

**Pasantía de investigación con base en modelización BIM para la presupuestación de
mantenimiento en la etapa de operación de edificaciones**

Andrés Camilo González Piñeros

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director
Guillermo Mejía Aguilar
PhD en Ingeniería de la Construcción

Codirector
Johann Alberto Duque Mogollón
Ingeniero civil

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Bucaramanga
2025

Dedicatoria

En esta dedicatoria, expreso mi más sincero agradecimiento a aquellos cuya influencia han sido un faro en mi travesía académica. A mis padres y hermana, cuyo amor incondicional y valores de honestidad han sido mi guía constante. Agradezco a Dios por guiarme en este camino y por las bendiciones recibidas. También, un reconocimiento especial al Doctor Guillermo Mejía y al Ingeniero Johann Duque, cuya orientación ha sido esencial en mi éxito académico. Cada lección aprendida y cada momento compartido han sido fundamentales en mi desarrollo personal y profesional, y por ello, les estoy eternamente agradecido.

Agradecimientos

En la culminación de este significativo proyecto de tesis, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a aquellos que han hecho posible mi avance y éxito académico. En primer lugar, a mi familia: mis padres y hermana, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido mi fortaleza. Al grupo INME, por acogerme en su comunidad científica y brindarme la oportunidad de crecer como investigador. Agradezco también al semillero de gestión y modelado de la construcción (SGMC), que ha sido esencial para profundizar en los temas de este proyecto. Mi gratitud se extiende a la Universidad Industrial de Santander por proporcionar acceso a recursos valiosos como Scopus que es de uso gratuito de parte de la biblioteca virtual y por proporcionar otros recursos como AutoCAD y Revit, herramientas fundamentales para la investigación y el aprendizaje. No puedo dejar de mencionar al ingeniero Johann y al profesor Guillermo, cuyas enseñanzas y orientación han sido pilares en el desarrollo de mi trabajo. Cada uno de ustedes ha contribuido a este logro, y les estoy eternamente agradecido.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivo	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos	13
2. Metodología	14
2.1 Primera fase: Análisis.....	14
2.1.1 Primer tema: Lista de los problemas más relevantes al desarrollar un modelado BIM para presupuestos de mantenimiento	15
2.2 Segunda fase: Síntesis	17
2.2.1 Segundo tema: Sistemas de clasificación de información para presupuestos de mantenimiento más relevantes en la industria de la construcción	17
2.2.2 Tercer tema: Estándares de clasificación de información para presupuestos de mantenimiento más relevantes la industria de la construcción	19
2.3 Tercera fase: Prototipado	21
2.3.1 Cuarto tema: Modelo 3D con el nivel de desarrollo (LOD) necesario para gestionar información de presupuestación de mantenimiento	21
2.3.2 Desarrollo del modelo BIM y Evaluación del prototipo	22
3. Resultados y Discusión	23
3.1 Estructura de clasificación de la información para presupuestación de mantenimiento.....	23
3.1.1 Sistemas de clasificación más relevantes en la industria de la construcción:	25
3.1.2 COBie como estándar de clasificación para mantenimiento:.....	29

3.2 Nivel de desarrollo (LOD) para gestionar información de presupuestación del mantenimiento:	30
3.2.1 Niveles LOD: LOD 100 - LOD 500:	31
3.2.2 Evaluación LOD en proyectos de gestión de edificaciones:	31
3.2.3 Relación entre Estándar de Clasificación, el Nivel LOD y los Costos.	33
3.3 Desarrollo del Modelo 3D con el nivel LOD para mantenimiento.	34
3.3.1 Caso de estudio: Modelo 3D del edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Humanas.	34
3.3.2 Implementación de la estructura COBie para el edificio de la Facultad de Ciencias Humanas	
II:	36
3.4 Desafíos al desarrollar el modelo BIM para presupuestación de mantenimiento.	39
3.4.1 Falta de Información Precisa y Actualizada	43
3.4.2 Falta de estandarización en los procesos	45
4. Conclusiones	47
5. Recomendaciones	48
Referencias Bibliográficas	49
Apéndices	55

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Aspectos más relevantes de los sistemas de clasificación.	24
Tabla 2. Algunas ventajas y desventajas de los sistemas de clasificación más relevantes.	27
Tabla 3. Breve descripción de cada etapa del LOD	31
Tabla 4. Comparación de algunos tipos de LOD, según el caso de estudio.....	32
Tabla 5. Información General del Edificio - Facility Table.....	36
Tabla 6. Organización por Pisos - Floor Table.	37
Tabla 7. Espacios - Space Table.....	37
Tabla 8. Componentes - Component Table.....	38
Tabla 9. Tipos - Type Table.	38
Tabla 10. Documentos - Document Table.	38
Tabla 11. Tareas de Mantenimiento - Job Table.....	39
Tabla 12. Desafíos al desarrollar modelos BIM para gestión de activos.	42

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Análisis de documentos en Scopus sobre problemas más relevantes.....	16
Figura 2. Análisis de documentos en Scopus sobre sistemas de clasificación.....	18
Figura 3. Análisis de documentos en Scopus sobre estándares de clasificación.....	20
Figura 4. Análisis de documentos en Scopus sobre nivel de desarrollo LOD.	22
Figura 5. Flujo de procesos para desarrollar el modelo 3D del edificio de la Facultad de ciencias Humanas 2.....	35
Figura 6. Modelo 3D - Arquitectónico del edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Humanas..	40
Figura 7. Modelo 3D - Estructural del edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Humanas..	40
Figura 8. Modelo 3D - Salidas de Tomas del edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Humanas..	43
Figura 9. Modelo 3D - Iluminarias del edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Humanas.....	43
Figura 10. Plano 2D - Segundo piso del edificio en la zona occidental.....	44
Figura 11. Salida de toma del segundo piso del edificio en la zona occidental..	45

Lista de Apéndices

pág.

Apéndice A: Excel sobre la Lista de los problemas más relevantes al desarrollar un modelado BIM para presupuestos de mantenimiento.....	55
Apéndice B: Excel sobre los Sistemas de clasificación de información para presupuestos de mantenimiento más relevantes en la industria de la construcción.	55
Apéndice C: Excel sobre los Estándares de clasificación de información para presupuestos de mantenimiento más relevantes en la industria de la construcción.	55
Apéndice D: Excel sobre Modelo 3D con el nivel de desarrollo (LOD) necesario para gestionar información de presupuestación del mantenimiento de edificaciones.	55
Apéndice E: Modelo Arquitectónico.....	55
Apéndice F: Modelo Estructural.	55
Apéndice G: Modelo Salidas de Tomas.....	55
Apéndice H: Modelo Iluminarias.....	55

Resumen

Título: Pasantía de investigación con base en modelización BIM para la presupuestación de mantenimiento en la etapa de operación de edificaciones.¹

Autor: Andrés Camilo González Piñeros.²

Palabras Clave: BIM, mantenimiento, presupuestos, LOD, clasificación, COBie.

Descripción: Esta investigación evalúa el uso de la metodología Building Information Modeling (BIM) para optimizar la presupuestación de mantenimiento en edificaciones durante su etapa de operación, mediante estructuras de clasificación estandarizadas. Se analizó su aplicación en el edificio de la Facultad de Ciencias Humanas II de la Universidad Industrial de Santander, inaugurado en 2024. Mediante un modelo 3D, se exploró el estándar COBie para ilustrar cómo organizar la información de activos y mejorar la gestión de mantenimiento. Sin embargo, la falta de datos actualizados en planos de sistemas clave dificultó la precisión del modelo, evidenciando un desafío común. A pesar de ello, BIM mostró potencial para reducir la pérdida de información, minimizar duplicaciones de esfuerzo y mejorar la coordinación entre equipos. El nivel de desarrollo LOD 350 se identificó como ideal por equilibrar detalle y practicidad, mientras que COBie destacó por facilitar la interoperabilidad y la planificación operativa. Así, el éxito de BIM en el mantenimiento educativo requiere una estructura de clasificación simple y adaptado al proyecto.

¹ Trabajo de Grado

² Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar. Doctorado en gestión de proyectos de construcción. Codirector: Johann Alberto Duque Mogollón. Estudiante de Maestría en Ingeniería Civil.

Abstract

Title: Research internship based on BIM modeling for maintenance budgeting in the operation stage of buildings.*

Author: Andrés Camilo González Piñeros.†

Keywords: BIM, maintenance, budgets, LOD, classification, COBie.

Description: This research evaluates the use of the Building Information Modeling (BIM) methodology to optimize maintenance budgeting in buildings during their operation stage, by means of standardized classification structures. Its application was analyzed in the building of the Faculty of Human Sciences II of the Universidad Industrial de Santander, inaugurated in 2024. Using a 3D model, the COBie standard was explored to illustrate how to organize asset information and improve maintenance management. However, the lack of updated data on key system drawings hindered the accuracy of the model, evidencing a common challenge. Despite this, BIM showed potential to reduce information loss, minimize duplication of effort and improve coordination between teams. The LOD 350 development level was identified as ideal for balancing detail and practicality, while COBie stood out for facilitating interoperability and operational planning. Thus, the success of BIM in educational maintenance requires a simple classification structure tailored to the project.

* Degree Work

† Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering. Director: Guillermo Mejía Aguilar. PhD in construction project management. Co-director: Johann Alberto Duque Mogollón. Master's student in Civil Engineering.

Introducción

La gestión eficiente de los activos construidos (i.e., edificios) es importante para reducir costos y mejorar el servicio que prestan para el cumplimiento misional en instituciones educativas es importante para reducir costos y mejorar el servicio que prestan para el cumplimiento misional en instituciones educativas (Cerezo-Narváez et al., 2020). En este contexto, la adopción de metodologías BIM (Building Information Modeling) es una oportunidad por su capacidad para generar plataformas dinámicas que mejoren la planificación, gestión y ejecución de tareas de mantenimiento (Forcael et al., 2023). Específicamente, BIM permite parametrizar modelos 3D para incluir datos de las edificaciones, facilitando mantener inventarios físicos, suministrar información y la colaboración para decisiones informadas (Giwa et al., 2024).

No obstante, el potencial de BIM en gestión de mantenimiento enfrenta desafíos por la pérdida de información al no transferirse desde la construcción hacia la operación y mantenimiento (Scherer & Schapke, 2011). Esta falta de continuidad crea una brecha en la utilización de datos esenciales para planos de sistemas clave (estructurales, arquitectónicos, eléctricos, etc.), creando inconsistencias (Kumar & Teo, 2021a; McGlinn et al., 2019). Ante esto, es necesario usar la metodología BIM 3D que, con un estándar de clasificación adecuado, permite organizar los elementos del edificio facilitando el acceso a la información (Waqar et al., 2024).

Esta pasantía de investigación hace parte del proyecto de maestría titulado “Estrategia de presupuestación del mantenimiento preventivo programado de edificaciones educativas mediante la metodología BIM” (Alberto & Mogollón, n.d.). El propósito de la pasantía consistió en definir el modelo de información BIM requerido para hacer presupuestos de mantenimiento de una edificación existente en la UIS. De manera específica, se propuso definir una estructura de clasificación de información y el nivel de desarrollo apropiado del modelo BIM 3D para apoyar

los procesos de presupuestación de mantenimiento operativo de edificaciones. Complementariamente, se propuso identificar los desafíos de la implementación de dicha clasificación mediante un caso de estudio en la UIS, para contextualizar la solución. El logro de estos objetivos facilitará la visualización e interoperabilidad de información entre los diferentes sistemas y procesos de presupuestación del mantenimiento de los activos de infraestructura (Kumar & Teo, 2021b).

Para la pasantía se tomó como caso de estudio el nuevo edificio de la Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Industrial de Santander. El modelo BIM 3D de la edificación pretende ser apoyo para la planificación de presupuestos de mantenimiento. Si bien se está desarrollando un modelo 3D del edificio de la Facultad de Ciencias Humanas II de la Universidad Industrial de Santander, el enfoque de esta investigación no reside en la implementación del modelo en sí, sino en la evaluación del modelado BIM como un enfoque estratégico para mejorar la eficiencia del mantenimiento. El modelo 3D, aún en desarrollo, enfrenta desafíos inherentes a la disponibilidad y actualización de la información, reflejando la realidad de la gestión de la información en el contexto de la construcción. A pesar de estas limitaciones, el modelo 3D sirve como un punto de referencia.

Se presenta la metodología empleada, fundamentada en la ciencia del diseño (que utiliza un enfoque metódico para abordar problemas complejos), la presentación de resultados, finalizando con conclusiones y recomendaciones. Los resultados abordan la identificación de problemas en el modelado BIM, la descripción de los sistemas de clasificación, la definición de la estructura de clasificación y la selección del nivel de desarrollo (LOD) necesario para el modelado.

1. Objetivo

1.1 Objetivo General

Definir el modelo de información BIM para hacer presupuestos de mantenimiento de una edificación en la UIS.

1.2 Objetivos Específicos

Definir una estructura de clasificación de la información de mantenimiento de una edificación, para apoyar las estrategias de presupuestación de mantenimiento del activo.

Realizar el modelo 3D con el nivel de detalle (LOD) para hacer presupuestos de mantenimiento de una edificación (Open BIM).

2. Metodología

La metodología de esta investigación se basa en la ciencia del diseño que se enfoca en la resolución de problemas complejos a través de un enfoque sistemático y estructurado (Johannesson & Perjons, 2021). Con base en la metodología propuesta, el desarrollo de este proyecto se dividió en tres fases: En la primera fase se identificó y analizó el problema a resolver, mediante la investigación que se hizo a partir de la recopilación de información de las bases de datos de Scopus; luego, en la segunda fase denominada síntesis se seleccionó la estructura de clasificación compatible con el caso de estudio, y a partir de ejemplos mostrar cómo se almacena información detallada del edificio, sus componentes y sistemas; finalizando, se realizó el prototipado que es la tercera fase en la que se desarrolla y se evalúan los resultados del proyecto.

Como la presente pasantía de investigación se enmarca en el análisis de la metodología BIM (Building Information Modeling) 7D, específicamente en su aplicación para la presupuestación de mantenimiento en la etapa de operación de edificaciones, se observó que abordar esta temática con una ecuación de búsqueda resultaba complejo, ya que excluía una cantidad significativa de información relevante. Por esta razón, la búsqueda de literatura se dividió en cuatro temas de investigación necesarios para estructurar la metodología, los cuales se sustentan en una revisión de literatura a través de la base de datos Scopus. Los resultados de los cuatro temas de la búsqueda se organizaron de acuerdo a las fases de la metodología propuesta.

2.1 Primera fase: Análisis

La fase de Análisis tiene como propósito examinar de manera exhaustiva el problema principal que se busca abordar, estableciendo una base sólida para las etapas posteriores. Durante esta fase, se recurre a la información en la base de datos anteriormente mencionada para identificar

las limitaciones actuales y las brechas de información que puedan obstaculizar el desarrollo del modelo BIM.

El primer tema de revisión de literatura abordó los problemas más relevantes que se presentan al desarrollar un modelado BIM para presupuestos de mantenimiento. Este tema es crucial para anticipar y superar posibles obstáculos en la implementación de BIM para la gestión de mantenimiento. Se hará referencia a las limitaciones encontradas en el desarrollo del modelo 3D, como la desactualización y falta de datos en los planos de sistemas clave, reflejando la realidad de la gestión de la información en el contexto de la construcción.

2.1.1 Primer tema: Lista de los problemas más relevantes al desarrollar un modelado BIM para presupuestos de mantenimiento

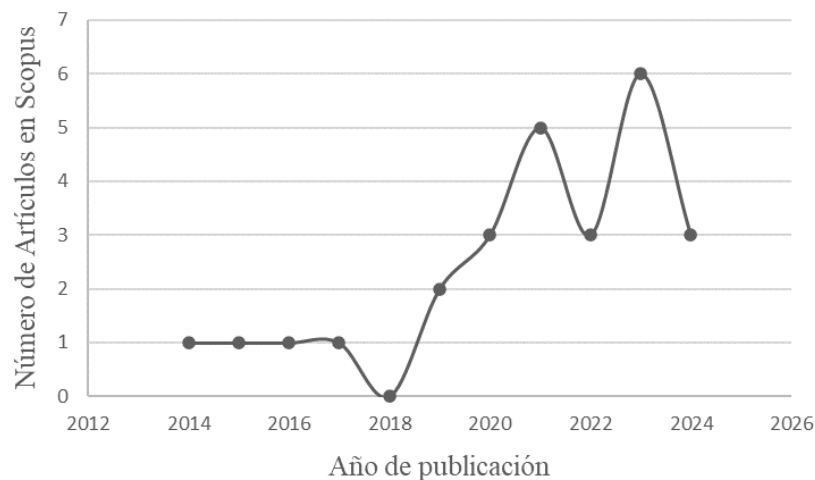
El análisis de esta temática facilita comprender las dificultades inherentes al proceso. A través de una revisión sistemática de la literatura realizada el 15 de octubre de 2024, se buscó recopilar información sobre los desafíos y obstáculos que enfrentan los profesionales en la implementación de BIM en el contexto del mantenimiento de edificaciones. En la Figura 1 se puede observar la tendencia de 26 artículos basados en el tema, de los cuales se seleccionaron 19 para una revisión. En el Apéndice A se presentan los artículos seleccionados.

Para este primer tema se usó la siguiente ecuación de búsqueda: (TITLE-ABS-KEY ("BIM" OR "Building Information Modeling") AND TITLE-ABS-KEY ("modeling problems" OR "modeling challenges" OR "challenges" OR "issues" OR "problems" OR "barriers" OR "obstacles")) AND TITLE-ABS-KEY ("construction" OR "architecture" OR "interoperability" OR "training" OR "collaboration" OR "standards" OR "data management" OR "quality" OR "cost" OR "time" OR "integration" OR "communication" OR "efficiency") AND TITLE-ABS-KEY

("educational buildings" OR "school buildings" OR "university buildings" OR "academic buildings" OR "institutional buildings" OR "classroom buildings" OR "campus buildings") AND TITLE-ABS-KEY ("sustainability" OR "design phase" OR "planning phase" OR "construction phase" OR "operation phase" OR "maintenance phase" OR "lifecycle" OR "green buildings" OR "environmental impact" OR "best practices" OR "solutions")) AND LANGUAGE ("english")

Figura 1

Análisis de documentos en Scopus sobre problemas más relevantes



Nota. Tendencia de publicaciones (Scopus, 2012-2024) sobre desafíos en modelado BIM para mantenimiento, con picos de investigación en 2021 y 2023.

La ecuación incluyó la combinación de términos clave relacionados con el modelado BIM, desafíos, problemas y el mantenimiento, todo esto centrado en el entorno educativo, lo que facilitó la identificación de estudios y documentos que aborden estos problemas de manera integral.

2.2 Segunda fase: Síntesis

La finalidad de esta fase es integrar los hallazgos del análisis de una metodología de clasificación estructurada para la implementación del modelo BIM. Para la revisión de literatura se abordaron dos temas de búsqueda.

El segundo y tercer tema permitieron definir una estructura de clasificación de la información para presupuestos de mantenimiento en la industria de la construcción. Teniendo en cuenta que abordar esta temática de forma directa a través de una ecuación de búsqueda resulta insuficiente, se dividió en dos temas de investigación, sistemas de clasificación y estándares de clasificación de la información para presupuestos de mantenimiento. Se exploraron sistemas como MasterFormat, Omniclass, Unifomat y Uniclass, y estándares de clasificación, incluyendo IFC y COBie, para comprender sus características, ventajas, desventajas y compatibilidad con la metodología BIM. La importancia de estos temas radica en la necesidad de seleccionar una estructura de clasificación para apoyar la eficiencia en la gestión del mantenimiento (Altaf et al., 2021; Matarneh et al., 2020).

2.2.1 Segundo tema: Sistemas de clasificación de información para presupuestos de mantenimiento más relevantes en la industria de la construcción

En este segundo tema de investigación analizaron los sistemas de clasificación más relevantes en la industria de la construcción para determinar su aplicabilidad en la edificación de la Facultad de Ciencias Humanas 2, tomando en cuenta las limitaciones del proyecto. El objetivo es identificar una estructura que sea flexible, compatible con la metodología BIM y que permita organizar eficientemente la información necesaria para la presupuestación del mantenimiento. Se realizó una búsqueda en la base de datos Scopus el 03 de noviembre de 2024, para identificar los

sistemas de clasificación más relevantes en la industria de la construcción. En la Figura 2 se puede observar la tendencia de 146 artículos basados en el tema, de los cuales se seleccionaron 31 para una revisión. En el Apéndice B se presentan los artículos seleccionados.

Para este segundo tema se usó la siguiente ecuación de búsqueda: (TITLE-ABS-KEY ("construction industry" OR "building sector" OR "construction management")) AND (TITLE-ABS-KEY ("classification systems" OR "taxonomies" OR "ontology" OR "categorization" OR "standardization")) AND (TITLE-ABS-KEY ("comparison" OR "characteristics" OR "advantages" OR "disadvantages" OR "analysis" OR "evaluation")) AND (TITLE-ABS-KEY ("Uniclass" OR "Omniclass" OR "MasterFormat" OR "COBie" OR "SFS-Koodit" OR "ICMS" OR "BIM")).

Figura 2

Análisis de documentos en Scopus sobre sistemas de clasificación



Nota. Evolución de artículos (Scopus, 1997-2025) sobre sistemas de clasificación en construcción, destacando un aumento significativo desde 2018.

Además de lo mencionado anteriormente, se analizaron las características, ventajas y desventajas de los sistemas de clasificación identificados, incluyendo MasterFormat, Omniclass,

Uniclass y Unifomat. Priorizando su compatibilidad con la metodología BIM, su capacidad para manejar la información de mantenimiento y su flexibilidad para adaptarse a las necesidades específicas del proyecto.

2.2.2 Tercer tema: Estándares de clasificación de información para presupuestos de mantenimiento más relevantes la industria de la construcción

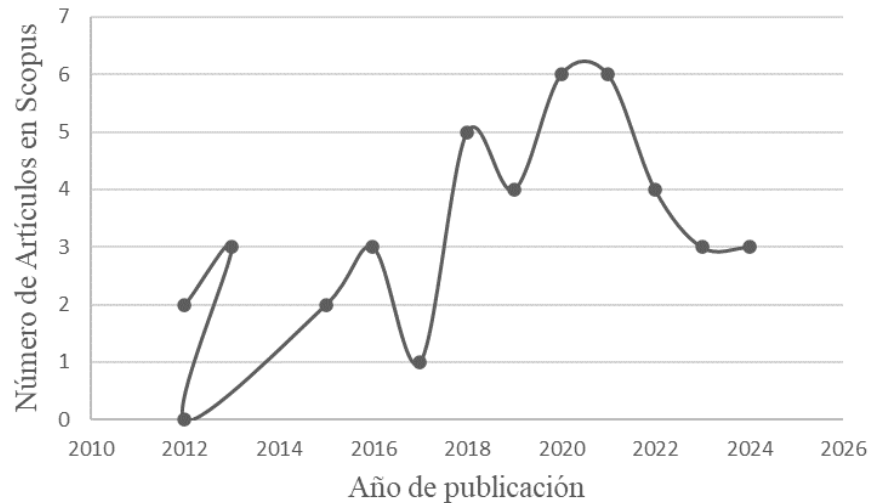
En este tema de investigación se analizó el estándar de clasificación de la información de mantenimiento más adecuada para el proyecto. La investigación identificó estándares de clasificación como IFC (Industry Foundation Classes) y COBie (Construction Operations Building information exchange), entre otros, que son relevantes en el contexto BIM. Esta búsqueda permitió entender las características generales de los estándares que permitan identificar el más flexible y compatible con BIM, que organicen y clasifiquen la información de manera efectiva, facilitando así la gestión de mantenimiento.

La búsqueda de este tema en Scopus se realizó el 10 de noviembre del 2024, en la cual se realizó una integración de términos clave relacionados con la clasificación de información y sus beneficios, lo que permite identificar artículos y documentos que aborden estos temas de manera detallada. En la Figura 3 se puede observar la tendencia de 42 artículos basados en el tema, de los cuales se seleccionaron 18 para una revisión. En el Apéndice C se presentan los artículos seleccionados.

Para este tercer tema se usó la siguiente ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY (("Building Information Modeling" OR BIM) AND ("classification systems" OR "COBie" OR "MasterFormat" OR "Unifomat" OR "IFC")) AND ("benefits" OR "comparison" OR "advantages" OR "disadvantages" OR "selection" OR "organization" OR "functions")) AND (COBie).

Figura 3

Análisis de documentos en Scopus sobre estándares de clasificación



Nota. Artículos anuales (Scopus, 2012-2024) sobre estándares de clasificación BIM (COBie, IFC), reflejando un pico de interés entre 2019-2021.

Es importante reconocer las limitaciones que pueden surgir durante este proceso, como la disponibilidad de datos actualizados y la variabilidad en la implementación de los estándares en diferentes contextos. Sin embargo, se espera que, a través de la identificación de los diferentes estándares, se logre definir una estructura de clasificación que no solo cumpla con los objetivos del proyecto, sino que también se adapte a las necesidades específicas de la gestión de mantenimiento en instituciones educativas.

La selección de la estructura de clasificación más adecuada se sustentó en criterios técnicos y operativos, priorizando la eficiencia y viabilidad del proyecto. Por estas razones, se adoptó COBie debido a su capacidad para centralizar información relevante de mantenimiento de manera eficiente, por su capacidad de gestionar datos no geométricos, lo que facilita la comunicación entre los diferentes actores.

2.3 Tercera fase: Prototipado

Esta fase se centra en implementar un modelo BIM basado en las decisiones tomadas durante la síntesis. Su objetivo es garantizar que el prototipo sea funcional y escalable, cumpliendo con los requerimientos técnicos del proyecto y permitiendo su adaptación a futuros desarrollos.

El modelado del edificio nuevo para la facultad de ciencias humanas, se realizó a partir de las decisiones tomadas por la investigación del cuarto tema, del que se selecciona el LOD que más se pueda aplicar a las diferentes disciplinas que se modelen. Un posible criterio de selección podría situarse entre el LOD 300 y 400, determinado por el equilibrio entre el desarrollo necesario para la gestión del edificio y los recursos disponibles para el desarrollo del modelo (Ibrahim et al., 2019).

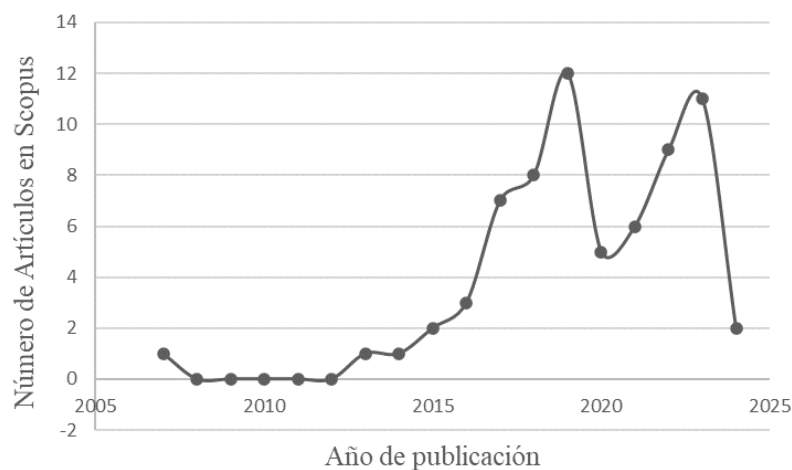
2.3.1 Cuarto tema: Modelo 3D con el nivel de desarrollo (LOD) necesario para gestionar información de presupuestación de mantenimiento

Este tema se centra en la evaluación de los diferentes niveles de desarrollo disponibles en el contexto BIM, a través de una revisión de la literatura realizada el 11 de julio de 2024, se buscó establecer criterios que permitan determinar el LOD óptimo que equilibre la cantidad de información necesaria para una gestión eficiente y los recursos disponibles para el desarrollo del modelo. Este enfoque permite abordar algunas limitaciones como la pérdida de información, la duplicación de esfuerzos y la barrera en la coordinación del personal (Yola et al., 2020), que pueden afectar la calidad del modelo 3D en desarrollo, especialmente por la discontinuidad en el flujo de información que se produce cuando los datos generados durante la etapa de construcción no se integran adecuadamente en las fases posteriores de operación y mantenimiento. En la Figura 4 se puede observar la tendencia de 68 artículos de este tema, de los cuales se seleccionaron 31 para una revisión. En el Apéndice D se presentan los artículos seleccionados.

Para este cuarto tema se usó la siguiente ecuación de búsqueda: TITLE-ABS-KEY ((bim OR "Building Information Modeling") AND (lod OR "Level of detail" OR "Level of development" OR "Level of Definition" OR "Level of information" OR "Level of Geometry") AND (maintenance))

Figura 4

Análisis de documentos en Scopus sobre nivel de desarrollo LOD



Nota. Publicaciones anuales (Scopus, 2007-2024) sobre Nivel de Desarrollo (LOD) en BIM para mantenimiento, con crecimiento destacado en 2016-2019 y 2023.

2.3.2 Desarrollo del modelo BIM y Evaluación del prototipo

El desarrollo del modelo BIM inició con la creación de un modelo 3D basado en los planos disponibles y ajustado a los niveles de desarrollo (LOD) establecidos durante la fase. Durante la evaluación, se identificó que el prototipo era capaz de ofrecer una visualización clara de los sistemas clave del edificio y facilitar la toma de decisiones operativas. A pesar de que algunas inconsistencias en los planos iniciales no pudieron ser resueltas, el modelo pudo integrar datos

geométricos relevantes de manera efectiva, facilitando la organización de la información para la gestión de mantenimiento.

Además, se observó que el modelo es adaptable para realizar futuras mejoras sin comprometer la estructura del modelo, aunque se recomienda mejorar la organización de los datos en fases iniciales para facilitar la integración de nuevas disciplinas y asegurar la coherencia a largo plazo.

3. Resultados y Discusión

La presente sección detalla los resultados obtenidos para definir un modelo de información BIM que apoye los procesos de presupuestación de mantenimiento. En primer lugar, se describe el sistema de clasificación que se requiere para presupuestar el mantenimiento de edificios con base en modelos BIM. Posteriormente, se define el nivel de desarrollo de la información requerido para el uso del modelo BIM en mantenimiento. Luego, se describe el prototipado del modelo con un caso de estudio, y finalmente, se describen los desafíos encontrados al implementar este sistema de clasificación en un modelo BIM piloto del caso de estudio. Estos resultados establecen una referencia inicial para continuar en futuras investigaciones y aplicaciones prácticas que permitan proponer lineamientos para la implementación.

3.1 Estructura de clasificación de la información para presupuestación de mantenimiento.

Los sistemas de clasificación son herramientas fundamentales para la gestión efectiva de la información, especialmente en sectores como la construcción y la gestión de activos (Shing-Tao Chang & Tsai, 2012). La metodología BIM requiere de un sistema de clasificación para organizar, describir y analizar grandes volúmenes de datos de manera sistemática, facilitando la

comunicación, la toma de decisiones y la ejecución de procesos (Cerezo-Narváez et al., 2020). En el contexto de la presupuestación de mantenimiento, las estructuras de clasificación son cruciales para identificar, cuantificar y predecir las necesidades de cada activo (Altaf et al., 2020).

En esencia, un sistema de clasificación efectivo va más allá de una simple descripción detallada. Su objetivo es crear un marco de referencia común, estructurado y codificado que optimice la gestión integral de la información y procesos de mantenimiento (Forcael et al., 2023). En la Tabla 1 se puede observar los aspectos más relevantes que caracterizan los sistemas de clasificación, tales como un lenguaje común, una estructura jerárquica, asignación de códigos, definición de atributos y la integración con procesos de gestión.

Tabla 1

Aspectos más relevantes de los sistemas de clasificación

Aspectos Clave	Características	Citas
Establecimiento de un lenguaje común	La clasificación unifica la terminología para los activos, eliminando ambigüedades y facilitando la comunicación entre los distintos actores involucrados, desde arquitectos e ingenieros hasta administradores y contratistas	(Sibenik & Kovacic, 2021)
Creación de una estructura jerárquica	Organiza los activos en niveles, desde categorías amplias hasta componentes específicos, permitiendo una fácil identificación y análisis de la información. Por ejemplo, un edificio puede dividirse en sistemas (estructural, eléctrico,	(Saleeb et al., 2018; Sibenik & Kovacic, 2021)

	HVAC), subsistemas y luego en componentes individuales.	
Asignación de códigos	Asigna un código único a cada elemento para un seguimiento eficiente y una gestión de datos optimizada.	(Liu et al., 2016; Scherer & Schapke, 2011)
Definición de atributos	Describe cada activo con atributos específicos (función, material, ubicación, etc.) para una mayor precisión y una gestión de información más eficiente.	(Forcael et al., 2023; Saleeb et al., 2018)
Vinculación con procesos de gestión	Se integra con los procesos de gestión de activos para la planificación del mantenimiento, el control de costos, la toma de decisiones informadas y la optimización de recursos.	(Götz et al., 2020; Halmetoja & Lepkova, 2022)

Nota. Resume los aspectos clave de los sistemas de clasificación en construcción: lenguaje común, estructura jerárquica, códigos, atributos y vinculación a procesos.

3.1.1 Sistemas de clasificación más relevantes en la industria de la construcción:

En la industria de la construcción esta clase de sistemas promueven la estandarización y la organización de la información relacionada con los proyectos. El implementar BIM con sistemas normalizados facilita la comunicación efectiva entre los participantes del proyecto, se logra una mayor claridad y comprensión de los procesos, lo que mejora la eficacia en la reducción de errores y contradicciones en la planificación y ejecución de los proyectos (Cerezo-Narváez et al., 2020).

Además, la estandarización ayuda a reagrupar elementos que sean similares, lo que se traduce en una mejora en la clasificación y organización de la información de los proyectos (Forcael et al., 2023). Entre los sistemas de clasificación ampliamente adoptados en la industria de la construcción se encuentran: MasterFormat, Omniclass, Uniformal y Uniclass, cada uno con enfoques específicos (Forcael et al., 2023; Saleeb et al., 2018).

MasterFormat, Uniformal y Omniclass son sistemas de clasificación utilizados en la industria de la construcción de Estados Unidos, para organizar información y facilitar la comunicación entre las partes interesadas en un proyecto. MasterFormat, desarrollado por Construction Specifications Institute (CSI), es un sistema basado en materiales que organiza la información en 50 divisiones y varios niveles jerárquicos. Su estructura se centra en los materiales y productos utilizados en la construcción, lo que lo hace adecuado para especificaciones y gestión de costos (Cerezo-Narváez et al., 2020). UniFormat II, implementado como estándar ASTM, organiza la información en nueve categorías y clasifica los elementos del edificio, lo que mejora la gestión del proyecto en etapas como planificación, diseño y operación (Forcael et al., 2023). A diferencia de MasterFormat, que se actualiza cada dos años, Uniformal no se ha actualizado desde 2010. Omniclass, por su parte, combina aspectos de MasterFormat y Uniformal, y propone un conjunto de 15 tablas que cubren una amplia gama de información de construcción. Omniclass se presenta como un sistema más integral que busca unificar diferentes aspectos de la clasificación en la construcción.

Uniclass es un sistema de clasificación que cumple con la norma ISO 12006-2, desarrollado para la industria de la construcción en el Reino Unido. Consta de nueve tablas que cubren una amplia gama de elementos de construcción, ingeniería, paisaje e infraestructura (Saleeb et al., 2018).

Adicional a estos sistemas, en el contexto de la gestión de la información en proyectos de construcción se encuentra el COBie (Construction Operations Building Information Exchange) que emerge como una opción atractiva por su enfoque en la información no geométrica de los activos y su compatibilidad con el estándar BIM (Matarneh et al., 2020). La elección del sistema de clasificación más adecuado dependerá de las necesidades del proyecto, las prácticas locales, el software utilizado y el uso que se le quiera dar al modelo BIM (Saleeb et al., 2018).

A pesar de sus ventajas, estos sistemas presentan limitaciones cuando se enfrentan a necesidades específicas del proyecto, lo que a menudo requiere la adaptación o el desarrollo de soluciones personalizadas (Götz et al., 2020). Por lo tanto, la selección del sistema de clasificación adecuado es crucial para el éxito de un proyecto de construcción, especialmente en contextos complejos que demandan precisión y consistencia. A continuación, en la Tabla 2 se menciona algunas ventajas y desventajas en la aplicación de estos sistemas.

Tabla 2

Algunas ventajas y desventajas de los sistemas de clasificación más relevantes

Sistema de clasificación	Ventajas	Desventajas	Citas
MasterFormat	• Ampliamente utilizado y reconocido en la industria de la construcción de Estados Unidos y Canadá • Organización basada en materiales • Facilita la gestión y el intercambio de información	• No se enfoca en todos los componentes de ingeniería arquitectónica, civil y de procesos	(Cerezo-Narváez et al., 2020; Saleeb et al., 2018)
Omniclass	• Combina los sistemas Masterformat y Uniformat • Facilita la gestión y el intercambio de información en la industria de la construcción • Destinado a mejorar el rendimiento de los proyectos de construcción	• No todos los ámbitos de las tablas incorporan la ingeniería arquitectónica, civil y de servicios • La profundidad de los niveles de las tablas varía de dos a ocho niveles de jerarquía • La descripción de los objetos dentro de las tablas a veces es para	(Cerezo-Narváez et al., 2020; Saleeb et al., 2018)

		grupos de objetos y a veces para objetos individuales	
Unifomat	• Organización basada en sistemas	• No se enfoca en todos los componentes de ingeniería arquitectónica, civil y de procesos	(Cerezo-Narváez et al., 2020; Saleeb et al., 2018)
Uniclass	• Uniclass 2015, la última versión, está diseñada para ser compatible con BIM y se utiliza para organizar y clasificar objetos dentro de modelos BIM. • A diferencia de otros sistemas de clasificación como Omniclass, Uniclass 2015 es un sistema unificado con relaciones jerárquicas entre sus tablas, lo que facilita la navegación y la coherencia en la clasificación de objetos.	• La profundidad de sus niveles varía entre 2 y 7, lo que genera inconsistencias en el nivel de desarrollo de la descripción de los objetos • Al igual que en Omniclass, los objetos a veces se organizan en grupos y a veces individualmente, lo que puede causar discrepancias en la especificación	(Cerezo-Narváez et al., 2020; Saleeb et al., 2018)
COBie	• Facilita la interoperabilidad entre diferentes plataformas y software. • Ideal para la gestión de operaciones y mantenimiento. • Facilita la comprensión y el manejo de la información para diversos usuarios. • Asegurar la transferencia de datos relevantes para la operación y el mantenimiento.	• Requiere tiempo y capacitación para comprender su estructura y correcta aplicación. • Puede ser propenso a errores y requerir tiempo adicional. • La estructura de la hoja de cálculo puede dificultar el seguimiento de las modificaciones a lo largo del proyecto. • No todos los softwares BIM ofrecen una integración completa con COBie.	(Kumar & Lin, 2020; Matarneh et al., 2020)

Nota. Comparativa de ventajas y desventajas de sistemas de clasificación prominentes como MasterFormat, Omniclass, Unifomat, Uniclass y COBie.

La gestión eficiente de activos construidos es crucial para las instituciones educativas, ya que permite optimizar los recursos, reducir costos y mejorar la calidad de los servicios (Halmetoja & Lepkova, 2022). Sin embargo, la gestión de mantenimiento de edificaciones enfrenta desafíos significativos, especialmente en la transferencia de información desde la fase de construcción. La

falta de información precisa y oportuna es un obstáculo importante en la gestión de mantenimiento, ya que puede llevar a decisiones erróneas y costos adicionales (Florez & Afsari, 2018).

En este sentido, COBie puede ofrecer una oportunidad para apoyar la gestión del mantenimiento, ya que se destaca por su flexibilidad y capacidad de integración con BIM. La adopción de COBie puede mejorar significativamente la gestión de mantenimiento en instituciones educativas (Halmetoja & Lepkova, 2022), al proporcionar una base de datos estructurada y completa de información de activos. COBie también facilita la colaboración entre los equipos de diseño, construcción y operaciones, y permite la toma de decisiones informadas sobre la gestión de mantenimiento (Pinto et al., 2024).

3.1.2 COBie como estándar de clasificación para mantenimiento:

COBie es un estándar de información de construcción que permite la transferencia de información de activos entre los distintos actores de la cadena de construcción (Matarneh et al., 2020). Se distingue por su enfoque en la entrega eficiente de información de activos gestionados durante el ciclo de vida de una edificación, utilizando un formato de hoja de cálculo accesible como Excel (Florez & Afsari, 2018). A diferencia de los sistemas de clasificación tradicionales, que se centran en organizar la información por categorías, COBie adopta un enfoque diferente al vincular información no geométrica con elementos específicos del edificio (Florez & Afsari, 2018).

La integración de COBie con BIM es ideal para esta clase de uso, como mantenimiento de edificaciones, ya que permite la creación de un modelo de información de construcción completo y preciso, que incluye información sobre los componentes del edificio, sistemas, garantías y requisitos de mantenimiento (Congiu et al., 2024). Esto facilita la colaboración entre los diferentes

equipos operativos y permite la toma de decisiones informadas sobre la gestión de mantenimiento (Kumar & Teo, 2021a).

Un ejemplo de cómo COBie puede mejorar la gestión de mantenimiento es la reducción de errores y desperdicio de materiales. Al proporcionar una lista completa de los información precisa y oportuna sobre los componentes del edificio, con los respectivos desarrollos y requisitos de mantenimiento, facilita la solicitud de los materiales correctos y evita compras innecesarias, reducir los costos asociados, y, además, al digitalizar la información en un entorno común de datos se reducen las posibilidades de errores debido a información desactualizada o incompleta (Omayor & Selim, 2022; Pinto et al., 2024).

3.2 Nivel de desarrollo (LOD) para gestionar información de presupuestación del mantenimiento:

El nivel LOD en BIM juega un papel crucial en la definición de información geométrica y no geométrica en modelos 3D, influyendo en varias fases del proyecto, incluida la presupuestación de mantenimiento. La selección correcta del LOD permite una gestión eficaz de la información, esencial para una planificación precisa y decisiones informadas durante la operación y mantenimiento de una instalación (Banfi, 2016; Suprun et al., 2022).

El desafío consiste en buscar el equilibrio entre desarrollos necesarios para un mantenimiento eficiente y los recursos invertidos en modelos de alta complejidad, subrayando la importancia de una selección estratégica adaptada a los requisitos específicos del proyecto (Suprun et al., 2022; Yoon, 2024).

3.2.1 Niveles LOD: LOD 100 - LOD 500:

Los diferentes niveles LOD en BIM representan el grado de precisión y la cantidad de información contenida en el modelo. A continuación, la Tabla 3 presenta la descripción y algunas características de cada nivel de desarrollo (LOD) en el contexto de la presupuestación de mantenimiento de edificaciones.

Tabla 3

Breve descripción de cada etapa del LOD

Nivel de Desarrollo	Descripción	Características	Citas
LOD 100	Modelado conceptual	Bloques o formas geométricas simples, información básica sobre ubicación y tamaño	(Ibrahim et al., 2019; Yoon, 2024)
LOD 200	Definición geométrica precisa	Dimensiones, forma, orientación, datos no geométricos como tipo de material	(Ali et al., 2018; Dias & Ergan, 2016; Ibrahim et al., 2019)
LOD 300	Alto nivel de desarrollo	Información sobre componentes, conexiones, desarrollos constructivos, geometría, orientación	(Ali et al., 2018; Dezen Kempter E., 2021; Dias & Ergan, 2016)
LOD 350	Coordinación de sistemas	Desarrollos de interfaces entre sistemas, ensamblajes precisos	(Dias & Ergan, 2016; Soltani et al., 2023)
LOD 400	Gestión de la construcción	Desarrollos para ejecución de servicios, información sobre fabricación e instalación	(Dias & Ergan, 2016)
LOD 500	Modelo "As-built"	Representación precisa del edificio tal como se construyó, información dinámica pero excesiva para operación y mantenimiento	(S. H. Alavi & Matheu, 2019; Dezen Kempter E., 2021)

Nota. Describe los niveles de desarrollo (LOD 100-500) en BIM, detallando la información geométrica y no geométrica esperada en cada fase.

3.2.2 Evaluación LOD en proyectos de gestión de edificaciones:

Algunos estudios recomiendan que el LOD para modelos en la etapa de gestión de instalaciones (FM) sea inferior a 500 para lograr un tamaño de archivo más pequeño, lo que se

traduce en un trabajo de modelado más rápido (Yola et al., 2020). Para reducir el tiempo dedicado a remodelar elementos del edificio, se podrían usar requisitos geométricos limitados, como LOD 300, que sitúa cada elemento del modelo en relación con los demás y las dimensiones, sin embargo, el LOD 350 es el nivel preferido por los profesionales de FM para representar componentes en los modelos (Yola et al., 2020) (ver Tabla 4).

Tabla 4

Comparación de algunos tipos de LOD, según el caso de estudio

	LOD 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400
Tiempo de modelado	Bajo	Media	MedioAlto	Alto
Complejidad del modelo	Baja	Media	MedioAlto	Alto
Información de gestión para mantenimiento	Insuficiente	Buena	Muy buena	Excesiva
Costo-beneficio	Bajo	Alta	Alto	Bajo

Nota. Evaluación comparativa de niveles LOD (200-400) según tiempo de modelado, complejidad, información para mantenimiento y costo-beneficio.

El LOD 300 como punto de partida para el mantenimiento emerge como el nivel óptimo para la gestión del mantenimiento dentro del modelado de información de construcción BIM, al lograr un equilibrio perfecto entre desarrollo y accesibilidad (Yola et al., 2020). Este nivel proporciona datos geométricos y espaciales esenciales, facilitando la gestión eficaz de activos permitiendo a los operadores de instalaciones desempeñar sus funciones de manera eficiente (Dias & Ergon, 2016).

La elección del LOD debe basarse en la facilidad de desarrollo, esto porque un LOD alto puede ser costoso, requiere alto esfuerzo para modelar los datos, además de un personal capacitado

para hacer dicha tarea (Hossain & Yeoh, 2018). Los contratistas aprecian mucho los LOD's 300 y 350 por proporcionar detalles precisos de tamaño, forma, ubicación, cantidad e interfaz del sistema, lo que permite cálculos precisos de cantidades y costos para apoyar las fases de diseño y construcción, crítico para un presupuesto efectivo de proyectos (Ibrahim et al., 2019).

El LOD 350 proporciona información más precisa sobre el tamaño, la forma y la ubicación de los componentes, lo que facilita la coordinación entre las diferentes disciplinas y permite una planificación más efectiva del mantenimiento y la asignación de recursos (Dias & Ergan, 2016; Suprun et al., 2022). Por ello, para este caso de estudio se escogió el LOD 350 para el modelo BIM.

3.2.3 Relación entre Estándar de Clasificación, el Nivel LOD y los Costos.

Para definir un estándar de clasificación efectiva para la información de costos de mantenimiento, es crucial considerar varios aspectos clave: el nivel de desarrollo, las categorías de clasificación y las relaciones entre componentes (Omayr & Selim, 2022). Un nivel de desarrollo adecuado permite la recopilación y análisis de datos precisos, lo que a su vez facilita la toma de decisiones informadas (Kumar & Teo, 2021a).

La estructura de clasificación debe utilizar un suficiente nivel de desarrollo que capture toda la información relevante, pero no tan compleja que resulte difícil de manejar. Debe incluir información sobre los componentes del edificio, como sistemas, descripciones, materiales, garantías, información necesaria para un mantenimiento (Kumar & Lin, 2020). También es crucial considerar la jerarquía de los activos, es decir, cómo se relacionan entre sí (Altaf et al., 2020).

Los datos deben ser fácilmente accesibles para evitar sobrecargas que ralenticen los proceso (Kumar & Lin, 2020). Una estructura de clasificación mejora su calidad y organización

(Pinto et al., 2024), usando categorías como edificación, piso, espacio, zona, elementos, sistema, trabajo y recursos (Matarneh et al., 2020).

Además, La estandarización de datos mediante esquemas como IFC y COBie resulta clave para mantener uniformidad en la descripción de los activos dentro de una biblioteca BIM, facilitando un intercambio eficiente de información (Altaf et al., 2021). Finalmente, la utilización de taxonomías y ontologías puede ser beneficiosa para crear un lenguaje común y la relación de conceptos (Farias et al., 2015).

3.3 Desarrollo del Modelo 3D con el nivel LOD para mantenimiento.

La creación de un modelo 3D con el nivel de desarrollo adecuado es fundamental para garantizar una gestión eficiente del mantenimiento de edificaciones. El LOD determina la cantidad y calidad de información contenida en el modelo, influyendo directamente en la precisión de las estimaciones de costos y en la toma de decisiones relacionadas con la planificación y ejecución de las tareas de mantenimiento.

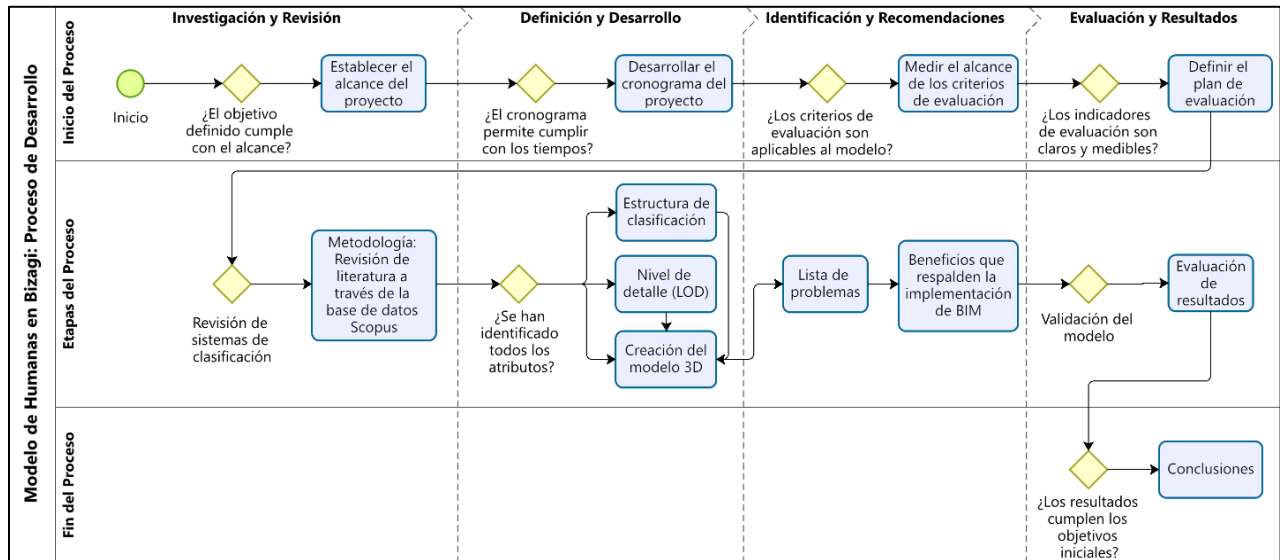
3.3.1 Caso de estudio: Modelo 3D del edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Humanas.

A continuación, se describe el prototipado del modelo con un caso de estudio, En este apartado se presenta una descripción del proceso de desarrollo del modelo 3D arquitectónico y estructural de la Facultad de Ciencias Humanas 2. El modelo 3D del caso de estudio con el nivel LOD adecuado se adopta como herramienta para apoyar los presupuestos de mantenimiento, el cual requiere un flujo de trabajo riguroso y estructurado. El flujo de trabajo se organizó en la Figura 5 con cuatro fases principales: 1. investigación y revisión, 2. definición y desarrollo, 3. identificación y recomendaciones, y 4. evaluación y resultados.

Figura 5

Flujo de procesos para desarrollar el modelo 3D del nuevo edificio de la Facultad de ciencias

Humanas



Nota. Diagrama de las cuatro fases metodológicas del proyecto: Investigación y Revisión; Definición y Desarrollo; Identificación y Recomendaciones; y Evaluación y Resultados.

En la primera fase, se definió el alcance del modelo, determinando los elementos arquitectónicos estructurales a incluir y los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto, tales como software especializado y datos de diseño.

En la segunda fase se seleccionó el software de modelado 3D más adecuado para las características del proyecto y se definió un estándar de clasificación que permite apoyar un método de organización eficiente de la información del modelo para futuras investigaciones. Además, se estableció el nivel LOD para los elementos del proyecto, garantizando la precisión y el realismo del modelo.

En la tercera fase se analizaron los requisitos del administrador de la edificación y se elaboró una lista de los problemas encontrados durante el proceso de modelado. Con base en este

análisis, se propusieron recomendaciones como disponer de atención cuidado en la selección del nivel de desarrollo, con el objetivo de optimizar los procesos.

Finalmente, en la cuarta fase se llevó a cabo una evaluación del modelo 3D, tanto desde el punto de vista arquitectónico como estructural. Se validó la precisión del modelo mediante comparaciones con los planos y la construcción, junto con las opiniones del grupo semillero de gestión y modelado de la construcción (SGMC).

3.3.2 Implementación de la estructura COBie para el edificio de la Facultad de Ciencias Humanas II:

El modelo COBie organiza los datos en tablas interconectadas en formato Excel, permitiendo almacenar información detallada del edificio, sus componentes y sistemas. Este enfoque facilita la planificación de mantenimiento y la integración con modelos BIM existentes. A continuación, la Tabla 5 presenta información fundamental sobre el edificio, incluyendo su nombre, ubicación, año de creación y descripción general, lo que permite comprender el contexto del modelo BIM.

Tabla 5

Información General del Edificio - Facility Table

Campo	Desarrollo
<i>Nombre</i>	Facultad de Ciencias Humanas II
<i>Ubicación</i>	Campus Principal, UIS
<i>Año de creación</i>	2024
<i>Categoría</i>	Edificio educativo
<i>Descripción</i>	Edificio para actividades académicas y administrativas.

Nota. Basada en el análisis de COBie.

La Tabla 6 detalla la organización de los pisos del edificio, especificando la altura y el uso principal de cada nivel, proporcionando una estructura clara para la disposición del espacio.

Tabla 6

Organización por Pisos - Floor Table

Piso	Altura (m)	Uso Principal
Piso 1	4.38	Cafetería, oficinas administrativas, Aula Magna y Centro de lectura
Piso 2	4.38	Centros de estudios

Nota. Basada en el análisis de COBie.

La Tabla 7 clasifica los espacios individuales dentro del edificio, mostrando su asociación con los pisos y categorías, así como el área total, información esencial para la planificación y gestión del espacio.

Tabla 7

Espacios - Space Table

Nombre	Descripción	Piso	Área (m ²)
A-101	Recepción	Piso 1	7.4
D-202	Centro de estudios de derecho	Piso 2	60.13

Nota. Basada en el análisis de COBie.

La Tabla 8 define los componentes específicos instalados en los espacios, incluyendo detalles como fechas de instalación y duración de la garantía, crucial para el mantenimiento y seguimiento de los activos del edificio.

Tabla 8

Componentes - Component Table

Nombre	Zona	Descripción	Instalación	Garantía (Años)
Luminaria LED	A-101	Lámpara de techo eficiente	2024-xx-xx	2
Unidad HVAC	D-202	Unidad de climatización	2024-xx-xx	3

Nota. Basada en el análisis de COBie.

La Tabla 9 clasifica los tipos de componentes utilizados en el edificio, vinculándolos a su fabricante, modelo y vida útil esperada, para facilitar la gestión de productos y recursos.

Tabla 9

Tipos - Type Table

Nombre	Tipo	Fabricante	Modelo	Vida (Años)
Luminaria LED	Iluminación	Carrier	LED5000	15
Unidad HVAC	Climatización	Philips	CX1200	10

Nota. Basada en el análisis de COBie.

La Tabla 10 lista los documentos relevantes asociados a los sistemas del edificio, incluyendo tipos de elementos y URL para su acceso, apoyando la consulta y referencia técnica.

Tabla 10

Documentos - Document Table

Nombre	Tipo	Elemento	URL
Especificaciones LED	Desarrollos	Lámpara LED-01	www.example.com/led.pdf
Manual HVAC	Manual técnico	HVAC-01	www.example.com/hvac.pdf

Nota. Basada en el análisis de COBie.

La Tabla 11 enumera las tareas de mantenimiento preventivo programadas, su frecuencia y sistemas asociados, ayudando en la planificación operativa y asegurando la funcionalidad continua del edificio.

Tabla 11

Tareas de Mantenimiento - Job Table

Nombre	Descripción	Frecuencia	Sistema asociado
Revisión de iluminación	Verificar filtros y ductos	Cada 6 meses	Sistema de Iluminación
Inspección HVAC	Reemplazo de lámparas fallidas	Anual	Sistema HVAC

Nota. Basada en el análisis de COBie.

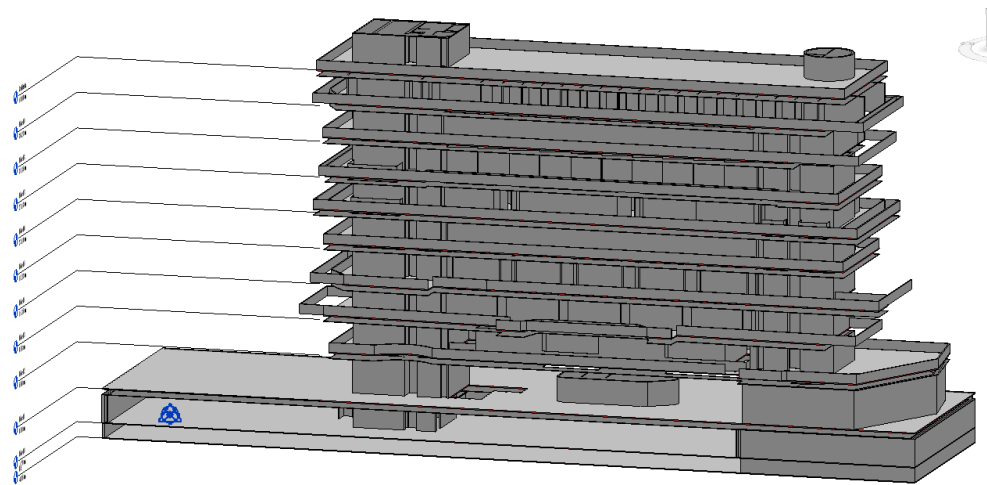
3.4 Desafíos al desarrollar el modelo BIM para presupuestación de mantenimiento.

Durante el proceso de modelado, se enfrentaron varios desafíos que requirieron ajustes y soluciones. Inicialmente, se planteó utilizar Revit 2024 como herramienta principal, sin embargo, debido a las limitaciones de hardware tanto en el equipo personal como en los equipos universitarios, se optó por emplear la versión anterior, Revit 2023.

Los modelos 3D resultantes, tanto el arquitectónico como el estructural respectivamente, constituyen una valiosa herramienta para la gestión y mantenimiento del edificio. En las Figuras 6 y 7 se puede apreciar el desarrollo de los modelos que permiten visualizar y analizar el edificio nuevo de ciencias humanas, facilitando la toma de decisiones y la coordinación entre los diferentes actores involucrados.

Figura 6

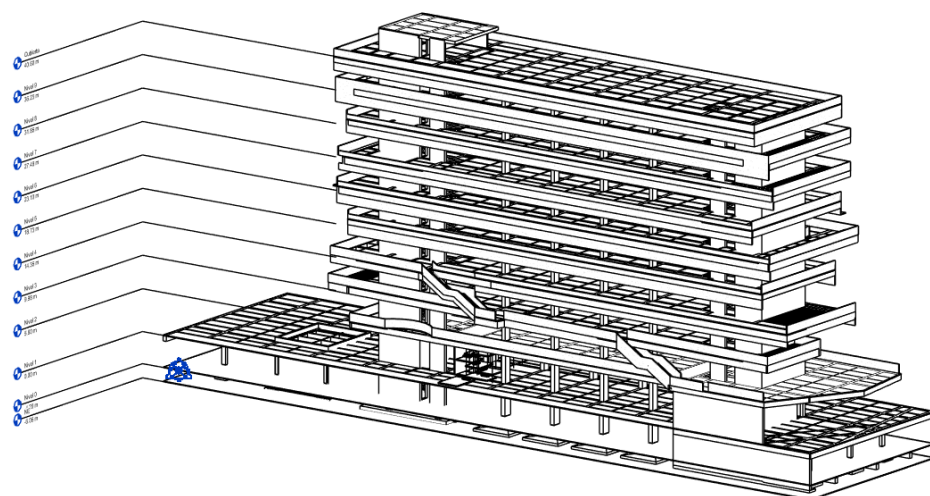
Modelo 3D - Arquitectónico del edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Humanas



Nota. Visualización tridimensional del modelo arquitectónico del edificio, mostrando su volumetría general y la distribución de niveles.

Figura 7

Modelo 3D - Estructural del edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Humanas



Nota. Representación del modelo 3D estructural del edificio, donde se aprecian los componentes principales del sistema portante.

Al digitalizar la información proveniente de los archivos AutoCAD proporcionados inicialmente por el director y codirector de este proyecto, información que fue suministrada por la Oficina de Planeación de la UIS, se detectaron inconsistencias significativas entre los planos y la edificación. La presencia de estas inconsistencias evidenció la importancia de contar con información precisa y actualizada para tomar decisiones informadas durante la fase de operación y mantenimiento de edificaciones. Sin embargo, las limitaciones de tiempo no permitieron un análisis exhaustivo, por lo que se subraya la necesidad de invertir en la recopilación y gestión de datos de alta calidad para garantizar la precisión y confiabilidad de los modelos.

Si bien la literatura especializada identifica una amplia gama de desafíos en el proceso de modelado BIM, este estudio en particular puso de manifiesto la relevancia de la falta de información precisa y actualizada. Aunque no todas las problemáticas reportadas en otros proyectos se manifestaron en este caso específico, es fundamental reconocer la diversidad de desafíos que pueden surgir en este tipo de iniciativas. La Tabla 12 presenta un compendio de estos desafíos, que van desde la falta de información precisa hasta la ausencia de estándares BIM.

Tabla 12

Desafíos al desarrollar modelos BIM para gestión de activos

Desafíos al desarrollar modelos BIM para gestión de mantenimiento de edificaciones existentes.	Citas
Falta de Información Precisa y Actualizada.	(Atabay et al., 2020; Desbalo et al., 2024; McArthur, 2015)
Ausencia de Planes de Mantenimiento a Largo Plazo.	(H. Alavi & Forcada, 2022; Atabay et al., 2020; Desbalo et al., 2024)
Falta de Colaboración y Comunicación Efectiva.	(Desbalo et al., 2024; Moreno et al., 2022)
Falta de Capacitación y Concientización del Personal.	(Al Bunni & Shayesteh, 2019; H. Alavi & Forcada, 2022; Desbalo et al., 2024)
Falta de Normalización y Estandarización de Procesos y Datos.	(Atabay et al., 2020; McArthur, 2015)

Nota. Compendio de los principales desafíos para desarrollar modelos BIM para gestión de mantenimiento, como la falta de información precisa y de estandarización.

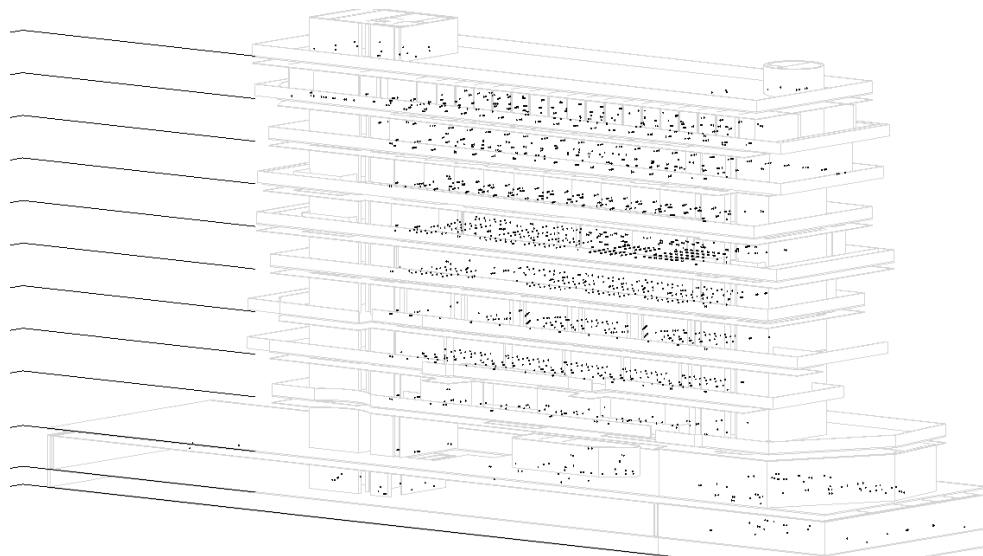
La presente pasantía de investigación documenta varios desafíos significativos que se han identificado en el proceso de modelado BIM, centrando la atención en dos aspectos fundamentales: la falta de información precisa y actualizada, así como la falta de normalización. En primer lugar, la carencia de datos confiables ha llevado a discrepancias entre los modelos y la realidad constructiva, lo que dificulta una gestión eficiente del mantenimiento de las edificaciones. Por otro lado, la ausencia de estándares claros en el manejo de la información y la comunicación entre los diferentes actores involucrados ha generado confusiones y ha obstaculizado la implementación efectiva del proceso BIM. A continuación, se describen estos desafíos en detalle, destacando su impacto en el desarrollo del proyecto.

3.4.1 Falta de Información Precisa y Actualizada

En las zonas accesibles, se pudo observar que los planos de salidas de tomas y los planos eléctricos de las Figuras 8 y 9, incluían algunos elementos que no estaban presentes en el edificio. Estas discrepancias se evidenciaron al realizar una visita de campo, pero debido a las restricciones de tiempo del proyecto, no fue posible realizar una medición detallada de todos los elementos para actualizar la información de los modelos 3D.

Figura 8

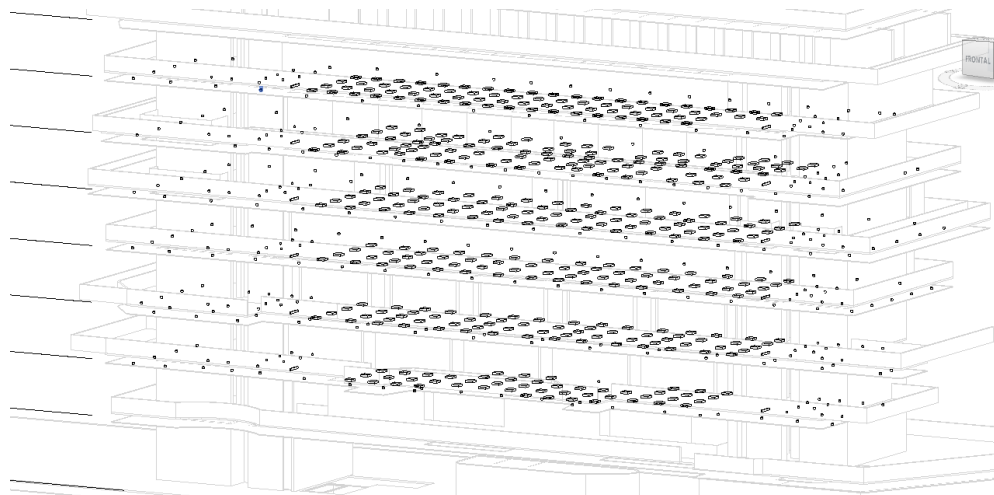
Modelo 3D - Salidas de Tomas del edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Humanas



Nota. Modelo 3D que indica la distribución de salidas de tomas eléctricas en el edificio, basado en planos.

Figura 9

Modelo 3D - Iluminarias del edificio nuevo de la Facultad de Ciencias Humanas

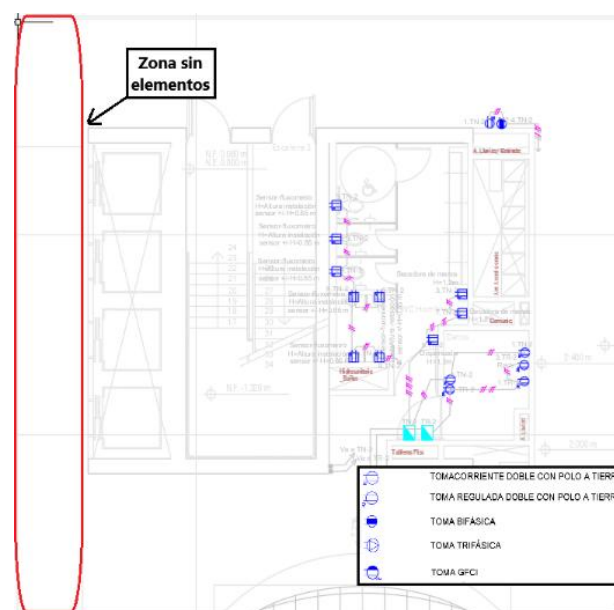


Nota. Modelo 3D que representa la ubicación y distribución de las luminarias en el edificio, según información de planos.

Al analizar la Figura 10, que muestra el plano 2D del primer piso del edificio en la zona occidental, se observa que en la parte trasera no se visualizan elementos azules, que representan las salidas de las tomas. Sin embargo, en la Figura 11 se aprecia la presencia de estos elementos, lo que sugiere una discrepancia entre ambas representaciones.

Figura 10

Plano 2D - Segundo piso del edificio en la zona occidental



Nota. Detalle del plano 2D (zona occidental, segundo piso) que evidencia la ausencia de representación de salidas de tomas en un muro específico.

Figura 11

Salida de toma del segundo piso del edificio en la zona occidental



Nota. Ilustraría la presencia real de tomas, contrastando con el plano de la Figura 10.

3.4.2 Falta de estandarización en los procesos

La implementación del BIM en la gestión de mantenimiento presenta una serie de desafíos que deben ser considerados para optimizar su efectividad. En primer lugar, la carencia de información adecuada se ha manifestado como un obstáculo primordial (Desbalo et al., 2024; McArthur, 2015). Muchas veces, los datos disponibles son insuficientes o no se encuentran actualizados, lo que puede resultar en decisiones erróneas y en una gestión ineficiente de los recursos. Para abordar este desafío, es esencial establecer protocolos claros para la recolección y actualización de datos, así como fomentar la colaboración entre las distintas disciplinas involucradas en el proceso de mantenimiento, y de esta manera estandarizando los procesos (Desbalo et al., 2024).

La falta de normalización en los estándares aplicados dentro del entorno BIM puede llevar a disparidades en la forma en que se modela la información y cómo se interpretan los datos entre

los diferentes actores del proyecto. Por esta razón, es fundamental que se promuevan y se adopten estándares internacionales que faciliten la interoperabilidad y la consistencia en la gestión de la información.

4. Conclusiones

Esta investigación demuestra que las estructuras de clasificación son esenciales para optimizar la gestión de activos y el mantenimiento en edificaciones mediante la metodología BIM. La implementación de COBie como estándar de clasificación mejora la eficiencia al ofrecer una estructura flexible y estandarizada que organiza la información de mantenimiento, reduce costos operativos y facilita la interoperabilidad entre equipos. Este estándar se identificó como el más adecuado para el caso de estudio debido a su capacidad para gestionar datos no geométricos y apoyar la planificación operativa en el edificio de la Facultad de Ciencias Humanas II.

Además, se estableció que el nivel de desarrollo LOD 350 es óptimo para este proyecto, al proporcionar un equilibrio entre detalle geométrico y viabilidad práctica, permitiendo una gestión efectiva de la información para presupuestos de mantenimiento. Así, la combinación de BIM, un LOD adecuado y una estructura de clasificación como COBie resulta clave para mejorar la sostenibilidad y eficiencia en el mantenimiento de instalaciones educativas.

Un desafío significativo observado durante el estudio fue la falta de información precisa y actualizada en los planos de sistemas clave, lo que generó discrepancias entre los modelos 3D y la realidad constructiva, afectando la precisión del modelo BIM. Asimismo, la ausencia de estandarización en los procesos de recolección y manejo de datos dificulta la colaboración entre los actores involucrados, evidenciando la necesidad de protocolos claros y capacitación del personal. Estos inconvenientes subrayan la importancia de invertir en la calidad de los datos y en la normalización para garantizar el éxito de la metodología BIM en la gestión de mantenimiento.

5. Recomendaciones

Para optimizar la gestión de activos y mantenimiento mediante BIM, se recomienda priorizar la selección de estándares de clasificación como COBie, dada su capacidad para estructurar datos de manera flexible y estandarizada. Este sistema mejora la organización de la información, reduce costos operativos y facilita la planificación del mantenimiento, como se observó en el caso de estudio. Se sugiere implementar COBie desde las etapas iniciales del proyecto, asegurando la captura de datos no geométricos relevantes para la operación.

Respecto al nivel de desarrollo (LOD), se aconseja adoptar LOD 350 como estándar para proyectos educativos similares, ya que equilibra detalle y accesibilidad, permitiendo una gestión eficiente de la información sin excesiva complejidad, según los resultados obtenidos. Además, se recomienda establecer protocolos claros para la recolección y actualización de datos, abordando la falta de información precisa identificada, mediante la digitalización temprana de planos y la colaboración interdisciplinaria. Finalmente, capacitar al personal en el uso de BIM y COBie es fundamental para superar las barreras de estandarización y garantizar la interoperabilidad, asegurando así el éxito a largo plazo de la metodología en la gestión de mantenimiento.

Referencias Bibliográficas

- Al Bunni, A., & Shayesteh, H. (2019). Refurbishment of UK school buildings: Challenges of improving energy performance using BIM. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 294(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/294/1/012073>
- Alavi, H., & Forcada, N. (2022). User-Centric BIM-Based Framework for HVAC Root-Cause Detection. *Energies*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/en15103674>
- Alavi, S. H., & Matheu, N. F. (2019). BIM LOD for facility management tasks. *Proceedings of the European Conference on Computing in Construction*, 154–163. <https://doi.org/10.35490/EC3.2019.187>
- Alberto, J., & Mogollón, D. (n.d.). *PRESUPUESTACIÓN MANTENIMIENTO EDIFICACIONES BIM Presentado ante: Comité asesor de posgrados de la Escuela de Ingeniería Civil*.
- Ali, M., Mohd Ismail, K., Syakirin, K., Hashim, H.-Y., Suhaimi, S., Muhammad, &, & Mustafa, H. (2018). *Journal of the Malaysian Institute of Planners VOLUME* (Vol. 16).
- Altaf, M., Alaloul, W. S., Khan, S., Liew, M. S., Musarat, M. A., & Mohsen, A. A. (2021). Value Analysis in Construction Projects with BIM implementation: A Systematic Review. *2021 International Conference on Decision Aid Sciences and Application, DASA 2021*, 51–56. <https://doi.org/10.1109/DASA53625.2021.9682253>
- Altaf, M., Alaloul, W. S., Musarat, M. A., Bukhari, H., Saad, S., & Ammad, S. (2020, November 11). BIM Implication of Life Cycle Cost Analysis in Construction Project: A Systematic Review. *2020 2nd International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs*. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF51154.2020.9319970>
- Atabay, S., Pelin Gurgun, A., & Koc, K. (2020). Incorporating BIM and Green Building in Engineering Education: Assessment of a School Building for LEED Certification. *Practice*

- Periodical on Structural Design and Construction*, 25(4).
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)sc.1943-5576.0000528](https://doi.org/10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000528)
- Banfi, F. (2016). Building information modelling – A novel parametric modeling approach based on 3D surveys of historic architecture. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10058 LNCS, 116–127. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48496-9_10
- Cerezo-Narváez, A., Pastor-Fernández, A., Otero-Mateo, M., & Ballesteros-Pérez, P. (2020). Integration of cost and work breakdown structures in the management of construction projects. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/app10041386>
- Congiu, E., Quaquero, E., Rubiu, G., & Vacca, G. (2024). Building Information Modeling and Geographic Information System: Integrated Framework in Support of Facility Management (FM). *Buildings*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/buildings14030610>
- Desbalo, M. T., Woldeesenbet, A. K., Habtu, T. M., Bargstädt, H. J., & Yehualaw, M. D. (2024). BIM-enabled built-asset information management conceptual framework: A case of public university buildings in Addis Ababa, Ethiopia. *Heliyon*, 10(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33026>
- Dezen Kempter E. (2021). *Lecture Notes in Civil Engineering Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. <http://www.springer.com/series/15087>
- Dias, P., & Ergan, S. (2016). *The Need for Representing Facility Information with Customized LOD for Specific FM Tasks*.
- Farias, T. M., Roxin, A., & Nicolle, C. (2015). COBieOWL, an OWL Ontology based on COBie standard. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial*

- Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics*), 9415, 361–377.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-26148-5_24
- Florez, L., & Afsari, K. (2018). *Integrating Facility Management Information into Building Information Modeling using COBie: Current Status and Future Directions*.
<http://nrl.northumbria.ac.uk/id/eprint/36365/>
- Forcael, E., Puentes, C., García-Alvarado, R., Opazo-Vega, A., Soto-Muñoz, J., & Moroni, G. (2023). Profile Characterization of Building Information Modeling Users. *Buildings*, 13(1).
<https://doi.org/10.3390/buildings13010060>
- Giwa, F., Omotayo, T., Tzortzopoulos, P., & Malalgoda, C. (2024). *BIM-Enabled Claims Management Concept: Implications for Dispute Avoidance and Management*.
- Götz, S., Fehn, A., Rohde, F., & Kühn, T. (2020). Model-driven software engineering for construction engineering: Quo vadis? *Journal of Object Technology*, 19(2).
<https://doi.org/10.5381/JOT.2020.19.2.A2>
- Halmetoja, E., & Lepkova, N. (2022). Utilising Building Information Models in Facility Maintenance and Operations. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, 33(5), 12351–12377. <https://doi.org/10.18400/tekderg.748397>
- Hossain, M. A., & Yeoh, J. K. W. (2018). BIM for Existing Buildings: Potential Opportunities and Barriers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 371(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/371/1/012051>
- Ibrahim, H. S., Hashim, N., & Ahmad Jamal, K. A. (2019). The Potential Benefits of Building Information Modelling (BIM) in Construction Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 385(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/385/1/012047>

- Johannesson, P., & Perjons, E. (2021). An introduction to design science. In *An Introduction to Design Science*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-78132-3>
- Kumar, V., & Lin, E. T. A. (2020). Conceptualizing “COBieEvaluator”: A rule based system for tracking asset changes using COBie datasheets. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(5), 1093–1118. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2019-0216>
- Kumar, V., & Teo, E. A. L. (2021a). Perceived benefits and issues associated with COBie datasheet handling in the construction industry. *Facilities*, 39(5–6), 321–349. <https://doi.org/10.1108/F-09-2019-0100>
- Kumar, V., & Teo, E. A. L. (2021b). Perceived benefits and issues associated with COBie datasheet handling in the construction industry. *Facilities*, 39(5–6), 321–349. <https://doi.org/10.1108/F-09-2019-0100>
- Liu, H., Lu, M., & Al-Hussein, M. (2016). Ontology-based semantic approach for construction-oriented quantity take-off from BIM models in the light-frame building industry. *Advanced Engineering Informatics*, 30(2), 190–207. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.03.001>
- Matarneh, S. T., Danso-Amoako, M., Al-Bizri, S., Gaterell, M., & Matarneh, R. T. (2020). *BIM for FM Developing information requirements to support facilities management systems*.
- McArthur, J. J. (2015). A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability. *Procedia Engineering*, 118, 1104–1111. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.450>
- McGlinn, K., Wagner, A., Pauwels, P., Bonsma, P., Kelly, P., & O’Sullivan, D. (2019). Interlinking geospatial and building geometry with existing and developing standards on the

- web. *Automation in Construction*, 103, 235–250.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.026>
- 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>
- Omayar, H. M., & Selim, O. (2022). The interaction of BIM And FM through sport projects life cycle (case study: Sailia training site in Qatar). *HBRC Journal*, 18(1), 31–51.
<https://doi.org/10.1080/16874048.2021.2018170>
- Pinto, M., Sampaio, Z., Ruaro, J., & Milani, C. (2024). BIM-FM Integration Tools: Comparative Analysis. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 444, 17–29. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48461-2_2
- Saleeb, N., Marzouk, M., & Atteya, U. (2018). A comparative suitability study between classification systems for bim in heritage. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13(1), 130–138. <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N1-130-138>
- Scherer, R. J., & Schapke, S. E. (2011). A distributed multi-model-based Management Information System for simulation and decision-making on construction projects. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 582–599. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.08.007>
- Shing-Tao Chang, A., & Tsai, Y.-W. (2012). *Engineering Information Classification System*.
<https://doi.org/10.1061/ASCE0733-93642003129:4454>
- Sibenik, G., & Kovacic, I. (2021). Interpreted open data exchange between architectural design and structural analysis models. *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 39–57. <https://doi.org/10.36680/J.ITCON.2021.004>

- Soltani, M., Raissi Dehkordi, M., Eghbali, M., Samadian, D., & Salmanmohajer, H. (2023). Influence of Infill Walls on Resilience Index of RC Schools Using the BIM Analysis and FEMA P-58 Methodology. *International Journal of Civil Engineering*, 21(5), 711–726. <https://doi.org/10.1007/s40999-022-00777-2>
- Suprun, E., Mostafa, S., Stewart, R. A., Villamor, H., Sturm, K., & Mijares, A. (2022). Digitisation of Existing Water Facilities: A Framework for Realising the Value of Scan-to-BIM. *Sustainability (Switzerland)*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/su14106142>
- Waqar, A., Shafiq, N., Othman, I., Alqahtani, F. K., Alshehri, A. M., Sherif, M. A., & Almujiabah, H. R. (2024). Examining the impact of BIM implementation on external environment of AEC industry: A PEST analysis perspective. *Developments in the Built Environment*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100347>
- Yola, L., Nangkula, U., Gbenga, O., Mokhtar, A., & Editors, A. (2020). *Lecture Notes in Civil Engineering Sustainable Architecture and Building Environment Proceedings of ICSDEMS 2020*. <http://www.springer.com/series/15087>
- Yoon, S. (2024). Virtual Building Models in built environments. *Developments in the Built Environment*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100453>

Apéndices

El apéndice está adjunto en la base de datos de la biblioteca UIS

Excel's que contienen las ecuaciones de búsqueda, los datos de títulos, abstract, la lista de los artículos que finalmente quedaron y se usaron, entre otros datos relevantes.

Apéndice A: Excel sobre la Lista de los problemas más relevantes al desarrollar un modelado BIM para presupuestos de mantenimiento.

Apéndice B: Excel sobre los Sistemas de clasificación de información para presupuestos de mantenimiento más relevantes en la industria de la construcción.

Apéndice C: Excel sobre los Estándares de clasificación de información para presupuestos de mantenimiento más relevantes en la industria de la construcción.

Apéndice D: Excel sobre Modelo 3D con el nivel de desarrollo (LOD) necesario para gestionar información de presupuestación del mantenimiento de edificaciones.

Desarrollo de los modelos arquitectónico, estructural, tomas e iluminarias BIM del nuevo edificio de la Facultad de ciencias Humanas.

Apéndice E: Modelo Arquitectónico.

Apéndice F: Modelo Estructural.

Apéndice G: Modelo Salidas de Tomas.

Apéndice H: Modelo Iluminarias.