

Duque, J. A., Mejía, G., & Tijo, S. J. (2024). Metodología BIM en la planificación de presupuestos de mantenimiento: Desafíos y soluciones. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas de congreso del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción* (IX ELAGEC2024).

# DESAFÍOS Y SOLUCIONES DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA PLANIFICACIÓN DE PRESUPUESTOS DE MANTENIMIENTO: REVISIÓN DE LITERATURA.

Johann A. Duque <sup>1</sup> - [johann2170247@correo.uis.edu.co](mailto:johann2170247@correo.uis.edu.co)

Guillermo Mejía <sup>1</sup> - [gmejia@uis.edu.co](mailto:gmejia@uis.edu.co)

Silvia J. Tijo <sup>1</sup> - [sjtijolo@uis.edu.co](mailto:sjtijolo@uis.edu.co)

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

## RESUMEN

La gestión del mantenimiento ha evolucionado hacia enfoques preventivos y sostenibles, optimizando la vida útil de los activos y sus servicios. La metodología BIM facilita la representación digital y colaborativa de activos, mejorando la planificación, construcción, operación y mantenimiento mediante una transferencia eficiente de datos. Este estudio, basado en una revisión sistemática en la base de datos Scopus, revisó críticamente 29 documentos para identificar los desafíos y soluciones más comunes en la gestión de presupuestos de mantenimiento utilizando la metodología BIM. Se llevó a cabo un análisis cualitativo de los resúmenes, apoyado por herramientas de inteligencia artificial como ChatGPT 4<sup>o</sup> y Claude 3.5 Sonnet. Los desafíos y soluciones se enmarcaron en tres contextos: gestión de mantenimiento, gestión de presupuestos y gestión de información BIM. Los principales desafíos incluyen la resistencia al cambio tecnológico, coordinación multidisciplinaria y la interoperabilidad de sistemas BIM. Las soluciones propuestas destacan la adopción de tecnologías avanzadas como gemelos digitales, la digitalización de la información y la implementación de modelos BIM 4D, 5D y 6D. Las implicaciones prácticas de estos hallazgos iniciales sugieren una transformación digital de la gestión de presupuestos de mantenimiento, permitiendo una planificación más precisa y decisiones basadas en datos, apoyadas por herramientas BIM.

## PALABRAS CLAVE

Building information modeling; gestión BIM; gestión de mantenimiento; mantenimiento de infraestructura; presupuesto de mantenimiento.

## INTRODUCCIÓN

La noción de gestión del mantenimiento ha evolucionado, pasando de un enfoque reactivo de solución de problemas y desmantelamiento a un enfoque preventivo y sostenible. Este enfoque moderno busca agregar valor al activo y a la organización que lo usufructúa, prolongando su vida útil y optimizando los servicios para los que fue diseñado. Específicamente, el mantenimiento de infraestructura física implica actividades para cuidar la estructura y garantizar la prestación continua de sus servicios, permitiendo que cumpla sus funciones previstas durante toda su vida útil (Plebankiewicz & Gracki, 2023).

Estas actividades de mantenimiento requieren una adecuada planificación y estimación de recursos y costos para llevarse a cabo de manera efectiva. La presupuestación del mantenimiento es un proceso crítico de planificación de costos que implica la estimación y asignación de recursos para un período específico, ya sea anual, semestral o trimestral (Durán-Vargas, 2011). Una estimación incorrecta de recursos y costos puede resultar en sobrecostos y en una gestión inadecuada de los recursos, lo que resalta la importancia de una presupuestación precisa para tomar decisiones financieras oportunas y viables.

Por su parte, Building Information Modeling (BIM) permite la representación digital de un activo físico en un entorno colaborativo, facilitando procesos de diseño, construcción, operación y mantenimiento (BuildingSMART, 2022). BIM promueve la transferencia de datos e información entre las diferentes disciplinas y departamentos operativos de una organización, optimizando la comunicación entre estos. Esta metodología permite una visualización detallada y precisa de los componentes del edificio, facilitando la identificación de elementos que requieren mantenimiento y la estimación más exacta de los costos asociados. El modelado BIM ha surgido como paradigma colaborativo para el almacenamiento e intercambio de información de construcción, generando sinergia entre los diversos profesionales involucrados en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (Moreno et al., 2022).

A pesar de los avances en la implementación de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción, en las fases de diseño y construcción específicamente, la integración efectiva de BIM en la planificación de presupuestos de mantenimiento sigue siendo un área donde hay mucho por explorar. Este estudio busca cerrar esta brecha al proporcionar un análisis preliminar sobre los desafíos específicos y las soluciones emergentes en el uso de BIM para la gestión de presupuestos de mantenimiento. El alcance del artículo incluye una revisión sistemática de la literatura que identifique prácticas efectivas que puedan ser adoptadas para mejorar los procesos de presupuestación en la gestión de mantenimiento.

En línea con este enfoque preventivo y sostenible de mantenimiento, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los desafíos y soluciones más frecuentes en el mantenimiento de activos de infraestructura que se deben tener en cuenta para planificar adecuadamente los presupuestos de mantenimiento? Para profundizar en la comprensión de la evolución y de las herramientas y técnicas empleadas en la elaboración de presupuestos de mantenimiento de activos de infraestructura, este estudio propone una revisión sistemática de la literatura pertinente. El objetivo principal es identificar y analizar los desafíos comunes en la gestión de presupuestos de mantenimiento utilizando la metodología BIM, así como examinar las soluciones propuestas para mejorar la

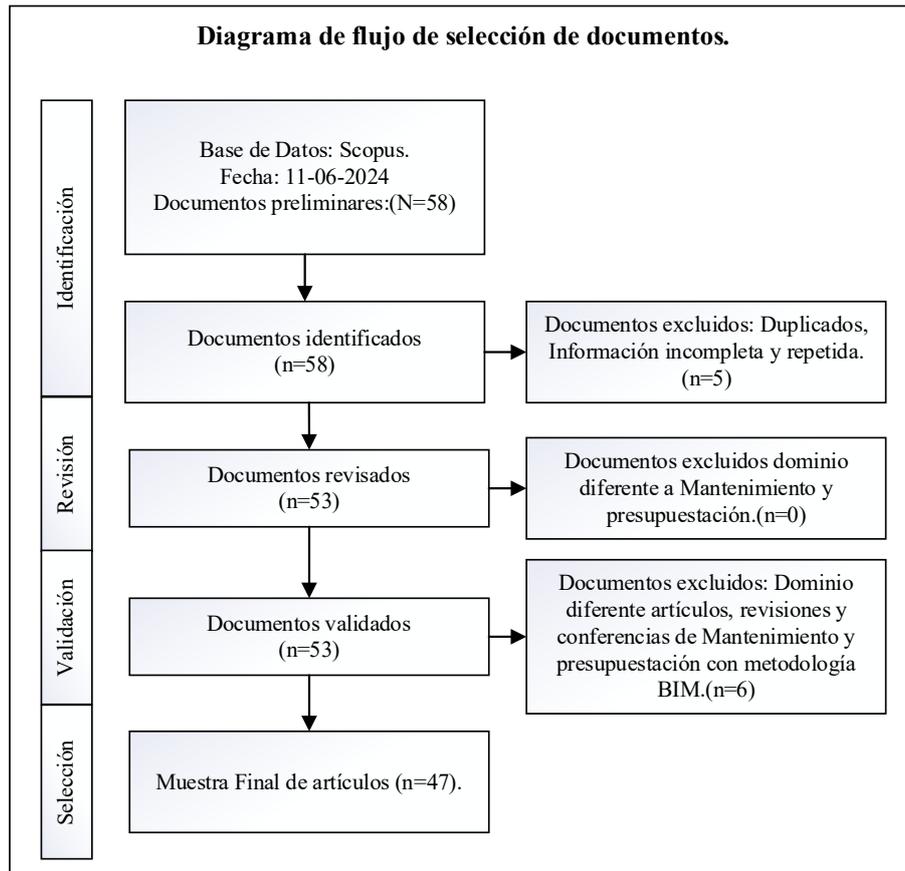
eficiencia de la presupuestación del mantenimiento con BIM mediante la revisión crítica de la literatura.

La organización de este artículo continúa de la siguiente manera: la sección de metodología describe el proceso de selección y análisis documental; la sección de marco teórico expone los conceptos básicos que sustentan el presente estudio; la sección de desafíos comunes ilustra los diversos problemas relacionados con la gestión BIM para el mantenimiento; la sección de soluciones propuestas presenta las soluciones recomendadas por la literatura revisada; y finalmente, las conclusiones.

## **METODOLOGÍA**

Para lograr el objetivo propuesto, este estudio adelantó una revisión bibliográfica el 11 de junio de 2024, la cual siguió las recomendaciones del Instituto Joanna Briggs para una revisión sistemática tipo scoping review (Joanna Briggs Institute, 2015). La búsqueda de bibliografía se realizó en la base de datos Scopus, con la siguiente ecuación de búsqueda: “TITLE-ABS-KEY (“Building maintenance” OR “Building management” OR “Asset maintenance” OR “Asset management” OR “Facility maintenance” OR “Facility management”) AND (“Cost management” OR “Cost estimation” OR budget) AND (bim OR “Building Information Modeling” OR “Construction Technology” OR contech))” que arrojó inicialmente 58 documentos. Luego se realizó una selección de documentos considerando criterios de inclusión y exclusión, como se muestra en Figura 1.

La búsqueda bibliográfica identificó inicialmente 58 documentos de los cuales 3 fueron descartados por no presentar información sobre el abstract ni de autores, 6 más fueron descartados por ser libros y capítulos de libro, y 2 más por tener información repetida. Finalmente, la muestra quedó conformada por 47 documentos, de los cuales 24 de ellos son actas de conferencia, 22 son artículos, y solamente 1 es una revisión de literatura.



**Figura 1.** Protocolo PRISMA de selección de documentos adaptados de (Joanna Briggs Institute, 2015).

La producción anual de publicaciones revela una incipiente investigación alrededor del tema, pero que hay indicios de un mayor interés en los últimos cinco años, aunque es bajo la producción anual todavía, como se muestra en Figura 2. Es necesario aclarar que este comportamiento es solamente con base en una sola base de datos consultada en este estudio, Scopus.



**Figura 2.** Línea de tiempo de artículos identificados 2008-2024 (N=47).

Una vez obtenida la muestra final de documentos, se descargó la información de Scopus en formato de Excel para organizar la información de manera tabular. Se procedió a realizar un análisis cualitativo de la información contenida en los abstracts de los documentos siguiendo la metodología de análisis temático. El análisis se realizó con apoyo de herramientas de inteligencia artificial para identificar y extraer las citas de manera textual, codificar, categorizar e identificar los temas de análisis. Las herramientas utilizadas fueron ChatGPT 4° y Claude 3.5 Sonnet (Etesse, 2024). Los resultados obtenidos fueron validados y triangulados con los resultados entre las dos herramientas, y con verificación aleatoria de los resultados por parte de los autores.

Para el análisis, se propusieron tres contextos de problemas y soluciones de acuerdo con la literatura consultada: problemas y soluciones de la gestión de mantenimiento, de la gestión de presupuestos de mantenimiento y de la gestión de la información BIM de mantenimiento. Con base en estos contextos, y para el presente artículo, solo se tendrán en cuenta aquellos artículos que reporten la información más relevante. De los 47 artículos, 29 fueron empleados para extraer las citas más relevantes: 24 de ellos ofrecieron citas relacionadas con los problemas, y 10 de ellos, brindaron información sobre las soluciones. A continuación, se presentan las definiciones que nos permiten entender el marco conceptual de estos tres contextos.

## **MARCO TEÓRICO**

### **GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO**

La gestión del mantenimiento de infraestructura física implica la dirección y el control sistemáticos de los procesos operativos para optimizar la disponibilidad y la fiabilidad de los diferentes sistemas que componen dicha infraestructura (Husaini & Tabassi, 2014). La gestión del mantenimiento involucra diversas modalidades, como el mantenimiento correctivo, programado, preventivo y predictivo, cada uno con un propósito específico orientado a la preservación óptima de los activos (Pan & Gibb, 2009). Una gestión eficaz de las actividades de mantenimiento es crucial para garantizar la satisfacción de los usuarios, la eficiencia operativa y el ahorro de costos a largo plazo (Husaini & Tabassi, 2014).

### **PRESUPUESTACIÓN DE MANTENIMIENTO DE ACTIVOS:**

La presupuestación de mantenimiento de activos es un plan financiero que describe los ingresos y gastos esperados que se refieren a los fondos asignados para el mantenimiento y la preservación de los activos físicos, cruciales para garantizar la eficiencia operativa y la longevidad durante un período específico de tiempo (Srivastava et al., 2020). Sirve como una herramienta fundamental de gestión para asignar los recursos de manera eficiente, establecer metas financieras y monitorear el desempeño (Ogunbayo et al., 2020).

### **BUILDING INFORMATION MODELING (BIM):**

El modelado BIM es una metodología digital colaborativa que revoluciona la industria de la construcción al facilitar los procesos de diseño, construcción y operación a través de modelos 3D compartidos y datos estructurados (Abideen et al., 2022). Su objetivo es mejorar la comunicación, la eficiencia y la toma de decisiones al permitir el intercambio de información en tiempo real entre las diversas partes interesadas (Wu et al., 2022). El

BIM integra la gestión de la información, el modelado inteligente y la colaboración para mejorar la calidad y la productividad del mantenimiento y la construcción de los edificios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados de la revisión de literatura y su discusión, organizados de acuerdo a los desafíos y las soluciones que indican los artículos. Tanto en los desafíos como en las soluciones, esta sección se organizó en torno a la gestión en tres campos: gestión BIM, gestión de costos y presupuestos, y gestión de mantenimiento.

### DESAFÍOS COMUNES EN LA GESTIÓN DE PRESUPUESTOS DE MANTENIMIENTO USANDO BIM

Para entender los desafíos en la gestión de presupuestos de mantenimiento usando BIM, hay que entender los problemas críticos de implementación de las herramientas BIM para la gestión de la información de mantenimiento, y los problemas de gestión del mantenimiento del edificio. A continuación, describiremos y analizaremos los problemas encontrados en la literatura.

### DESAFÍOS DE GESTIÓN BIM

Los diversos problemas relacionados con la gestión BIM para el mantenimiento se han agrupado en tres categorías principales: Adopción de tecnología, gestión de procesos BIM e interoperabilidad. Estas categorías proporcionan una visión clara de los desafíos y barreras en la implementación y uso de BIM en diferentes contextos (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Desafíos de gestión BIM.

| Documento                          | Categoría               | Subcategoría                                  | Descripción de la subcategoría   |
|------------------------------------|-------------------------|---|--|
| (Girginkaya Akdag & Maqsood, 2020) | Adopción de tecnología  | Resistencia al cambio                         | Renuencia a abandonar herramientas y prácticas tradicionales                               |
| (Sankaran et al., 2018)            | Adopción de tecnología  | Implementación de Civil Integrated Management | Uso de Civil Integrated Management en proyectos de infraestructura                         |
| (Sampaio et al., 2023)             | Gestión de procesos BIM | Coordinación multidisciplinaria               | Integración y sincronización de diferentes disciplinas en un proyecto BIM                  |
| (Niknam & Karshenas, 2016)         | Gestión de procesos BIM | Automatización de modelos 4D                  | Proceso de crear modelos 4D de manera automática o semi-automática                         |
| (Borhani et al., 2017)             | Interoperabilidad       | Sistemas de clasificación                     | Métodos estandarizados para categorizar y organizar información en BIM                     |
| (Sacks, 2016)                      | Interoperabilidad       | Diversidad de esquemas de representación      | Variedad de formas en que diferentes aplicaciones representan y estructuran la información |
| (Amoah & Nguyen, 2019)             | Interoperabilidad       | Compatibilidad de software BIM                | Capacidad de diferentes programas BIM para intercambiar datos de manera efectiva           |

La categoría "Adopción de tecnología" abarca retos asociados con la implementación de BIM, la incorporación de nuevas tecnologías y la integración de sistemas existentes dentro del ámbito de la construcción y mantenimiento de infraestructura. Específicamente se identifican barreras para la implementación de BIM en países en desarrollo debido a la resistencia al cambio y a abandonar herramientas y prácticas tradicionales (Girginkaya Akdag & Maqsood, 2020; Ruiz-Zafra et al., 2022).

La categoría "Gestión de procesos BIM" reúne problemas relacionados con la coordinación, la gestión y la automatización de los procesos y la información de los

proyectos, asegurando la integridad y el flujo de información a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Específicamente relaciona los desafíos en la transferencia de información entre diferentes etapas del proyecto, la necesidad de coordinación en proyectos BIM multidisciplinares, enfatizando la integración y sincronización de diferentes disciplinas, y la necesidad de contar con manual de automatización de modelos 4D para mejorar la eficiencia (Niknam & Karshenas, 2016; Sampaio et al., 2023).

Por su parte, la categoría "Interoperabilidad" trata sobre los desafíos relacionados con la comunicación entre sistemas, la consistencia de datos y la adherencia a estándares comunes. Particularmente identifica la falta de consistencia en el lenguaje entre sistemas BIM y la necesidad de establecer normas y protocolos comunes en la industria; menciona las limitaciones en la transferencia de información entre aplicaciones debido a la diversidad de esquemas de representación; como también, el desafío persistente de interoperabilidad y las dificultades en la comunicación efectiva entre diferentes plataformas y software BIM, respectivamente, destacando la necesidad de mejorar la compatibilidad de sistemas y software BIM (Amoah & Nguyen, 2019; Borhani et al., 2017; Sacks, 2016).

## DESAFÍOS DE GESTIÓN DE COSTOS Y PRESUPUESTOS

Los problemas de gestión de costos y presupuestos de mantenimiento en proyectos de construcción se dividen principalmente en desafíos relacionados con la recolección y uso eficiente de datos para la estimación de costos, y en la necesidad de mejorar la integración y comunicación entre diferentes sistemas de costos. Estos problemas destacan la importancia de desarrollar métodos y herramientas más precisas y eficientes para la planificación y gestión financiera en la industria de la construcción. Dos categorías principales: Planificación y estimación de costos e integración de sistemas de costos describen las características de estos desafíos (ver Tabla 2).

**Tabla 2.** Desafíos de gestión de costos y presupuestos.

| Documento              | Categoría                            | Subcategoría                        | Descripción de la subcategoría  |
|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|
| (Ma et al., 2013)      | Planificación y estimación de costos | Complejidad de la representación 2D | Dificultades asociadas con la interpretación y el uso de planos bidimensionales           |
| (Popov et al., 2010)   | Planificación y estimación de costos | Precisión en la estimación          | Exactitud en la predicción de recursos necesarios   |
| (Zhang et al., 2023)   | Planificación y estimación de costos | Segregación de costos               | Proceso de clasificar activos para optimizar la depreciación fiscal                       |
| (Dunn et al., 2015)    | Integración de sistemas de costos    | Restricciones financieras           | Limitaciones en los recursos disponibles para el mantenimiento de infraestructura         |
| (Birolek et al., 2019) | Integración de sistemas de costos    | Diversidad de sistemas de costos    | Variedad de herramientas y métodos para la estimación y gestión de costos en construcción |

La categoría "Planificación y estimación de costos" agrupa los problemas relacionados con la recolección y utilización de datos, con la precisión, eficiencia y complejidad en la estimación de costos y la planificación de recursos. Particularmente, hace referencia a la dificultad en la adquisición de información de construcción necesaria para la estimación de costos, específicamente datos sobre métodos constructivos, que son esenciales para realizar cálculos precisos; como también a la estimación de costos que está propensa a errores y consume mucho tiempo, debido principalmente a la complejidad en la

interpretación de representaciones bidimensionales (Ma et al., 2013). Por otro lado, aborda el problema de la subestimación de la demanda real de recursos, resaltando la necesidad de una mayor precisión en las estimaciones para evitar problemas en la asignación de recursos y las ineficiencias en los estudios tradicionales de segregación de costos, sugiriendo que procesos más optimizados pueden mejorar significativamente la gestión financiera y tributaria de los proyectos (Popov et al., 2010; Zhang et al., 2023).

La categoría "Integración de sistemas de costos" aborda los problemas relacionados con la gestión de presupuestos en contextos específicos y la integración de diversos sistemas de costos y plataformas tecnológicas. Particularmente, identifica presiones presupuestarias en la gestión de costos, señalando las restricciones financieras como un obstáculo para el mantenimiento adecuado de las edificaciones; también, se señala la diversidad de sistemas económico-constructivos como un desafío, ya que la variedad de herramientas y métodos utilizados para la estimación y gestión de costos puede dificultar la integración y comunicación efectiva entre plataformas (Biolek et al., 2019; Dunn et al., 2015).

### DESAFÍOS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Finalmente, los desafíos de gestión de mantenimiento se agruparon en cinco categorías principales: Complejidad del activo, condiciones de diseño-construcción, riesgos, información del activo y planificación de mantenimiento. Estas categorías describen los principales problemas de la gestión de mantenimiento de infraestructura (ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Desafíos de gestión de mantenimiento.

| Documento                                   | Categoría                          | Subcategoría  | Descripción de la subcategoría  |
|---|------------------------------------|---|---|
| (Errey et al., 2019)                        | Complejidad del Activo             | Incumplimiento de objetivos                         | Administración de proyectos de gran escala y complejidad  |
| (Matos et al., 2020)                        | Complejidad del Activo             | Envejecimiento de edificios                         | Mantenimiento del estado y funcionalidad de las estructuras edificadas                                |
| (Hudgins, 2021)                             | Complejidad del Activo             | Planificación en entornos extremos                  | Desarrollo de estrategias para la construcción y mantenimiento de infraestructuras                    |
| (Soares et al., 2019)                       | Condiciones de Diseño-Construcción | Requisitos de rendimiento                           | Creación de diseños arquitectónicos sofisticados y complejos  |
| (Hauashdh et al., 2022)                     | Condiciones de Diseño-Construcción | Defectos de construcción                            | Nivel de excelencia en la ejecución y resultado final de un proyecto de construcción                  |
| (Kaewunruen et al., 2020)                   | Condiciones de Riesgo              | Riesgos en infraestructura física de la edificación | Identificación, evaluación y mitigación de posibles amenazas o problemas                              |
| (Akob et al., 2019)                         | Condiciones de Riesgo              | Comunicación y coordinación                         | Administración de proyectos de gran envergadura y complejidad   |
| (Stride et al., 2020)                       | Información del Activo             | Calidad de datos                                    | Administración eficiente de edificios y sus sistemas  |
| (Yoon et al., 2019)                         | Información del Activo             | Análisis de datos basado en ubicación               | Administración eficiente de la información generada durante la operación y mantenimiento de edificios |
| (Sabah Omar & Ibrahim Najy Professor, 2018) | Información del Activo             | Digitalización de datos de mantenimiento            | Planificación y ejecución eficiente de actividades de mantenimiento                                   |
| (Matos et al., 2021)                        | Planificación de mantenimiento     | Degradación de materiales                           | Actividades para preservar y prolongar la vida útil de las estructuras                                |
| (Z. A. Ismail, 2021)                        | Planificación de mantenimiento     | Mantenimiento de edificios industrializados         | Planificación y ejecución eficiente de actividades de mantenimiento                                   |

La categoría “Complejidad del Activo” aborda los desafíos relacionados con la administración y el mantenimiento de grandes proyectos e infraestructuras complejas. Algunos megaproyectos de infraestructura, a pesar de contar con una planificación experta, estos proyectos están sujetos al incumplimiento de las metas establecidas en su etapa de operación, por la falta de planificación adecuada para abordar el envejecimiento el deterioro natural y el deterioro de la infraestructura que requiere atención especial en el mantenimiento para prolongar su vida útil (Errey et al., 2019; Matos et al., 2020). Adicionalmente, las fallas en la planificación a largo plazo de infraestructuras en entornos extremos, donde las condiciones climáticas adversas y la falta de inversión permanente (Hudgins, 2021).

La categoría “Condiciones de Diseño-Construcción” agrupa aquellos desafíos de aprovechamiento en la etapa de operación de la integración de la información provenientes de las etapas previas de diseño y construcción. se enfoca en la combinación efectiva de diferentes aspectos del proyecto de construcción. Se menciona la deficiente integración de información entre las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto, acrecentada por la creciente complejidad en los edificios modernos, que requieren soluciones avanzadas para cumplir con los exigentes requisitos de rendimiento y funcionalidad (Soares et al., 2019). También se abordan los factores que afectan el número de defectos en edificios, lo que incrementa los costos de mantenimiento y reduce la vida útil del edificio (Hauashdh et al., 2022).

La categoría “Condiciones de Riesgo” agrupa los problemas relacionados con la identificación, evaluación y mitigación de amenazas en proyectos de construcción, que requieren atención específica para asegurar su operación (Kaewunruen et al., 2020). Esta categoría señala los desafíos en la comunicación efectiva entre múltiples partes interesadas en proyectos de infraestructura a gran escala, la interacción compleja entre los métodos de construcción que requiere modelado y simulación para prever y mitigar problemas durante la operación y la falta de planificación para la recuperación de edificios ante un evento natural (Akob et al., 2019).

La categoría “Información del Activo” involucra problemas en los procesos y sistemas necesarios para administrar eficientemente los activos de una organización. Aborda la ineficiencia en el desarrollo de inventarios de activos, lo que dificulta la administración efectiva, la falta de datos completos y precisos en la gestión de instalaciones, la falta de análisis basado en la ubicación espacial para identificar patrones y tendencias de fallas, ya que las prácticas actuales de gestión de mantenimiento se basan en papel, las cuales son ineficientes, necesitando una digitalización para mejorar la planificación y ejecución de las actividades de mantenimiento (Sabah Omar & Ibrahim Najy, 2018; Stride et al., 2020; Yoon et al., 2019).

Finalmente, la categoría “Planificación de Mantenimiento” se refiere a las actividades necesarias para preservar y prolongar la vida útil de las estructuras. Se incluyen los problemas de deterioro acelerado de los materiales de construcción debido a factores ambientales, subrayando la importancia de las acciones de mantenimiento adecuadas para prolongar la vida útil de las estructuras, y las ineficiencias en la gestión de mantenimiento de edificios construidos con sistemas industrializados (Z. A. Ismail, 2021; Matos et al., 2021).

## SOLUCIONES PROPUESTAS EN LA LITERATURA

Para plantear soluciones que faciliten la gestión efectiva de los costos y presupuestos de mantenimiento con herramientas de tecnología BIM, hay que comprender, las soluciones y los procesos de gestión que se requieren y pueden automatizarse con apoyo de la tecnología BIM. Por ello, se planteará primero las soluciones desde la gestión BIM de mantenimiento, luego desde la gestión de costos y presupuestos, y, por último, desde la gestión de mantenimiento. Estas soluciones tendrán principalmente un enfoque operativo.

### SOLUCIONES PARA LA GESTIÓN BIM DE MANTENIMIENTO

Las soluciones para la gestión BIM para el mantenimiento se han agrupado en tres categorías principales: Adopción de tecnología, gestión de procesos BIM e interoperabilidad. Estas categorías abarcan diversas estrategias y enfoques para mejorar la eficiencia y efectividad del mantenimiento a través del uso de herramientas BIM (ver Tabla 4).

**Tabla 4.** Soluciones para la Gestión BIM.

| Documento                 | Categoría               | Subcategoría                         | Descripción de la subcategoría  |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---|
| (Mohammadi et al., 2023)  | Adopción de tecnología  | Análisis basado en gemelos digitales | Uso de BIM para optimizar el mantenimiento y la gestión de proyectos                      |
| (Kaewunruen et al., 2020) | Adopción de tecnología  | BIM 6D                               | Integración de información de tiempo, costo y sostenibilidad en modelos BIM               |
| (Garyaev & Ayoub, 2021)   | Gestión de procesos BIM | Diagnóstico basado en BIM            | Uso de modelos BIM para evaluar y cuantificar el deterioro de edificios                   |
| (Stride et al., 2020)     | Gestión de procesos BIM | Digitalización de información        | Conversión de datos de activos a formato digital accesible                                |
| (Li et al., 2021)         | Gestión de procesos BIM | BIM para ciclo de vida del proyecto  | Uso de BIM en todas las fases del proyecto  |
| (Z. A. Ismail, 2021)      | Gestión de procesos BIM | Diagnóstico de defectos con BIM      | Utilización de BIM para identificar y analizar defectos en edificios                      |
| (Borhani et al., 2017)    | Interoperabilidad       | Transferencia de datos BIM-AMS       | Proceso de transferir información desde modelos BIM a sistemas de gestión                 |
| (Borhani et al., 2017)    | Interoperabilidad       | Adaptación de estándares             | Mapeo entre diferentes sistemas de clasificación  |
| (Sacks, 2016)             | Interoperabilidad       | Tecnología de sistemas expertos      | Aplicación de inteligencia artificial para interpretar contenido semántico de los modelos |
| (Ruiz-Zafra et al., 2022) | Interoperabilidad       | Extensión de estándares BIM          | Ampliación de estándares existentes para incluir nuevas tecnologías                       |

La categoría “Adopción de tecnología” incluye soluciones que involucran la implementación y uso de tecnologías avanzadas para optimizar la gestión y mantenimiento de activos. Se menciona el uso de análisis basados en gemelos digitales, que permiten crear representaciones digitales precisas para analizar y optimizar el rendimiento de los activos; la aplicación de BIM en la gestión de proyectos, mejorando la planificación y ejecución a través de modelos 6D que integran información de tiempo, costo y sostenibilidad; como también, se mencionan el uso de herramientas que operen basada en estándares de la industria, como los IFC, para facilitar la estimación de recursos (Kaewunruen et al., 2020; Mohammadi et al., 2023).

La categoría “Gestión de procesos BIM” se enfoca en la optimización de procesos utilizando modelos BIM. Se destaca el uso de BIM para el diagnóstico de defectos y evaluación del deterioro de edificios, facilitando la identificación y análisis de problemas estructurales; la digitalización de información y la gestión de datos de operación y

mantenimiento mediante BIM, mejorando la accesibilidad y organización de los datos; y se propone el uso de BIM en todas las fases del proyecto, asegurando una gestión integral del ciclo de vida del proyecto (Garyaev & Ayoub, 2021; Z. A. Ismail, 2021; Li et al., 2021).

La categoría “Interoperabilidad” aborda la capacidad de diferentes sistemas para trabajar juntos y compartir información de manera efectiva. Se menciona la transferencia de datos desde modelos BIM a sistemas de gestión de activos y la adaptación de estándares, facilitando el mapeo entre diferentes sistemas de clasificación; se propone el uso de tecnología de sistemas expertos para interpretar el contenido semántico de los modelos, mejorando la precisión y utilidad de los datos; se sugiere la adopción de nuevos estándares BIM para incluir nuevas tecnologías y herramientas, como la estandarización para el uso de HIM que apoyaría la planificación de proyectos viales (Borhani et al., 2017; Ruiz-Zafra et al., 2022; Sacks, 2016).

En resumen, las herramientas BIM proporcionan una plataforma integral y colaborativa para gestionar toda la información del proyecto, desde el diseño hasta el mantenimiento. La capacidad de BIM para centralizar datos, facilitar la comunicación entre partes interesadas y mejorar la precisión de las estimaciones y diagnósticos es crucial para la adopción de estas soluciones. BIM también permite la integración de tecnologías emergentes, como gemelos digitales y Realidad Aumentada, optimizando aún más los procesos de gestión y mantenimiento.

## SOLUCIONES PARA LA GESTIÓN DE COSTOS Y PRESUPUESTOS

Por su parte, las soluciones para la gestión de costos y mantenimiento en proyectos de construcción se explican desde la categoría “Automatización de procesos” para apoyar la recolección y uso eficiente de datos para la estimación de costos, y mejorar la integración y comunicación entre diferentes sistemas de costos (ver Tabla 5).

**Tabla 5.** Soluciones para la gestión de costos y presupuestos.

| Documento              | Categoría                  | Subcategoría                    | Descripción de la subcategoría  |
|------------------------|----------------------------|---------------------------------|---|
| (Ma et al., 2013)      | Automatización de procesos | Estimación basada en estándares | Uso de estándares de la industria (como IFC) para facilitar la estimación de costos |
| (Popov et al., 2010)   | Automatización de procesos | Software de simulación          | Programas para modelar y predecir el uso de recursos                                |
| (Peshkov, 2021)        | Automatización de procesos | BIM para presupuestación        | Uso de modelos BIM para generar estimaciones de costos precisas                     |
| (Mesároš et al., 2019) | Automatización de procesos | Monitoreo de presupuesto        | Seguimiento y control de costos en tiempo real utilizando BIM                       |

En el ámbito de la automatización de procesos se plantea que los procesos de estimación se basen en estándares y que se automatice con herramientas BIM utilizando estándares IFC, lo que facilita y mejora la precisión de la estimación de costos al proporcionar un marco común y consistente (Ma et al., 2013), También se sugiere el uso de aplicaciones para modelar y predecir la demanda de recursos, optimizando así la planificación y gestión de proyectos (Popov et al., 2010). Finalmente, se recomienda el uso de modelos BIM permite generar estimaciones de costos precisas, integrando datos de diseño y construcción para mejorar significativamente la exactitud de los presupuestos (Peshkov,

2021), como también, para hacer seguimiento y control de costos en tiempo real utilizando BIM (Mesároš et al., 2019).

Las herramientas BIM pueden apoyar estas soluciones al proporcionar una plataforma unificada y centralizada para la gestión de datos y la automatización de procesos. BIM facilita la creación de modelos digitales precisos que integran múltiples dimensiones de información, permitiendo la estimación precisa de costos, el monitoreo en tiempo real y la simulación de escenarios de recursos. Al automatizar estas tareas, BIM reduce los errores humanos, mejora la eficiencia operativa y proporciona una base sólida para la toma de decisiones estratégicas en la gestión de costos y presupuestos de mantenimiento.

## SOLUCIONES PARA LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Finalmente, las soluciones de gestión de mantenimiento se resumen en una categoría principal: Planificación de mantenimiento (ver Tabla 6).

**Tabla 6.** Soluciones para la gestión de mantenimiento.

| Documento            | Categoría                      | Subcategoría                           | Descripción de la subcategoría                                  |
|----------------------|--------------------------------|--|---|
| (Matos et al., 2021) | Planificación de mantenimiento | Indicadores clave de rendimiento       | Métricas para evaluar el desempeño y condición de los edificios |
| (Dunn et al., 2015)  | Planificación de mantenimiento | Análisis predictivo de infraestructura | Uso de datos para predecir y planificar el mantenimiento futuro |

Las soluciones de planificación de mantenimiento plantean apoyar la evaluación del rendimiento de edificios y la priorización de acciones de mantenimiento con indicadores clave de rendimiento, métricas que permiten evaluar el desempeño y la condición de los edificios, proporcionando una base sólida para tomar decisiones informadas sobre las necesidades de mantenimiento (Matos et al., 2021). Por otro lado, apoyar la administración eficiente de los recursos mediante análisis predictivos de mantenimiento, para predecir y planificar el mantenimiento futuro, asegurando que los recursos se asignen de manera óptima y que las intervenciones se realicen antes de que ocurran fallos críticos (Dunn et al., 2015).

Las herramientas BIM pueden ofrecer una plataforma centralizada para el seguimiento y análisis de estos indicadores, facilitando la identificación de áreas críticas y la planificación de intervenciones de mantenimiento de manera proactiva y eficiente. Las herramientas BIM pueden integrar datos históricos y actuales de la infraestructura, permitiendo la creación de modelos predictivos precisos que pueden anticipar problemas y optimizar las intervenciones de mantenimiento, mejorando así la durabilidad y funcionalidad de las infraestructuras.

## CONCLUSIÓN

En la gestión de presupuestos de mantenimiento utilizando la metodología BIM, se han identificado desafíos y soluciones claves que abarcan desde la adopción de tecnología hasta la optimización de procesos y la mejora en la interoperabilidad. Los desafíos más relevantes relacionan la adopción de tecnología, la gestión de procesos BIM e interoperabilidad de las herramientas BIM. Los principales desafíos incluyen la resistencia al cambio y la implementación de nuevas herramientas tecnológicas, la coordinación multidisciplinaria y la automatización de modelos 3D y 4D, lo que requiere

una mejor integración y sincronización de disciplinas. La interoperabilidad, específicamente, presenta retos significativos relacionados con la consistencia de datos y la comunicación entre diferentes sistemas, destacando la necesidad de establecer normas y protocolos comunes para mejorar la compatibilidad de software BIM.

En cuanto a las soluciones propuestas en la literatura para abordar estos problemas se centran en la implementación y uso de tecnologías avanzadas, optimización de procesos mediante BIM y mejora de la interoperabilidad. En la adopción de tecnología, se recomienda el uso de gemelos digitales para analizar y optimizar el rendimiento de los activos, y la implementación de modelos 4D, 5D y 6D que integran información de tiempo, costo y sostenibilidad. En la gestión de procesos BIM, se destaca el uso de BIM para el diagnóstico de defectos y evaluación del deterioro de edificios, y la digitalización de información para mejorar la accesibilidad y organización de los datos. Para mejorar la interoperabilidad, se propone la transferencia de datos desde modelos BIM a sistemas de gestión de activos, la adaptación de estándares y el uso de sistemas expertos para interpretar contenido semántico de los modelos.

Las implicaciones para la práctica profesional son significativas. La adopción de herramientas BIM puede transformar la gestión de presupuestos de mantenimiento, permitiendo una planificación más precisa y eficiente, y facilitando la toma de decisiones basada en datos. BIM proporciona una plataforma integral para centralizar y gestionar información, mejorar la comunicación entre las partes interesadas y optimizar los procesos de mantenimiento. Además, la integración de tecnologías emergentes como gemelos digitales puede ofrecer nuevas oportunidades para innovar en la gestión de infraestructura. Para futuras investigaciones, se recomienda explorar de manera amplia las publicaciones en diferentes bases de datos sobre la implementación práctica de estas soluciones en diferentes contextos, evaluar su impacto a largo plazo en la eficiencia y sostenibilidad, y desarrollar nuevos estándares y protocolos que faciliten la interoperabilidad y adopción de BIM en la gestión de presupuestos de mantenimiento.

Entre las limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados de este estudio, una de ellas hace referencia al alcance de la revisión de literatura, ya que se basó exclusivamente en una única base de datos, SCOPUS. Esto puede haber restringido la diversidad de fuentes y perspectivas incluidas en el análisis, dejando de lado potencialmente investigaciones relevantes disponibles en otras bases de datos académicas. Por otro lado, el análisis cualitativo empleado en este estudio se basó en gran medida en la información contenida en los abstracts de los artículos revisados. Esto podría haber limitado la profundidad y precisión del análisis, ya que los abstracts a menudo no capturan todos los detalles importantes y contextuales presentes en el cuerpo completo de los artículos. Estas limitaciones sugieren que los resultados del estudio deben ser interpretados con cautela y que futuras investigaciones podrían beneficiarse de un enfoque más amplio y diversificado en cuanto a fuentes y métodos de análisis.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la Universidad Industrial de Santander por la financiación de los estudios de maestría que adelanta el ingeniero Johann Alberto Duque para el período 2024-2025.

## REFERENCIAS

- Abideen, D. K., Yunusa-Kaltungo, A., Manu, P., & Cheung, C. (2022). A Systematic Review of the Extent to Which BIM Is Integrated into Operation and Maintenance. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 14). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su14148692>
- Akob, Z., Abang Hipni, M. Z., & Abd Razak, A. A. A. (2019). Deployment of GIS + BIM in the construction of Pan Borneo Highway Sarawak, Malaysia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 512(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/512/1/012037>
- Amoah, E. K., & Nguyen, T. V. (2019). Optimizing the usage of Building Information Model (BIM) interoperability focusing on data not tools. *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2019*, 1081–1090. <https://doi.org/10.22260/isarc2019/0144>
- Biolek, V., Domanský, V., & Výskala, M. (2019). Interconnection of Construction-Economic Systems with BIM in the Czech Environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 222(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/222/1/012022>
- Borhani, A., Lee, H. W., Carrie, ;, Dossick, S., Osburn, L., & Kinsman, M. (2017). *BIM to Facilities Management: Presenting a Proven Workflow for Information Exchange*.
- BuildingSMART. (2022). *¿Qué es BIM? - BuildingSMART Spanish Chapter*. <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- Dunn, R., Msc, B., Harwood, K., Ceng, M. A., & Miam, M. (2015). *Bridge Asset Management in Hertfordshire – now and in the future*.
- Durán-Vargas, E. L. (2011). *Presupuestación bajo incertidumbre*.
- Errey, J., Noonan, J., & Brabers, P. (2019). *Is Ground Modelling a Waste of Time?* <https://doi.org/10.3316/informit.797068315862946>
- Etesse, M. (2024). *Introducción al análisis de datos cualitativos con Inteligencia Artificial. Guía práctica para usar ChatGPT en la investigación social y educativa*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://doi.org/10.18800/9786124355172>
- Fröch, G., Flora, M., Gächter, W., Harpf, F., & Tautschnig, A. (2019). Anwendungsmöglichkeiten eines digitalen Baugrundmodells im Tunnelbau. *Bautechnik*, 96(12), 885–895. <https://doi.org/10.1002/bate.201900080>
- Garyaev, N., & Ayoub, F. (2021). Using of building information modeling for existing buildings assessment. *E3S Web of Conferences*, 263, 04053. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126304053>
- Girginkaya Akdag, S., & Maqsood, U. (2020). A roadmap for BIM adoption and implementation in developing countries: the Pakistan case. *Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 14(1), 112–132. <https://doi.org/10.1108/ARCH-04-2019-0081>
- Hauashdh, A., Jailani, J., Abdul Rahman, I., & Al-Fadhali, N. (2022). Factors affecting the number of building defects and the approaches to reduce their negative impacts in Malaysian public universities' buildings. *Journal of Facilities Management*, 20(2), 145–171. <https://doi.org/10.1108/JFM-11-2020-0079>
- Hudgins, E. (2021). Pitfalls of Remote, Extreme Settlements: The Case for Urban Planning Practice for Future Space Colonies. *Earth and Space 2021*, 920–930. <https://doi.org/10.1061/9780784483374.084>
- Husaini, A. I. A., & Tabassi, A. A. (2014). *Performance Assessment of Maintenance Practices in Government Office Buildings: Case Study of Parcel E, Putrajaya*. <https://doi.org/10.1051/C>
- Ibrahim, H. (2013). *REVIEWING THE EVIDENCE: USE OF DIGITAL COLLABORATION TECHNOLOGIES IN MAJOR BUILDING AND INFRASTRUCTURE PROJECTS) Reviewing the evidence: use of digital collaboration technologies in major building and infrastructure projects*. <http://www.itcon.org/2013/3>
- Ismail, Z. A. (2021). How BIM systems affect maintaining IBS building. *Facilities*, 39(3–4), 196–214. <https://doi.org/10.1108/F-08-2019-0082>
- Ismail, Z.-A., & Motawa, I. (2019). *Integrating CMMS, Expert Systems and BIM for IBS Building Maintenance*.
- Joanna Briggs Institute. (2015). The Joanna Briggs Institute Reviewers' Manual 2015. *The Joanna Briggs Institute*.

- Kaewunruen, S., Sresakoolchai, J., & Zhou, Z. (2020). Sustainability-based lifecycle management for bridge infrastructure using 6D BIM. *Sustainability (Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/su12062436>
- Li, Z., Shi, M., & Si, M. (2021). Application of building information modeling in the project management life cycle. In Z. Li, X. Chen, K. Yan, F. Cen, L. Peng, & N. Lin (Eds.), *International Conference on Smart Transportation and City Engineering 2021* (p. 185). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2614373>
- Ma, Z., & Liu, Z. (2014). BIM-based intelligent acquisition of construction information for cost estimation of building projects. *Procedia Engineering*, 85, 358–367. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.561>
- Ma, Z., Wei, Z., & Zhang, X. (2013). Semi-automatic and specification-compliant cost estimation for tendering of building projects based on IFC data of design model. *Automation in Construction*, 30, 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.020>
- Marzouk, M., & Abdel Aty, A. (2012). Maintaining Subway Infrastructure Using BIM. *Construction Research Congress 2012*, 2320–2328. <https://doi.org/10.1061/9780784412329.233>
- Matos, R., Rodrigues, F., Rodrigues, H., & Costa, A. (2021). Building condition assessment supported by Building Information Modelling. *Journal of Building Engineering*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102186>
- Matos, R. V., Rodrigues, F. S., Rodrigues, H. F., & Costa, A. G. (2020). Strategies to Support Facility Management Resourcing Building Information Modelling. *Current Topics and Trends on Durability of Building Materials and Components - Proceedings of the 15th International Conference on Durability of Building Materials and Components, DBMC 2020*, 1759–1766. <https://doi.org/10.23967/dbmc.2020.131>
- Mesároš, P., Smetanková, J., & Mandičák, T. (2019). The Fifth Dimension of BIM – Implementation Survey. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 222, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/222/1/012003>
- Mohammadi, M., Rashidi, M., Yu, Y., & Samali, B. (2023). Integration of TLS-derived Bridge Information Modeling (BrIM) with a Decision Support System (DSS) for digital twinning and asset management of bridge infrastructures. *Computers in Industry*, 147, 103881. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103881>
- Moreno, J. V., Machete, R., Falcão, A. P., Gonçalves, A. B., & Bento, R. (2022). Dynamic Data Feeding into BIM for Facility Management: A Prototype Application to a University Building. *Buildings*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/buildings12050645>
- Niknam, M., & Karshenas, S. (2016). *Integrating BIM and Project Schedule Information Using Semantic Web Technology*.
- Ogunbayo, B. F., Aigbavboa, C. O., Thwala, W. D., Akinradewo, O. I., & Edwards, D. (2020). Validating elements of organisational maintenance policy for maintenance management of public buildings in Nigeria. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 29(5), 16–36. <https://doi.org/10.1108/JQME-05-2021-0039>
- Oktavianus, A., Chen, P. H., & Lin, J. J. (2023). Integrating Building Information Modeling, Deep Learning, and Web Map Service for Sustainable Post-Disaster Building Recovery Planning. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 706–713. <https://doi.org/10.22260/ISARC2023/0098>
- Organización Internacional de Normalización. (2018). *ISO 19650-1 2018*.
- Pan, W., & Gibb, A. G. F. (2009). Maintenance performance evaluation of offsite and in situ bathrooms. *Construction Innovation*, 9(1), 7–21. <https://doi.org/10.1108/14714170910931525>
- Peshkov, A. V. (2021). BIM-technologies: organizational aspects in different stages of investment and construction project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 751(1), 012108. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/751/1/012108>
- Plebankiewicz, E., & Gracki, J. (2023). Analysis and Prediction of Universities' Buildings' Renovation Costs Using a Regression Model. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/app13010401>
- Popov, V., Juocevicius, V., Migilinskas, D., Ustinovichius, L., & Mikalauskas, S. (2010). The use of a virtual building design and construction model for developing an effective project concept in 5D environment. *Automation in Construction*, 19(3), 357–367. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.12.005>

- Ruiz-Zafra, A., Benghazi, K., & Noguera, M. (2022). IFC+: Towards the integration of IoT into early stages of building design. In *Automation in Construction* (Vol. 136). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104129>
- Sabah Omar, N., & Ibrahim Najy Professor, H. (2018). Cite this Article: Noor Sabah Omar Wadhah Ameer Hatem and Hafid Ibrahim Najy, Developing of Building Maintenance Management by Using BIM. In *International Journal of Civil Engineering and Technology* (Vol. 9, Issue 11).
- Sacks, R. (2016). What's in a model? Intelligent semantic enrichment of BIM models. *EWork and EBusiness in Architecture, Engineering and Construction - Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling, ECPPM 2016*.
- Sampaio, A. Z., Azevedo, G., & Gomes, A. (2023). BIM Manager Role in the Integration and Coordination of Construction Projects. *Buildings*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/buildings13082101>
- Sankaran, B., Nevet, G., O'Brien, W. J., Goodrum, P. M., & Johnson, J. (2018). Civil Integrated Management: Empirical study of digital practices in highway project delivery and asset management. *Automation in Construction*, 87, 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.006>
- Schwerdtner, P. (2018). Nutzung von BIM in der Angebotsbearbeitung. *Bautechnik*, 95(3), 222–228. <https://doi.org/10.1002/bate.201700113>
- Soares, J., Marques, H., & Oliveira, J. (2019). BIM Practical Application - New bugesera international airport (Rwanda). *Sustainable Development Goals*.
- Srivastava, A. K., Kumar, G., & Gupta, P. (2020). Estimating maintenance budget using Monte Carlo simulation. *Life Cycle Reliability and Safety Engineering*, 9(1), 77–89. <https://doi.org/10.1007/s41872-020-00110-7>
- Stride, M., Hon, C. K. H., Liu, R., & Xia, B. (2020). The use of building information modelling by quantity surveyors in facilities management roles. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(8), 1795–1812. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0660>
- Um, J., Park, J. min, Park, S. yeon, & Yilmaz, G. (2023). Low-cost mobile augmented reality service for building information modeling. *Automation in Construction*, 146, 104662. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104662>
- Wu, Z., Deng, K., Chen, C., Li, H., Antwi-Afari, M. F., & Wang, Y. (2022). STATUS QUO AND FUTURE TRENDS OF BIM-BASED COORDINATION RESEARCH: A CRITICAL REVIEW. *Journal of Civil Engineering and Management*, 28(6), 469–484. <https://doi.org/10.3846/jcem.2022.16928>
- Yoon, J. H., Cha, H. S., & Kim, J. (2019). Three-Dimensional Location-Based O&M Data Management System for Large Commercial Office Buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 33(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001270](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001270)
- Zhang, C., Kumar, D., Li, H., Zhou, R., Lv, L., & Tian, J. (2023). Development of a BIM-Enabled Automated Cost Segregation System. *Buildings*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/buildings13071805>