el proceso del diseño preliminar mediante el modelado de objetos de simulación.

Se puede escalar BIM mediante la implementación de servicios en la nube e internet de las cosas sin embargo la falta de conocimiento y aplicación de estas tecnologías puede ser impedimento y generar complejidad.

Ciclo de Vida del Proyecto

A pesar de los avances en BIM en optimización de tiempos, costos y mejora de calidad mediante la automatización de procesos, sigue faltando más desarrollo en las etapas de operación y mantenimiento de los proyectos, ya que estas necesitan un monitoreo postproducción, que genere eficiencia en las actividades de mantenimiento y pueda predecir necesidades futuras.

Se necesita mejorar la estandarización para los niveles de detalle del modelo y niveles de información del detalle (LOD) y requisitos funcionales en BIM.

Edificaciones

La estandarización en obras de construcción se ha visto afectada por la singularidad de cada proyecto, al tener características únicas que requieren parámetros específicos para su implementación y modelado.

Carreteras y Vías

Se necesita un mejor aprovechamiento de las tecnologías relacionadas con BIM para hacer análisis de seguridad vial desde el proceso de diseño.

En la revisión realizada la mayor cantidad de estudios de caso se hacen sobre el diseño y construcción de edificaciones, en segundo lugar, vías y carreteras para los cuales BIM puede proporcionar soluciones prácticas para proyectos de gran escala. Hace falta monitoreo en tiempo real mediante drones y automatización de equipos para la ejecución de procesos de alto riesgo que eviten accidentes y pérdidas humanas.

Blockchain

La implementación de blockchain en el flujo de caja, se ha visto limitada por la falta de conocimientos en el equipo técnico del proyecto y por la falta del desarrollo de programas escalables, la inconsistencia de datos, el problema de intercambio de datos y el costo computacional.

Sostenibilidad

El uso limitado de BIM, la falta de expertos y de conciencia, al igual que la resistencia al cambio de los métodos tradicionales, puede retrasar los impactos positivos del uso de BIM en las 3P, Personas, planeta y provecho económico de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

Desafíos Clave

El desarrollo de la revisión y estudio de los artículos seleccionados, permitió conocer detalladamente las dificultades e impedimentos principales que afronta BIM, con esto es posible saber qué obstáculos técnicos, conceptuales, metodológicos y relacionados con la implementación de soluciones, deben ser abordados para reducir el grado de complejidad del problema, con el fin de poder generar soluciones estratégicas en investigaciones y estudios futuros.

Software

Mejorar la interoperabilidad no solo requiere de compatibilidad de software, sino también de un marco común que facilite la integración fluida de datos entre disciplinas y fases del proyecto, desde el diseño hasta el mantenimiento.

Ciclo de Vida

Muchas organizaciones en la industria de la construcción todavía muestran resistencia a adoptar BIM, debido a la percepción de alta inversión inicial y la necesidad de una reestructuración significativa en los procesos de trabajo.

Edificaciones

La diversidad en las características del proyecto (topografía, clima, terrenos, diseño, leyes, normas, personas, cultura, costos, geografía, entre otras), hacen que la estandarización de las normas permita flexibilidad para lograr su implementación en cada proyecto.

Carreteras y Vías

Es necesario mejorar la precisión en la simulación de la conducción e impactos de alineación en los costos de mantenimiento vial para garantizar vías seguras para los usuarios. Así mismo, desarrollar modelos de análisis de tráfico que den mayores detalles para la mejora de los diseños de las vías.

Blockchain y flujo de caja

La integración de los datos, la compatibilidad, los pocos resultados de investigación y la baja capacidad de procesamiento, son actualmente los principales obstáculos en la implementación de nuevas tecnologías blockchain.

Sostenibilidad

La inclusión de los aspectos ambientales, sociales y de sostenibilidad mediante el modelado BIM podrían mejorar el entendimiento, rendimiento, eficiencia y la calidad en el diseño y la construcción de obras de ingeniería sostenibles.

Cierre Conceptual

BIM es la evolución de las metodologías tradicionales para el desarrollo de proyectos, teniendo como base la integración de la información a través de herramientas informáticas que desde hace muchos años se han generado y consolidado para el diseño y ejecución de los proyectos de construcción; las cuales tienen como requisito principal permitir el trabajo colaborativo entre los integrantes de los equipos de personas, para crear, compartir y coordinar información detallada y precisa del proyecto en las diferentes etapas de su ciclo de vida es decir desde la concepción, el diseño, la ejecución, la implementación, la operación y el mantenimiento.

Dado que BIM se puede considerar una metodología que está en constante evolución, en su implementación se requieren equipos humanos con habilidades en el diseño técnico, en la gerencia, en el uso de herramientas informáticas en la codificación y tratamiento de operadores lógicos complicados, con gran sensibilidad ante los aspectos y riesgos físicos, económicos, sociales, culturales y ambientales, entre otros, que afectan positiva o negativamente los proyectos de construcción.

Es evidente que a nivel mundial BIM se está posicionando cada día, lo que facilitará la estandarización y el mejoramiento continuo de los procesos de concepción, diseño, ejecución, operación y mantenimiento de las obras de infraestructura; pero también es evidente, según los

reportes de las investigaciones revisadas, que hace falta la capacitación en BIM y la generación de estrategias que permitan el acercamiento a su conocimiento e implementación en pequeñas y medianas empresas dedicadas al diseño y construcción.

Algunos autores coinciden en afirmar que hace falta estándares y normativas; mientras que otros concluyen que la estandarización no permite flexibilizar los procesos de integración y hacen que sea más compleja la implementación de BIM en las empresas porque hay que tener en cuenta que los proyectos son diferentes y tienen diferentes requisitos que cumplir.

Otro aspecto en el que coinciden varios autores es en el desconocimiento del trabajo colaborativo entre los equipos del proyecto lo que no permite que fluya ágilmente la comunicación ni la información en la integración y desarrollo de los proyectos.

En Colombia, según el Ministerio de Vivienda, los usos esperados de BIM son especialmente en la digitalización de la planificación urbana, la comunicación y visualización del proyecto con las comunidades, la representación geográfica y tridimensional compleja, y planificación con bajos recursos. La adopción de BIM ha permitido un 40 % de eficiencia en coordinación de edificios, un 45 % en eficiencia en el desarrollo de proyectos de espacio público, un 48 % en comunicación y análisis de modelos y un 60 % en eficiencia en modelar grandes superficies de terreno.

Por otra parte, es innegable que el vertiginoso avance de la inteligencia artificial ejercerá un soporte a la Metodología BIM, lo cual permitirá una mayor agilidad y rapidez en la aplicación en los proyectos desde su concepción, planeación, digitalización, diseño, operación, mantenimiento, presupuestos, entre otros, reemplazando actividades repetitivas y demoradas, por una mayor capacidad de análisis y mejor toma de decisiones.

Como ya se dijo la identificación, formulación y evaluación de los proyectos se hace teniendo como marco de referencia el ciclo de vida del proyecto; este ciclo corresponde a las fases de pre-inversión, inversión, operación y mantenimiento. En BIM la definición y estandarización de las fases y etapas del proyecto parte de las fases ya mencionadas y es lo que permite crear un lenguaje común en la definición de entregables y estado de avance de los modelos del proyecto (Mesa Técnica, Estrategia BIM Colombia, 2021). Este ciclo se convierte en uno de los componentes de la metodología BIM.

Declaraciones

Conflicto de intereses. La autora declara que no existe ningún conflicto de intereses.

Disponibilidad de los datos de investigación. El conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio se publicó en el propio artículo.

Uso de inteligencia artificial. Se utilizó la herramienta de inteligencia artificial Claude (Anthropic) para apoyar la conversión del manuscrito al formato de publicación y la traducción al inglés del título, el resumen y las palabras clave. La autora revisó y aprobó el resultado.

Referencias Bibliográficas

Amin, K., Mills, G., & Wilson, D. (2023). Key functions in BIM-based AR platforms. *Automation in Construction*, 150, 104816. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104816>

- Amin Ranjbar, A., Ansari, R., Taherkhani, R., & Hosseini, M. R. (2021). Developing a novel cash flow risk analysis framework for construction projects based on 5D BIM. *Journal of Building Engineering*, 44, 103341. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103341>
- Bellido-Montesinos, P., Lozano-Galant, F., Castilla, F. J., & Lozano-Galant, J. A. (2019). Experiences learned from an international BIM contest: Software use and information workflow analysis. *Journal of Building Engineering*, 21, 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.012>
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., Pellicer, E., & Porras, H. (2021). BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design. *Automation in Construction*, 131, 103911. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103911>
- Celik, Y., Petri, I., & Barati, M. (2023). Blockchain supported BIM data provenance for construction projects. *Computers in Industry*, 144, 103768. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103768>
- Celik, Y., Petri, I., & Rezgui, Y. (2023). Integrating BIM and Blockchain across construction lifecycle and supply chains. *Computers in Industry*, 148, 103886. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103886>
- Dorozhkina, E. (2022). Features of interaction of participants in the construction of transport infrastructure facilities at the stage of implementing BIM technologies. *Transportation Research Procedia*, 63, 2703-2709. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.312>
- Eastman, C. M. (1975). The use of computers instead of drawings in building design. *AIA Journal*, 63(3), 46-50.
- Elghaish, F., Hosseini, M. R., Kocaturk, T., Arashpour, M., & Bararzadeh Ledari, M. (2023). Digitalised circular construction supply chain: An integrated BIM-Blockchain solution. *Automation in Construction*, 148, 104746. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104746>
- Essam, N., Khodeir, L., & Fathy, F. (2023). Approaches for BIM-based multi-objective optimization in construction scheduling. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 102114. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102114>
- Fonseca Arenas, N., & Shafique, M. (2023). Recent progress on BIM-based sustainable buildings: State of the art review. *Developments in the Built Environment*, 15, 100176. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100176>
- Guignone, G., Calmon, J. L., Vieira, D., & Bravo, A. (2023). BIM and LCA integration methodologies: A critical analysis and proposed guidelines. *Journal of Building Engineering*, 73, 106780. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106780>
- Han, C., Han, T., Ma, T., Tong, Z., Wang, S., & Hei, T. (2023). End-to-end BIM-based optimization for dual-objective road alignment design with driving safety and construction cost efficiency. *Automation in Construction*, 151, 104884. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104884>
- Han, T., Ma, T., Fang, Z., Zhang, Y., & Han, C. (2022). A BIM-IoT and intelligent compaction integrated framework for advanced road compaction quality monitoring and management. *Computers and Electrical Engineering*, 100, 107981. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107981>

- International Organization for Standardization. (2018). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles*.
- Jiang, F., Ma, L., Broyd, T., Chen, K., Luo, H., & Du, M. (2022). Building demolition estimation in urban road widening projects using as-is BIM models. *Automation in Construction*, 144, 104601. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104601>
- Jiang, S., Feng, X., Zhang, B., & Shi, J. (2023). Semantic enrichment for BIM: Enabling technologies and applications. *Advanced Engineering Informatics*, 56, 101961. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101961>
- Kim, Y., Chin, S., & Choo, S. (2022). BIM data requirements for 2D deliverables in construction documentation. *Automation in Construction*, 140, 104340. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104340>
- Lu, Y., Gong, P., Tang, Y., Sun, S., & Li, Q. (2021). BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects. *Automation in Construction*, 124, 103553. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103553>
- Luo, L., Chen, H., Yang, Y., Wu, G., & Chen, L. (2022). A three-stage network DEA approach for performance evaluation of BIM application in construction projects. *Technology in Society*, 71, 102105. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102105>
- Mesa técnica. Estrategia BIM Colombia. (2021). *Guía de Estándares, métodos y procedimientos BIM V01*. Colombia.
- Pan, X., Mateen Khan, A., Eldin, S. M., Aslam, F., Kashif Ur Rehman, S., & Jameel, M. (2024). BIM adoption in sustainability, energy modelling and implementing using ISO 19650: A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(1), 102252. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102252>
- Patel, A., Shelake, A., & Yadhav, A. (2023). Sustainable construction by using novel frameworks using BIM, LEED, and Lean methods. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.238>
- Pereiro, X., Cabaleiro, M., Conde, B., & Riveiro, B. (2023). BIM methodology for cost analysis, sustainability, and management of steel structures with reconfigurable joints for industrial structures. *Journal of Building Engineering*, 77, 107443. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107443>
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide) and the standard for project management* (7.^a ed.).
- Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2006). Diseño asistido por computador. *Industrial Data*, 9(1), 7-15.
- Sabato, E., D'Amico, F., Tripodi, A., & Tiberi, P. (2023). BIM & Road safety – Applications of digital models from in-built safety evaluations to asset management. *Transportation Research Procedia*, 69, 815-822. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.240>
- Santos, R., Costa, A. A., Silvestre, J. D., & Pyl, L. (2019). Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. *Automation in Construction*, 103, 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.022>

- Schimanski, C. P., Pradhan, N. L., Chaltsev, D., Pasetti Monizza, G., & Matt, D. T. (2021). Integrating BIM with Lean Construction approach: Functional requirements and production management software. *Automation in Construction*, 132, 103969. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103969>
- Sisternes García, Á. (2022, 22 de febrero). *Las nuevas dimensiones BIM 8, 9 y 10*. Reto KÖMMERLING. <https://retokommerling.com/dimensiones-bim-8-9-10/>
- Sonmez, R., Ahmadiheykhsarmast, S., & Güngör, A. A. (2022). BIM integrated smart contract for construction project progress payment administration. *Automation in Construction*, 139, 104294. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104294>
- Soust-Verdaguer, B., Llatas, C., & García-Martínez, A. (2017). Critical review of BIM-based LCA method to buildings. *Energy and Buildings*, 136, 110-120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.009>
- Tang, W. (2023). Application of BIM technology in the reinforcement and renovation of existing building inspection projects. *Alexandria Engineering Journal*, 82, 240-247. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.09.075>
- Tao, X., Das, M., Zheng, C., Liu, Y., Wong, P. K., Xu, Y., Liu, H., Gong, X., & Cheng, J. C. P. (2023). Enhancing BIM security in emergency construction projects using lightweight blockchain-as-a-service. *Automation in Construction*, 150, 104846. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104846>
- Vignali, V., Acerra, E. M., Lantieri, C., Di Vincenzo, F., Piacentini, G., & Pancaldi, S. (2021). Building information Modelling (BIM) application for an existing road infrastructure. *Automation in Construction*, 128, 103752. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103752>
- Waqar, A., Othman, I., Saad, N., Azab, M., & Khan, A. M. (2023). BIM in green building: Enhancing sustainability in the small construction project. *Cleaner Environmental Systems*, 11, 100149. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100149>
- Waqar, A., Othman, I., Shafiq, N., Deifalla, A., Ragab, A. E., & Khan, M. (2023). Impediments in BIM implementation for the risk management of tall buildings. *Results in Engineering*, 20, 101401. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101401>
- Yilmaz, G., Akcamete, A., & Demirors, O. (2023). BIM-CAREM: Assessing the BIM capabilities of design, construction and facilities management processes in the construction industry. *Computers in Industry*, 147, 103861. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103861>
- Youkhanna Zaia, Y., Mustafa Adam, S., & Heeto Abdulrahman, F. (2023). Investigating BIM level in Iraqi construction industry. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(3), 101881. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101881>
- Zhang, J., Zhu, X., Khan, A. M., Houda, M., Kashif Ur Rehman, S., Jameel, M., Javed, M. F., & Alrowais, R. (2023). BIM-based architectural analysis and optimization for construction 4.0 concept (a comparison). *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 102110. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102110>
- Zheng, L., Lu, W., Wu, L., & Zhou, Q. (2023). A review of integration between BIM and CFD for building outdoor environment simulation. *Building and Environment*, 228, 109862. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109862>

Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que los datos, las aplicaciones y otros contenidos subyacentes al manuscrito están referenciados.
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación, cuando corresponda, se describen en el manuscrito.
- Los autores declaran que una vez que un manuscrito es postado en el servidor SciELO Preprints, sólo puede ser retirado mediante solicitud a la Secretaría Editorial deSciELO Preprints, que publicará un aviso de retracción en su lugar.
- Los autores aceptan que el manuscrito aprobado esté disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El autor que presenta el manuscrito declara que las contribuciones de todos los autores y la declaración de conflicto de intereses se incluyen explícitamente y en secciones específicas del manuscrito.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.
- El autor que envía el manuscrito declara que todos los autores del mismo están de acuerdo con el envío a SciELO Preprints.