



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

Área Académica de Ingeniería y Arquitectura

Licenciatura en Ingeniería Civil

Tesis

**“Implementación BIM para la Comparación de
Costos de Obra frente al Método de Precios
Unitarios: Estudio de Caso”**

para obtener el título de
Licenciado en Ingeniería Civil

Presenta

Ingrid Jocelyn Ocaña Báez

No. de cuenta:

332788

Director de tesis

Dr. Eber Pérez Isidro

Codirector de tesis

Dr. Humberto Iván Navarro Gómez

Asesores de tesis

Mtro. Mauricio Guerrero Rodríguez

Mtro. Francisco Delgado Reyes

Mineral de la Reforma, Hidalgo, México

Mayo 22, 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Dirección

Office of the Director

Mineral de la Reforma, Hgo., a 18 de mayo de 2026

Número de control: ICBI-D/936/2026

Asunto: Autorización de impresión.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH

Con Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio, le comunico que el Jurado asignado a la egresada de la Licenciatura en Ingeniería Civil **Ingrid Jocelyn Ocaña Báez**, quien presenta el trabajo de titulación **"Implementación BIM para la comparación de costos de obra frente al método de precios unitarios: estudio de caso"**, ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Humberto Iván Navarro Gómez

Secretario: Dr. Eber Pérez Isidro

Vocal: Mtro. Francisco Delgado Reyes

Suplente: Dr. Jesús Emmanuel Cerón Carballo

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Gabriel Vergara Rodríguez
Director del ICBI



GVR/MMM

"Amor, Orden y Progreso"



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo
Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo,
México. C.P 42184
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40001
direccion_icbi@uah.edu.mx, vergara@uah.edu.mx

uah.edu.mx

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo constante, amor y comprensión. Especialmente a mi papá, cuya sabiduría, dedicación y ejemplo siempre me han guiado.

AJOC

A esa persona que siempre ha estado a mi lado, brindándome su apoyo incondicional, su paciencia y su amor. Gracias por ser mi mayor motivación y por creer en mí.

JWME

Agradecimientos

En primer lugar, le agradezco a mi familia, que siempre me ha brindado su apoyo incondicional para cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

Son muchos los docentes que han formado parte de mi camino universitario, y a todos ellos quiero agradecerles por transmitirme los conocimientos necesarios para estar aquí hoy. Sin ustedes los conceptos serían solo palabras, y las palabras ya sabemos quién se las lleva, el viento

Por último, agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, que tanto me ha exigido, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título. Agradezco a cada directivo por su trabajo y su gestión, sin lo cual no existirían las bases ni las condiciones para adquirir conocimientos.

Índice

Índice.....	4
Glosario de términos	6
Índice de figuras	9
Índice de tablas.....	10
Resumen.....	11
Abstract.....	12
1 Introducción	13
2 Antecedentes	16
2.1 Norma ISO 19650.....	18
3 Planteamiento del problema	21
4 Objetivos, preguntas de investigación e hipótesis	23
4.1 Objetivo general.....	23
4.2 Objetivos específicos	23
4.3 Pregunta de investigación	23
4.4 Hipótesis	24
5 Justificación.....	25
6 Método.....	27
6.1 Tipo de estudio.....	27
6.2 Variables e indicadores de estudio	27
6.3 Instrumentos	28
6.4 Procedimiento	29
7. Marco teórico	33
7.1 Estado actual del conocimiento reciente.....	33
7.2 Building Information Modeling (BIM)	36
7.3 Dimensiones BIM.....	39
7.4 Nivel de detalle (LOD).....	39
7.5 Roles BIM.....	40
7.6 Herramientas BIM	41
7.7 Plan de ejecución BIM (BEP).....	42
7.8 Enfoque tradicional vs enfoque colaborativo.....	43

8	Propuesta de solución	46
8.1	Implementación de la metodología BIM.....	46
8.2	<i>Elaboración del Plan de Ejecución BIM (BEP).</i>	48
8.3.	<i>Integración digital para la estimación de obra: modelado 3D, 4D y 5D.</i>	50
8.4	<i>Flujograma de implementación BIM</i>	52
8.5	<i>Estimación de obra con soporte digital</i>	53
8.6	<i>Entrega de resultados y protocolos de revisión</i>	54
8.7	Resultados de la propuesta implementada	55
9.	Resultados	56
9.1	Análisis de resultados	56
10	Conclusiones.....	64
Anexos		66
11	Bibliografía.....	74

Glosario de términos

<i>Término</i>	<i>Definición</i>
<i>BIM</i>	Building information modeling. Metodología de trabajo colaborativa que integra la información geométrica, técnica, temporal, económica y operativa de un proyecto de construcción en un modelo digital tridimensional.
<i>Modelo 3D</i>	Representación digital tridimensional de un proyecto arquitectónico, estructural o de instalaciones. Es la primera dimensión de BIM y base para añadir información
<i>4D (Tiempo)</i>	Dimensión de BIM que vincula el modelo 3D con el cronograma de actividades. Permite simular la secuencia constructiva en el tiempo.
<i>5D (Costos)</i>	Dimensión del modelo BIM que incluye la estimación automatizada y vinculada al modelo de costos de los elementos constructivos.
<i>Precios Unitarios</i>	Método tradicional de presupuestación basado en el cálculo del costo de cada concepto de obra a partir de los insumos (mano de obra, materiales, maquinaria y herramientas).
<i>Metrado</i>	Proceso de cuantificar las dimensiones, los volúmenes o las unidades de cada elemento constructivo necesario para un proyecto. En BIM, se genera automáticamente a partir del modelo.
<i>LOD</i>	Level of Development (nivel de detalle en español). Grado de precisión gráfica e información de un elemento en el modelo BIM. Va desde LOD 100 (básico) hasta LOD 500 (model as-built o construido).
<i>BEP</i>	BIM Execution Plan (Plan de ejecución BIM en español). Documento que establece cómo se implementará el BIM en un proyecto: roles, software, procesos, modelos a entregar y estándares de información.

<i>Término</i>	<i>Definición</i>
<i>SDI</i>	Solicitud de información. Documento inicial emitido por el cliente donde se especifican las necesidades, objetivos, estándares, entregables y nivel de detalle esperado del proyecto
<i>CDE</i>	Common Data Environment. Plataforma digital en la que se almacenan, gestionan y comparten los archivos y modelos BIM de forma controlada y colaborativa.
<i>ISO</i>	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización en español)
<i>ISO 19650</i>	Norma internacional que establece los principios para la organización y gestión de la información en proyectos que utilizan BIM a lo largo de todo el ciclo de vida del activo.
<i>BIM Manager</i>	Responsable de coordinar, planificar y supervisar la implementación adecuada de BIM en un proyecto. Define estándares y flujos de trabajo, y verifica su cumplimiento.
<i>Coordinador BIM</i>	Encargado de integrar los modelos de diferentes disciplinas, detectar interferencias y asegurar la interoperabilidad entre los software.
<i>Modelador BIM</i>	Profesional que desarrolla el modelo digital en software especializado, incorporando la geometría y los datos técnicos de cada elemento.
<i>Entorno colaborativo</i>	Forma de trabajo en BIM en la que arquitectos, ingenieros, constructores y demás involucrados comparten y actualizan información en tiempo real.
<i>Cronograma 4D</i>	Planificación de actividades que integra el tiempo y un modelo 3D, lo que permite visualizar cómo se construirá el proyecto paso a paso.
<i>Generador de obra</i>	Documento en el que se registran las mediciones específicas de cada concepto de obra. En BIM estos datos se extraen automáticamente.

<i>Término</i>	<i>Definición</i>
<i>Sobrecosto</i>	Incremento del costo total de un proyecto respecto al presupuesto previsto, generalmente causado por errores de diseño, mala planificación o cambios no previstos.
<i>Modelo As-Built</i>	Modelo final actualizado (<i>LOD 500</i>) que refleja con precisión cómo se construyó el proyecto, incluyendo las modificaciones realizadas durante la obra.

Índice de figuras

Figura 1. Cronograma evolutivo de BIM. Eastman et al. (2008), adaptada por el autor.	18
Figura 2. Flujograma para la implementación BIM.	20
Figura 3. Participación de empresas en proyectos públicos relacionados con BIM. BIM Task Group México (2023). Adaptada por el autor.	22
Figura 4. Principales obstáculos a las iniciativas públicas de BIM. KonstruEdu (2024). Adaptada por el autor.	23
Figura 5. Involucrados en la metodología BIM. Trejo Carvajal (2018). Adaptada por el autor.	38
Figura 6. Niveles de desarrollo (LOD). KonstruEdu (2024).	41
Figura 7. Software BIM (herramientas BIM). KonstruEdu (2024).	43
Figura 8. Enfoque tradicional. Elaboración propia con base en Eastman et al. (2008).	45
Figura 9. Enfoque integral. Elaboración propia con base en Wang y Chen (2023).	45
Figura 10. ¿Qué es BIM? KonstruEdu (2024).	46
Figura 11. Flujograma para la implementación BIM. Elaboración propia.	48
Figura 12. Cronograma de obra y ruta crítica en MS Project. Elaboración propia.	58
Figura 13. Metrados de obra. Elaboración propia.	59
Figura 14. Distribución del tiempo con BIM. Elaboración propia.	61

Índice de tablas

Tabla 1. Hallazgos encontrados.	57
Tabla 2. Operacionalización de variables e indicadores.	29
Tabla 3. Síntesis comparativa de investigaciones recientes indexadas sobre BIM, costos y programación.	36

Resumen

Esta investigación comparó la estimación de costos del proyecto de rehabilitación de un centro de acopio pesquero mediante el método tradicional de precios unitarios y la metodología BIM 5D. El objetivo consistió en determinar si la integración de un modelo 3D-4D-5D mejoró la precisión de los metrados, la trazabilidad presupuestal y la eficiencia en la actualización de la información del proyecto. Metodológicamente, el estudio tuvo un enfoque cuantitativo, un diseño no experimental, transversal y comparativo, y se desarrolló a partir de un caso de estudio. Se elaboró el presupuesto tradicional, se modeló digitalmente el proyecto y se contrastaron cantidades, importes y tiempos de actualización. Los resultados mostraron que BIM produjo metrados más consistentes con la geometría del proyecto, redujo la discrepancia presupuestal global en 11.43 % respecto del método tradicional y fortaleció la coordinación entre cronograma, modelo y costos. Asimismo, el análisis operativo mostró una mejora en la actualización de la información presupuestaria; no obstante, el valor porcentual de tiempo se interpretó como un resultado propio del caso de estudio y no como un parámetro universal extrapolable. Se concluyó que la implementación de BIM 5D fortaleció la confiabilidad de la estimación de costos y constituyó una alternativa técnicamente superior para la gestión de proyectos de rehabilitación. La aportación de esta tesis radicó en ofrecer evidencia aplicada, en un caso real de rehabilitación, de que la integración BIM 3D-4D-5D mejora la trazabilidad entre cantidades, cronograma y presupuesto frente al método tradicional de precios unitarios.

Palabras clave: BIM 5D, estimación de costos, metrados, presupuesto de obra, gestión constructiva.

Abstract

This research compared cost estimates for the rehabilitation project of a fish collection center using the traditional unit-price method and BIM 5D. The aim was to determine whether integrating a 3D-4D-5D model improved quantity-take-off accuracy, budget traceability, and the efficiency of information updates. Methodologically, the study employed a quantitative approach with a non-experimental, cross-sectional, comparative case study design. A conventional budget was prepared, the project was digitally modeled, and quantities, amounts, and update times were contrasted. The results showed that BIM produced quantity takeoffs that were more consistent with the project geometry, reduced the overall budget discrepancy by 11.43% compared with the traditional method, and strengthened the coordination among schedule, model, and costs. The operational analysis also showed an improvement in budget-update efficiency; however, the percentage associated with time was interpreted as a case-specific result rather than as a universally generalizable value. It was concluded that BIM 5D strengthened the reliability of cost estimation and represented a technically superior alternative for managing rehabilitation projects. The main contribution of this thesis was to provide applied evidence, through a real rehabilitation case, that BIM 3D-4D-5D integration improves traceability among quantities, schedule, and budget compared with the traditional unit-price method.

Keywords: BIM 5D, cost estimation, quantity takeoff, construction budget, construction management.

1 Introducción

En las últimas décadas, la industria de la construcción ha experimentado una transformación acelerada, impulsada por la necesidad de mejorar la coordinación entre disciplinas, reducir los errores derivados de la fragmentación documental y optimizar la estimación de costos en proyectos cada vez más complejos. Este reto ha llevado a una transición gradual de las prácticas tradicionales hacia metodologías digitales que permiten gestionar de manera integrada el diseño, la planificación y la ejecución de obras.

Diversos estudios han mostrado que la digitalización favorece la calidad de los procesos constructivos al ofrecer modelos coherentes, actualizables y basados en datos, que mejoran la precisión de los análisis y disminuyen la probabilidad de errores en la toma de decisiones (Eastman et al., 2008; Azhar, 2011). Además, el uso de modelos tridimensionales enriquecidos con información técnica ha demostrado ser una herramienta eficaz para fortalecer la coordinación, optimizar la gestión de recursos y mejorar el control del ciclo de vida del proyecto (Succar, 2009; Gharaibeh et al., 2024; Shehadeh et al., 2024; Castañeda et al., 2024).

En este contexto, evaluar la eficacia de estas herramientas no solo es relevante, sino esencial para determinar su verdadera contribución a la ingeniería civil y su impacto en la gestión de costos, una de las áreas más críticas y sensibles en la administración de proyectos constructivos.

En años recientes, el sector de la construcción ha enfrentado una presión creciente para ejecutar proyectos con mayor precisión técnica, menor margen de error y mejor control de los recursos. Esta exigencia ha intensificado la búsqueda de herramientas que permitan integrar el diseño, la programación y los costos en un mismo entorno de trabajo,

especialmente en proyectos en los que la coordinación documental y la confiabilidad del presupuesto son determinantes para la toma de decisiones (Michalski et al., 2022; Amoh & Fare, 2024).

En este contexto, los actores de la construcción están adoptando herramientas innovadoras que permiten desarrollar métodos de estimación más completos, flexibles y eficientes, como los basados en el *Building Information Modeling* (BIM) (Michalski et al., 2022).

A pesar de sus ventajas, la adopción de BIM no se ha generalizado de manera homogénea en la industria, debido a barreras asociadas a la capacitación, la inversión inicial, la estandarización de procesos y la gestión del cambio organizacional (Alaboud & Alshahrani, 2023; Kineber et al., 2023).

Muchos profesionales continúan utilizando métodos tradicionales (KonstruEdu, 2024), lo que plantea interrogantes sobre la efectividad real de BIM en contextos específicos. La falta de estudios comparativos sólidos y la necesidad de una mayor comprensión teórica de las diferencias entre ambos enfoques motivaron la presente investigación.

Para estructurar el análisis del caso, la investigación retomó las áreas del conocimiento propuestas por el Project Management Institute, con énfasis en la gestión de costos y su relación con el alcance, el cronograma y la calidad (Project Management Institute, 2013). A partir de ese marco, el estudio se concentró en la estimación, presupuestación y control de costos, y evaluó comparativamente el tiempo requerido para elaborar la documentación técnica, la coherencia entre los generadores y el presupuesto, y la precisión de los resultados obtenidos con cada método.

En síntesis, la literatura evidenció que la metodología BIM transformó la forma en que se planificaron y ejecutaron los proyectos. Investigaciones recientes mostraron que la

integración de BIM 5D mejoró la confiabilidad de la estimación, redujo las desviaciones presupuestales y fortaleció la coordinación entre cantidades, costos y programación, especialmente cuando el modelo se vinculó con reglas de cuantificación, propiedades semánticas y criterios explícitos de control (Park & Yun, 2023; Rashidi et al., 2024; Alathamneh et al., 2024; Valinejadshoubi et al., 2024).

En el contexto mexicano, la Encuesta Nacional BIM 2023 también confirmó que la adopción avanzó de manera desigual y que persistieron retos de capacitación, estandarización y cambio organizacional (BIM Task Group México, 2023).

A nivel internacional, la adopción de BIM ha demostrado ser efectiva en la rehabilitación de infraestructuras, generando beneficios tangibles en tiempo y costos, y mejorando la colaboración entre los actores involucrados. Estos casos exitosos sirven de referencia para su implementación en Río Lagartos.

Finalmente, se reconoció que la innovación en la industria de la construcción en México avanzó con lentitud y que muchos profesionales aún privilegiaron los esquemas de trabajo tradicionales. Por ello, esta investigación buscó aportar evidencia sobre los beneficios del uso de BIM, con el propósito de mejorar la productividad e incrementar la utilidad de los proyectos.

En este sentido, la aportación de esta investigación consiste en demostrar, mediante un caso de aplicación de rehabilitación de infraestructura, que la implementación de la metodología BIM 3D–4D–5D no solo mejora la visualización del proyecto, sino que también incrementa la trazabilidad entre metrados, cronograma y presupuesto, reduce las inconsistencias de cuantificación y fortalece la confiabilidad de la estimación de costos frente al método tradicional de precios unitarios.

2 Antecedentes

En la búsqueda de mejorar la productividad en proyectos de construcción, diversos estudios han señalado que la reducción de desperdicios, la mejora continua y la coordinación temprana entre especialidades constituyen factores centrales para optimizar los procesos productivos (Michalski et al., 2022; Alnajjar et al., 2025a). En ese sentido, la filosofía Lean Construction ha servido de soporte para identificar pérdidas asociadas a las esperas, los reprocesos, los sobrecostos y la falta de sincronización entre actividades, al tiempo que ha promovido una visión más integrada de la producción en obra (Michalski et al., 2022; Alnajjar et al., 2025b). En la misma lógica de integración, el Modelado de Información de la Construcción se consolidó como una alternativa capaz de articular datos, actores y procesos desde las primeras fases del ciclo de vida del proyecto (Eastman et al., 2008; Succar, 2009). Su aplicación permitió consolidar información multidisciplinaria en un modelo tridimensional coordinado, facilitó la preconstrucción virtual y favoreció la detección temprana de incompatibilidades, así como una mejor gestión de recursos y decisiones de diseño (Gharaibeh et al., 2024; Shehadeh et al., 2024; Wang & Chen, 2023).

El concepto de Modelado de Información de la Construcción tiene sus raíces en los trabajos pioneros del profesor Charles Eastman durante la década de los setenta. Con el tiempo, esta idea evolucionó a través de diversas metodologías —como el *Building Description System*, *Graphical Language for Interactive Design*, *Building Product Model* y *Generic Building Model*— hasta consolidarse en el enfoque actual (Eastman et al., 2008) (Figura 1).

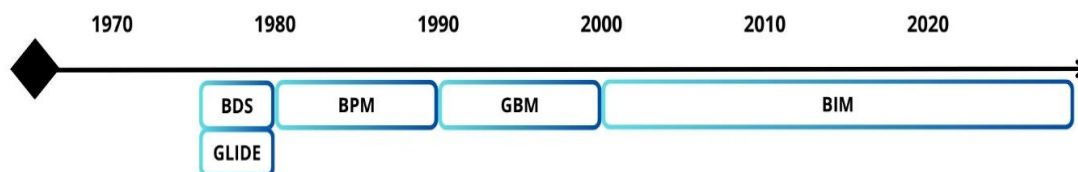


Figura 1. Cronograma evolutivo de BIM.

Fuente: Eastman et al. (2008), adaptada por el autor.

Su desarrollo ha sido tan significativo que su aplicación se ha extendido internacionalmente, desde Estados Unidos y Finlandia hasta Australia, y posteriormente a países europeos que han elaborado manuales y estándares para su implementación (EUBIM, 2018; Kassem & Succar, 2017). Hasta el 2005, se definía como el desarrollo y uso de software informático para simular la construcción y el funcionamiento de una instalación.

En 2006, se reconoció como una nueva metodología que mejora el rendimiento en la gestión y la ejecución de proyectos. En 2008 se adoptó una simulación basada en modelos tridimensionales (3D) de los componentes del proyecto, conectando e integrando la información necesaria en cada fase.

A nivel mundial, la tecnología BIM ha avanzado significativamente. En Europa, países como Alemania, España, Suecia e Inglaterra ya han desarrollado manuales (EUBIM, 2018) para impulsar el desarrollo. En Latinoamérica, países como Perú, Chile, Argentina, Uruguay y México también han comenzado a aplicarla. En México, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público publicó en 2018 la Estrategia para la Implementación del Modelado de Información de la Construcción, alineada con la Norma Internacional de Gestión de la Información ISO 19650 (SHCP, 2018) (véase la figura 1).

Aunque se registraron avances en los últimos años, aún persisten desafíos relacionados con la falta de estandarización nacional, la limitada capacitación en el sector y la necesidad de fortalecer el respaldo institucional para asegurar una adopción estratégica y sostenible. Estos obstáculos han sido documentados en distintos contextos de economías emergentes, donde se reportaron barreras recurrentes vinculadas con la cultura organizacional, la disponibilidad tecnológica, la capacitación y la percepción de los beneficios del modelado digital (Olanrewaju et al., 2020; Olanrewaju et al., 2021a; Al-Ashmori et al., 2020; KonstruEdu, 2024; Perera et al., 2023).

2.1 Norma ISO 19650

Según la International Organization for Standardization (ISO, 2018) y Building Smart Spain (2021), la serie ISO 19650 constituye la referencia internacional más utilizada para la implementación de BIM, centrada en el proceso de colaboración integral a lo largo de todo el ciclo de vida de los activos construidos. Esta norma sirve de marco global para gestionar la información desde la concepción de un proyecto, pasando por su construcción y explotación, hasta su eventual cierre.

El desarrollo y la publicación de la norma ISO 19650 ponen de manifiesto el compromiso de los organismos internacionales de normalización con la creación de un enfoque coherente y eficaz para la implementación de BIM a escala mundial.

La norma ISO 19650 se aplica a todos los agentes que intervienen en los distintos procesos de gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de un activo. Tal como se observa en la figura 2, en Building SMART Spain (2021), la gestión de la información se lleva a cabo durante las denominadas fases de desarrollo y de operación:

- Fase de desarrollo, es la parte del ciclo de vida durante la cual el activo se diseña, se construye y se entrega a la propiedad.
- Fase de operación, es la parte del ciclo de vida durante la cual el activo se utiliza, se opera y se mantiene.

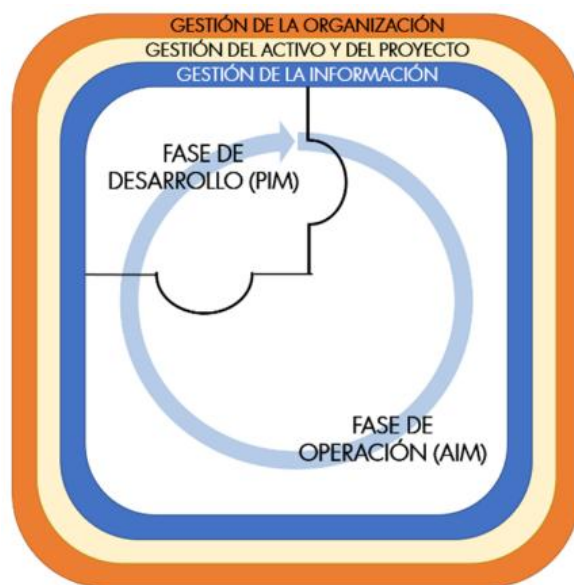


Figura 2. Flujograma para la implementación BIM.

Fuente: elaboración propia con base en Building Smart Spain (2021) e ISO (2018).

Dentro de esta norma se encuentran 5 partes que rigen cada paso para la metodología BIM; tales como:

- ISO 19650-1, Organización y digitalización de la información relativa a trabajos de edificación y de ingeniería civil, incluyendo BIM. Parte 1: Conceptos y principios (Concepts and Principles).
- ISO 19650-2, Organización y digitalización de la información relativa a trabajos de edificación y de ingeniería civil, incluyendo BIM. Parte 2: Fase de producción de los activos (Delivery phase of the assets).

- ISO 19650-3:2020, Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluida la BIM. Gestión de la información mediante la modelización de los datos de los edificios (Fase operativa de los activos).
- ISO 19650-4:2022, Organización y digitalización de información sobre edificación y obras de ingeniería civil, incluido el modelado de información de construcción (BIM) Gestión de la información mediante modelado de información de construcción.
- ISO 19650-5:2020, Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluida la BIM. Gestión de la información mediante la modelización de los datos de los edificios. Enfoque de seguridad en la gestión de la información.

De esta serie normativa, la investigación retomó principalmente la parte 2 de la ISO 19650, ya que allí se describen los principios para la entrega colaborativa de información, la movilización del equipo, la producción de datos y la validación de entregables en proyectos desarrollados con BIM (KonstruEdu, 2024; ISO, 2018).

En este estudio de caso se indagó en la ISO 19650-2, en la que se abordan la producción colaborativa de información y la entrega del modelo de información. La producción colaborativa de la información se llevó a cabo dentro del Entorno Común de Datos (CDE, por sus siglas en inglés, Common Data Environment), donde se crean los contenedores de información que conforman el modelo de información.

3 Planteamiento del problema

En el contexto analizado, la industria de la construcción atravesó una fase crítica en la gestión de proyectos: la estimación precisa de costos. Los métodos convencionales de estimación, como el de precios unitarios, se habían utilizado ampliamente para calcularlos; sin embargo, presentaron limitaciones importantes, como el tiempo requerido para su elaboración, la falta de integración entre disciplinas y la dificultad para adaptarse a cambios durante el desarrollo del proyecto.

Estas deficiencias pudieron derivar en sobre costos, mayores tiempos de planeación y tensiones entre las partes interesadas, lo que afectó negativamente la eficiencia y la rentabilidad del proyecto. En cuanto a la implementación de BIM, una de las principales barreras se relacionó con el capital humano, ya que la falta de capacitación y la resistencia al cambio limitaron su adopción en México.

Según la encuesta realizada por BIM Task Group México (2023), presentada en la Figura 3, solo el 67.1 % de los encuestados habían trabajado con BIM en el sector público.

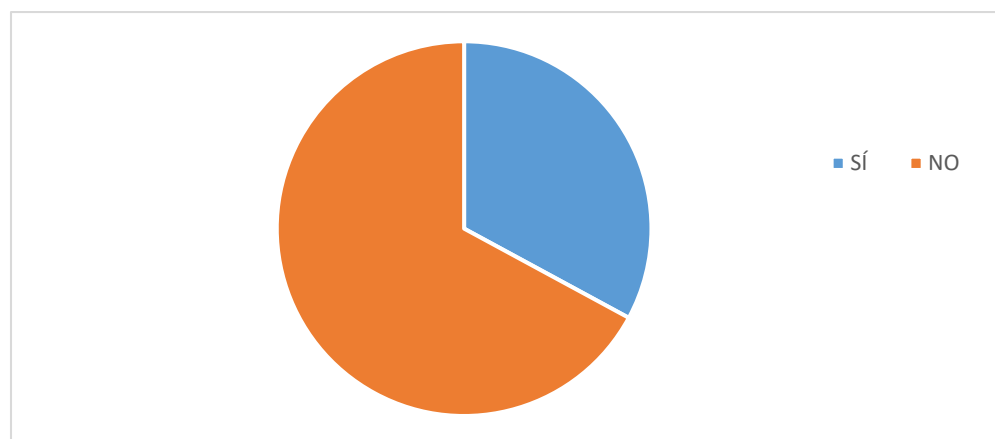


Figura 3. Participación de empresas en proyectos públicos relacionados con BIM.

Fuente: BIM Task Group México (2023). Adaptada por el autor.

Por otra parte, la evidencia sintetizada en la Figura 4 mostró que la resistencia al cambio, la falta de capacitación y las barreras organizacionales continuaron siendo obstáculos relevantes para la adopción de BIM en México (KonstruEdu, 2024).

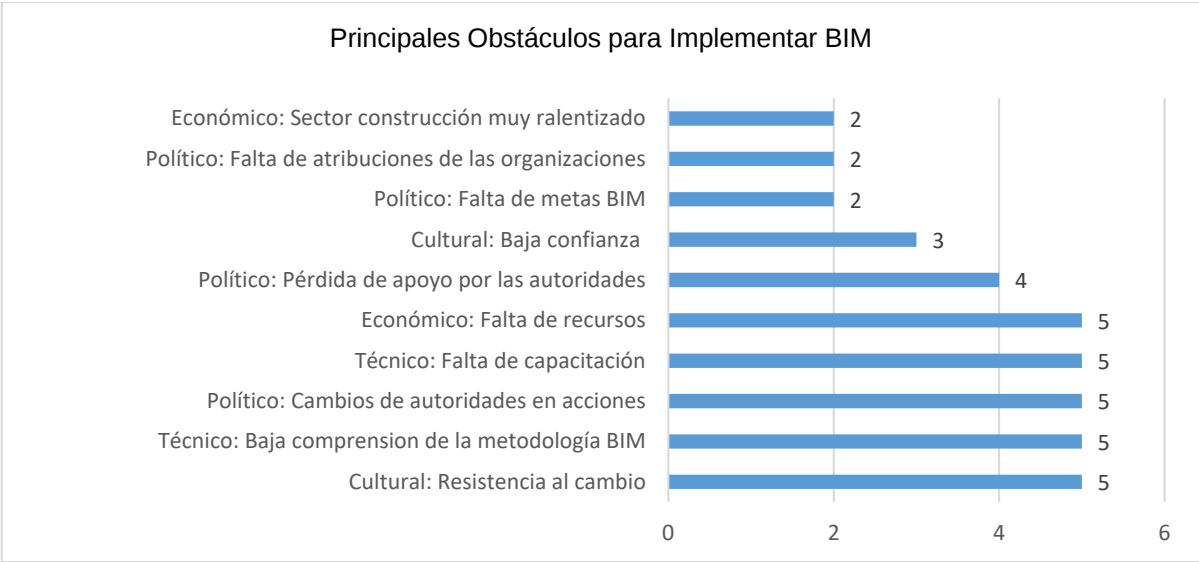


Figura 4. Principales obstáculos a las iniciativas públicas de BIM.

Fuente: KonstruEdu (2024). Adaptada por el autor.

Por ello, resultó importante subrayar los beneficios de cada método y aportar argumentos técnicos que favorecieran una implementación más sólida y factible de la metodología BIM en el contexto nacional.

4 Objetivos, preguntas de investigación e hipótesis

4.1 Objetivo general

Comparar la precisión en la estimación de costos del proyecto de rehabilitación de un centro de acopio pesquero, utilizando la metodología de modelado digital frente al método tradicional basado en precios unitarios, con el objetivo de determinar cuál de los dos enfoques proporciona mayores beneficios en términos de exactitud, eficiencia y gestión de costos.

4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la eficacia del proceso de elaboración y actualización de presupuestos mediante ambos métodos, considerando el tiempo necesario y la gestión de la información técnica.
- Analizar la precisión de los metrados obtenidos mediante cada enfoque y determinar su influencia en la estimación de costos del proyecto.

4.3 Pregunta de investigación

¿Qué diferencias existen en la eficiencia del proceso de elaboración y actualización de presupuestos al utilizar la metodología de modelado digital frente al método tradicional basado en precios unitarios?

¿En qué medida varía la exactitud de los metrados obtenidos mediante la metodología de modelado digital respecto a los metrados generados con el método tradicional, y cómo influye esta variación en la estimación final de costos del proyecto?

4.4 Hipótesis

Al comparar la aplicación del método de estimación BIM 5D con el método tradicional de precios unitarios, se produciría una menor discrepancia respecto del presupuesto total, una mayor precisión en los metrados por partida y un menor tiempo de actualización del presupuesto ante cambios de diseño.

Se consideró factible que la adopción de la metodología de modelado digital, definida como variable independiente, mejorara tanto el control de costos como la precisión de los metrados del proyecto, entendidos como variables dependientes.

Esta metodología permitió integrar en un único entorno la información técnica, los generadores de obra y los procesos de cuantificación. Tal integración permitió que los cambios en el modelo se reflejaran automáticamente en los presupuestos y en las cantidades de obra, promoviendo una interacción más coherente y en tiempo real entre el diseño y la estimación económica.

Como resultado, su uso podría reducir inconsistencias, minimizar errores manuales y aumentar la precisión en la elaboración y actualización de presupuestos, lo que, a su vez, reforzaría la gestión de costos durante la rehabilitación del centro de acopio pesquero.

5 Justificación

La rehabilitación de infraestructuras pesqueras resultó esencial para mejorar las condiciones operativas del servicio y fortalecer el aprovechamiento ordenado de los recursos vinculados a la actividad productiva. En este contexto, la planificación eficiente y la ejecución adecuada de las obras contribuyeron a reducir costos, minimizar desperdicios y elevar la calidad de las intervenciones.

La literatura ha identificado estos aspectos como desafíos persistentes en la industria de la construcción, debido a la fragmentación de la información y a la limitada coordinación entre disciplinas (Eastman et al., 2008; Gharaibeh et al., 2024; Shehadeh et al., 2024). Por ello, la adopción de una metodología BIM basada en el modelado tridimensional se justificó como una estrategia para visualizar con mayor precisión el proyecto, anticipar conflictos constructivos y disminuir los errores asociados a sobrecostos y reprocesos.

Los beneficiarios directos de esta investigación fueron los pescadores y habitantes de Río Lagartos, quienes requirieron un centro de acopio eficiente para potenciar la cadena de valor del sector pesquero y asegurar un manejo adecuado de la producción. Igualmente, los profesionales y las empresas del sector de la construcción se beneficiaron al contar con una herramienta que proporcionó información detallada sobre materiales y cantidades, mejoró la productividad y fomentó una colaboración más eficaz al permitir la actualización inmediata de los cambios en el diseño.

Además, la adopción de estas tecnologías estimuló la capacitación local y promovió la innovación en áreas con acceso limitado a procesos avanzados de gestión. Sin embargo, persistieron barreras asociadas con la inversión inicial en software y formación, la resistencia al cambio y la prevalencia de métodos tradicionales, obstáculos ampliamente documentados

en la literatura sobre la adopción de BIM (Olanrewaju et al., 2020; Kineber et al., 2023; Alaboud & Alshahrani, 2023).

Por lo tanto, en un entorno con márgenes cada vez más estrechos, la capacidad de estimar costos con mayor precisión y de gestionar eficazmente las modificaciones del proyecto resultó esencial para garantizar la rentabilidad, la eficiencia técnica y la satisfacción del cliente.

6 Método

6.1 Tipo de estudio

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, dado que analiza, mide y compara la precisión de los metrados y de la estimación de costos obtenidos mediante dos métodos distintos. El diseño es no experimental, transversal y comparativo, ya que no se manipulan las variables del proyecto, sino que se observan y contrastan los resultados derivados de la aplicación de la metodología de modelado digital y del método tradicional basado en precios unitarios en un mismo caso de estudio. Asimismo, el estudio es de carácter aplicado, porque busca resolver un problema real asociado a la optimización de los procesos de estimación de costos en la rehabilitación de una infraestructura pesquera.

6.2 Variables e indicadores de estudio

- Variable independiente: método de estimación aplicado al caso de estudio, con dos niveles de análisis: (a) método tradicional de precios unitarios y (b) metodología BIM 5D, integrada por modelado tridimensional, cuantificación automatizada y vinculación de conceptos presupuestarios al modelo.
- Variables dependientes:
 - discrepancia del presupuesto total (%), calculada como $[(\text{Presupuesto tradicional} - \text{Presupuesto BIM}) / \text{Presupuesto tradicional}] \times 100$;
 - precisión de metrados por partida (%), evaluada mediante la comparación entre las cantidades del método tradicional y las cantidades extraídas del modelo validado; y
 - tiempo de elaboración y actualización del presupuesto (horas), medido a partir del registro comparativo de las actividades requeridas en cada enfoque.

La operacionalización de las variables se definió con base en investigaciones recientes sobre cuantificación automatizada, estimación 5D y trazabilidad presupuestal, las cuales emplearon indicadores comparables de discrepancia de costos, precisión de cantidades y eficiencia temporal para contrastar el desempeño del modelado digital frente a procedimientos convencionales (Abdullah et al., 2023; Park & Yun, 2023; Rashidi et al., 2024; Alathamneh et al., 2024; Valinejadshoubi et al., 2024; Alnaser et al., 2024).

Tabla 2. Operacionalización de variables e indicadores.

Variable	Definición operacional	Indicador	Unidad/criterio	Fuente de datos
Método de estimación	Precios unitarios tradicionales o BIM 5D con modelo 3D–4D–5D vinculado a costos.	Tipo de método	Categoría nominal	Procedimiento y anexos
Discrepancia del presupuesto total	Diferencia relativa entre el presupuesto total tradicional y el obtenido con BIM.	$[(P \text{ tradicional} - P \text{ BIM}) / P \text{ tradicional}] \times 100$	Porcentaje (%)	Presupuesto tradicional y presupuesto BIM
Precisión de metrados por partida	Concordancia entre las cantidades manuales y las obtenidas del modelo validado.	Diferencia relativa por partida y consistencia geométrica	Porcentaje (%)	Generadores y tablas de cuantificación
Tiempo de elaboración y actualización	Duración requerida para generar, revisar y actualizar las cantidades y los costos.	Horas-hombre por metodología	Horas (h)	Registro operativo del caso

Fuente: elaboración propia con base en el diseño metodológico del estudio y en Abdullah et al. (2023), Park y Yun (2023), Rashidi et al. (2024), Alathamneh et al. (2024), Valinejadshoubi et al. (2024) y Alnaser et al. (2024).

6.3 Instrumentos

Para el desarrollo del estudio se emplearon los siguientes instrumentos técnicos y documentales:

- Modelos BIM tridimensionales (3D, 4D y 5D). Elaborados con software especializado como Autodesk Revit, Navisworks y Cost-It, que permitieron integrar la geometría, los tiempos de ejecución y los costos del proyecto.

- Generadores de obra. Empleados tanto en el método tradicional como en el modelo digital para comparar cantidades.
- Catálogos y listas de precios unitarios. Destinadas al registro, análisis y comparación de los costos de materiales, mano de obra y equipos.
- Cronogramas detallados de obra. Generados en Microsoft Project y vinculados al modelo 4D para comparar la planificación convencional con la generada mediante BIM.
- Matrices comparativas. Bases de datos de precios unitarios y reportes de control de obra, empleados para contrastar los resultados obtenidos a partir de los modelos BIM con los del método tradicional.

6.4 Procedimiento

El enfoque utilizado en esta investigación se organiza en una serie de actividades metodológicas que permiten una comparación rigurosa entre las estimaciones de costos y los metrados obtenidos mediante el modelado digital y el método tradicional basado en precios unitarios. Cada fase fue diseñada para asegurar la validez del análisis, la coherencia entre ambos enfoques y la integración adecuada de la información técnica del proyecto.

A continuación, se detallaron minuciosamente los pasos realizados para la recopilación de datos, la creación de los modelos, la obtención de resultados y la evaluación comparativa de ambas metodologías.

1. Recolección de información técnica del proyecto. La recopilación de información técnica del proyecto incluyó la obtención de planos arquitectónicos y constructivos, especificaciones técnicas, catálogos de conceptos y bases de precios unitarios.

Con estos insumos, se elaboraron, siguiendo las mismas condiciones y criterios constructivos, tanto el presupuesto realizado mediante el método tradicional como el modelo digital del proyecto, asegurando la coherencia entre ambos procesos de estimación.

2. Elaboración del modelo tridimensional. El proyecto fue desarrollado en un entorno de modelado digital, incorporando de manera progresiva las dimensiones tridimensional, temporal y presupuestaria.

A partir de este modelo, se extrajeron datos sobre las cantidades de obra, la programación de actividades y la estimación de costos, así como la secuencia constructiva correspondiente. Simultáneamente, se llevó a cabo la estimación de costos mediante el método tradicional, con el objetivo de comparar ambos enfoques en cuanto a la precisión, la eficiencia y la coherencia de la información generada.

3. Incorporación de dimensiones adicionales para la gestión del tiempo y de los costos.

Una vez finalizado el modelo tridimensional, se incorporaron las dimensiones relacionadas con la planificación temporal y la estimación de costos, lo que facilitó la transición a un enfoque de modelado multidimensional. Esto implicó asociar elementos constructivos con actividades específicas del cronograma, así como vincular las cantidades de obra con conceptos de costo.

Este proceso permitió visualizar la ejecución del proyecto de forma secuencial, simular la duración estimada de las actividades y analizar el impacto de los recursos en la planificación general.

4. Aplicación del método tradicional de cuantificación y estimación de costos. De manera simultánea al desarrollo del modelo digital, se estimaron los costos mediante el método

tradicional basado en precios unitarios. Este proceso incluyó la creación manual de generadores de obra, la identificación de volúmenes mediante el análisis de planos y la integración de costos con bases de precios públicos. El objetivo fue obtener un presupuesto elaborado con la metodología convencional que permitiera, posteriormente, comparar su precisión y eficiencia con el enfoque digital.

5. Obtención automatizada de metrados y presupuesto a partir del modelo digital. Una vez finalizado el modelo de información, se generaron automáticamente los metrados para cada partida del proyecto.

El entorno de modelado permitió extraer cantidades de obra con precisión directamente a partir de los elementos tridimensionales, eliminando así la necesidad de realizar mediciones manuales. Además, se obtuvo el presupuesto asociado al integrar estas cantidades con las bases de costos previamente enlazadas. Esta automatización facilitó la actualización inmediata del presupuesto cada vez que se realizaba un cambio en alguno de los componentes del diseño.

6. Comparación detallada entre ambos métodos. A partir de los resultados obtenidos con ambos enfoques, se llevó a cabo una evaluación comparativa que abarcó la precisión de los metrados, la coherencia de la información, los tiempos de elaboración de cada presupuesto y la consistencia interna entre las cantidades, los costos y las actividades constructivas.

Esta comparación se organizó mediante matrices analíticas que facilitaron la identificación de discrepancias, similitudes y ventajas operativas del modelado digital frente al proceso tradicional.

7. Análisis e interpretación de los resultados obtenidos. Finalmente, se realizaron interpretaciones de los resultados con el fin de evaluar el impacto del modelado digital en la precisión, la eficiencia y el manejo de costos del proyecto.

Este análisis consideró el comportamiento de las variables dependientes, el desempeño de cada metodología y las implicaciones prácticas para el sector de la construcción. A partir de este estudio, se formularon conclusiones sobre la utilidad del modelado digital para optimizar los procesos de estimación, al tiempo que se identificaron las limitaciones, los desafíos y las oportunidades para su puesta en práctica en contextos análogos.

Es importante señalar que, para garantizar la validez de la comparación, ambos presupuestos fueron elaborados bajo las mismas condiciones técnicas, constructivas y económicas. Se utilizaron los mismos planos base, criterios de diseño, catálogo de conceptos y fuentes de precios unitarios.

De esta manera, la única variable que se modificó entre ambos enfoques fue el método de cuantificación y gestión de la información (tradicional vs. modelado BIM 5D), lo que permitió atribuir las diferencias observadas exclusivamente al impacto de la metodología empleada.

7. Marco teórico

El modelado de información para la construcción se entendió en esta investigación como una metodología integral para la gestión de datos geométricos, temporales, económicos y operacionales a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Rashidi et al., 2024). Su implementación se sustentó en la integración multidimensional de la información, en la que el modelo tridimensional se complementó con la programación temporal (4D), la estimación de costos (5D), la sostenibilidad (6D) y la gestión de activos (7D).

Esta aproximación ha mostrado mejorar la precisión de los procesos constructivos y reducir la incertidumbre en la toma de decisiones (Abdullah et al., 2023; Goh & Abdul-Rahman, 2021; Castañeda et al., 2024).

7.1 Estado actual del conocimiento reciente

La literatura indexada publicada entre 2020 y 2025 mostró un viraje desde comparaciones generales entre BIM y métodos tradicionales hacia evaluaciones más finas de cuantificación automatizada, consistencia geométrica y predicción de costos. En ese conjunto, la evidencia indicó que la extracción automatizada de cantidades y la integración de propiedades del modelo mejoraron la exactitud de los metrados, redujeron la ambigüedad de las mediciones y facilitaron la actualización del presupuesto cuando existieron cambios de diseño (Abdullah et al., 2023; Akanbi & Zhang, 2021; Liu et al., 2022; Tang et al., 2022; Moon et al., 2021; Park & Yun, 2023; Rashidi et al., 2024; Alathamneh et al., 2024; Valinejadshoubi et al., 2024; Rostamiasl & Jrade, 2024; Gharaibeh et al., 2024).

En paralelo, los estudios sobre programación 4D y gestión integrada mostraron que la vinculación entre el modelo, el cronograma y la estructura de descomposición del trabajo fortaleció la planeación secuencial, mejoró la visibilidad de la ruta de ejecución y redujo los conflictos temporales. Las revisiones y casos recientes señalaron que la simulación 4D, la integración BIM–gestión del proyecto y los esquemas de planificación automática aportaron beneficios concretos para el control del tiempo, la detección de cuellos de botella y la coordinación de recursos (Doukari et al., 2022; Zhang et al., 2020; Nguyen et al., 2024; Wang

& Chen, 2023; Castañeda et al., 2025; Chong et al., 2025; Wang et al., 2024; Liao et al., 2025; Kim et al., 2025; Shin et al., 2024).

Otro bloque de investigación se centró en la adopción organizacional, la madurez digital y las barreras de implementación. Este corpus coincidió en que la capacitación, la estandarización, la gobernanza de la información, la claridad de los beneficios y la cultura organizacional siguieron siendo factores decisivos para que BIM pasara de un uso instrumental a una adopción madura y escalable (Olanrewaju et al., 2020; Olanrewaju et al., 2021a; Olanrewaju et al., 2021b; Al-Ashmori et al., 2020; Alaboud & Alshahrani, 2023; Kineber et al., 2023; Manzoor et al., 2021; Jing & Alias, 2024; Takyi-Annan & Zhang, 2023; Perera et al., 2023; Jäkel et al., 2024; Bayzidi et al., 2025; Wang et al., 2025).

Un cuarto grupo de estudios abordó la coordinación interdisciplinaria, la estructuración del BEP, el entorno de datos común y la detección de interferencias. Los resultados convergieron en que la implementación rigurosa de planes de ejecución, marcos de coordinación colaborativa y mecanismos de revisión de conflictos incrementó la consistencia del modelo y redujo errores de coordinación que, en métodos convencionales, suelen trasladarse a los costos y al cronograma (Al-Shammari et al., 2022; Hosamo et al., 2024; Abdelalim et al., 2024; Shehadeh et al., 2024; Bitaraf et al., 2024; Shim et al., 2024; Gharaibeh et al., 2024; Lobos Calquin et al., 2024; Castañeda et al., 2024).

Finalmente, la evidencia reciente mostró que el vínculo entre BIM, desempeño económico y transformación digital fue más sólido cuando la estimación 5D se integró con la gestión del riesgo, el flujo de efectivo, la sostenibilidad y las estrategias de mejora continua. La literatura más actual coincidió en que BIM aportó trazabilidad financiera, mejoró la lectura de sobrecostos y fortaleció la toma de decisiones cuando se articuló con marcos de madurez digital, Lean Construction y tecnologías emergentes; sin embargo, siguió existiendo un vacío en estudios de caso comparativos aplicados a obras de rehabilitación de pequeña y mediana escala en contextos mexicanos, particularmente cuando la comparación se concentró en precios unitarios frente a BIM 5D con trazabilidad completa de cantidades, costos y tiempos (Hussain et al., 2024; Mahboob et al., 2024; Amoh & Fare, 2024; Goh & Abdul-Rahman, 2021; Alnaser et al., 2024; Doan et al., 2025; Alnajjar et al., 2025a; Alnajjar et al., 2025b; Michalski et al., 2022).

Tabla 3. Síntesis comparativa de investigaciones recientes indexadas sobre BIM, costos y programación.

Autores y año	Enfoque del estudio	Hallazgo principal	Aporte para esta tesis
Alathamneh et al. (2024)	Revisión sobre quantity take-off con BIM	Mostraron que la extracción automatizada de cantidades aumentó la precisión y redujo los errores recurrentes en la medición.	Sustentó la comparación entre los metrados manuales y los vinculados al modelo.
Valinejadshoubi et al. (2024)	Sistema automatizado de cuantificación con BIM	Reportaron una alta exactitud en la obtención de cantidades cuando el modelo se estructuró con parámetros verificables.	Respaldó la validez de utilizar cantidades extraídas del modelo como referencia técnica.
Park & Yun (2023)	Predicción de costos con propiedades BIM	Demostaron que las propiedades del modelo mejoraron el comportamiento predictivo del costo en etapas tempranas.	Apoyó la discusión sobre la confiabilidad del presupuesto BIM 5D.
Rashidi et al. (2024).	Estimación prelicitatoria con BIM	Documentaron mejoras en la precisión y la trazabilidad del costo frente a los métodos convencionales.	Sirvió para contrastar el caso de estudio con evidencia internacional reciente.
Doukari et al. (2022)	Programación 4D convencional vs. automatizada	Identificaron ventajas operativas en la secuenciación y la revisión del cronograma mediante la integración digital.	Respaldó la articulación entre el cronograma, el modelo y el presupuesto.
Wang & Chen (2023)	Integración BIM y gestión del proyecto	Propusieron un marco de capacidades BIM que abarque todo el ciclo de vida del proyecto.	Ayudó a justificar la lectura de BIM como método de gestión y no sólo como software.
Al-Shammari et al. (2022)	Evaluación del BEP	Mostraron que un BEP robusto mejora la coordinación y la calidad del flujo de información.	Fundamentó la necesidad de estructurar roles, entregables y protocolos de revisión.
Hosamo et al. (2024)	Adopción de BIM 5D	Subrayaron que la adopción exitosa depende de la gobernanza de datos, la capacitación y los procesos consistentes.	Apoyó la discusión sobre las barreras y las condiciones de implementación.

Autores y año	Enfoque del estudio	Hallazgo principal	Aporte para esta tesis
Perera et al. (2023)	Madurez digital del diseño y la construcción	Plantearon un marco estratégico para evaluar la transición digital y los niveles de madurez.	Fortaleció la discusión sobre la adopción, la madurez y la escalabilidad de BIM.
Alnaser et al. (2024)	BIM y factores de sobre costo	Relacionaron el uso de BIM con una mejor comprensión de los riesgos de sobre costo y de las interrelaciones causales.	Vinculó la comparación presupuestal con la gestión del riesgo económico.
Mahboob et al. (2024)	BIM y pronóstico de flujo de efectivo	Mostraron que la digitalización mejora la visibilidad financiera y la toma de decisiones.	Respaldó la pertinencia de conectar los metrados, el presupuesto y el control financiero.
Alnajjar et al. (2025a)	Integración Lean-BIM- tecnologías emergentes	Identificaron herramientas clave para optimizar la coordinación, la productividad y la trazabilidad.	Aportó un cierre crítico sobre la evolución reciente del campo y su proyección aplicada.

Fuente: elaboración propia con base en la literatura indexada revisada.

La dimensión 5D cobró especial importancia, ya que conectó directamente el modelo tridimensional con los costos del proyecto y permitió generar estimaciones más precisas y dinámicas, actualizables ante cambios de diseño (Rashidi et al., 2024; Hussain et al., 2024). Esta capacidad de actualización automática ha sido reconocida como una de las principales ventajas del enfoque, ya que contribuyó a prevenir inconsistencias entre planos, metrados y presupuestos, un problema recurrente en los métodos tradicionales (Alathamneh et al., 2024; Valinejadshoubi et al., 2024; Alnaser et al., 2024; Rostamiasl & Jrade, 2024).

7.2 Building Information Modeling (BIM)

Aunque a menudo se vincula esta metodología exclusivamente con software específico, el modelado de información es un enfoque colaborativo que integra procesos, estándares, roles,

flujos de trabajo y modelos digitales para una gestión eficiente de proyectos (Véase figura 5) (Eastman et al., 2008; Succar, 2009).

Su finalidad es reunir en un único entorno la información de diversas disciplinas —como arquitectura, estructuras e instalaciones mecánicas y sanitarias, entre otras—, lo que permite mejorar la coordinación entre ellas y disminuir la duplicación de esfuerzos (Gharaibeh et al., 2024; Shehadeh et al., 2024).

Como señalaron Eastman et al. (2008), Succar (2009) y Wang y Chen (2023), el modelado de información para la construcción es un proceso que consiste en diseñar, construir y operar activos mediante modelos inteligentes que integran información geométrica y no geométrica. Desde esta perspectiva, BIM puede aliviar muchos de los desafíos de coordinación y gestión que enfrenta la industria al permitir una colaboración más efectiva y brindar información temprana para la toma de decisiones de diseño y construcción.

Es importante recordar que BIM no reemplaza a las personas, sino que ayuda a reducir las tareas de trabajo repetitivo y redundante, y también a considerar que los usuarios no están libres de errores, pero esta metodología ayuda a su pronta detección y corrección.

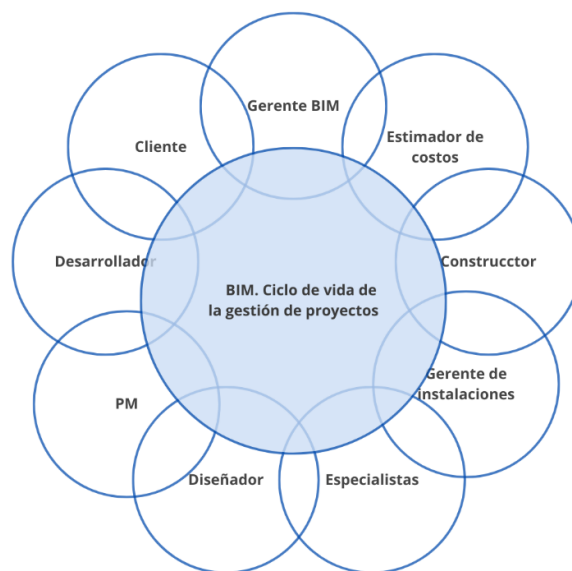


Figura 5. Involucrados en la metodología BIM.

Fuente: Trejo Carvajal (2018) adaptada por el autor.

Como documentaron Eastman et al. (2008), Gharaibeh et al. (2024), Shehadeh et al. (2024) y Shin et al. (2024), entre las principales ventajas del uso de BIM se pudieron mencionar:

1. Mayor colaboración y comunicación
2. Visualización del proyecto en la etapa de pre-construcción
3. Proyectos mejor compatibilizados y detección de interferencias
4. Estimación de recursos y costos basados en los modelos
5. Programación y secuencia constructiva
6. Mayor productividad en la prefabricación
7. Aumento de la seguridad
8. Mejor gestión durante la vida del proyecto

Estas investigaciones indicaron que la adopción de esta metodología incrementó la productividad, mejoró la compatibilidad de los modelos, optimizó la identificación de interferencias y disminuyó los retrabajos, lo que se tradujo en una mayor calidad de los

entregables y en un uso más eficiente de los recursos (Gharaibeh et al., 2024; Shehadeh et al., 2024; Doukari et al., 2022; Shin et al., 2024).

7.3 Dimensiones BIM

Podemos entender las dimensiones BIM como capas o niveles de información que se añaden al modelo; modelo tridimensional (3D), programación de tiempo: cronograma de obra (4D), control de costos (5D), sostenibilidad (6D) y mantenimiento (7D); para esta investigación se tomarán en cuenta las siguientes dimensiones:

- **Modelado tridimensional (3D):** El modelado tridimensional es la primera de las dimensiones que permiten visualizar el modelo digital de la construcción.
- **Programación de tiempo (4D):** Es la organización de las actividades del modelo en función del tiempo, así como la extracción y visualización del progreso de estas a lo largo del ciclo de vida del proyecto.
- **Control de costos (5D):** Esta es la actividad de estimación y análisis de costos. Permite realizar estimaciones rápidas y detalladas de los costos del proyecto, considerando todos los elementos del modelado BIM.

Esta estructura multidimensional ha mostrado aumentar la eficiencia en la ejecución de proyectos, facilitando la identificación de conflictos y la evaluación de alternativas antes de iniciar la construcción física (Abdullah et al., 2023).

7.4 Nivel de detalle (LOD)

El nivel de desarrollo estandarizó tanto la información gráfica como la no gráfica relacionada con los elementos del modelo. Este concepto favoreció la interoperabilidad entre distintos programas y aseguró la coherencia de los datos a lo largo de cada fase del ciclo de vida del proyecto (Building Smart Spain, 2021; Bayzidi et al., 2025). Asimismo, resultó fundamental

distinguir entre el nivel gráfico (LoD) y el nivel de información (LoI) para asegurar la fiabilidad de los metrados obtenidos del modelo.

El objetivo consistió en explicar el grado de confiabilidad de la información disponible en cada etapa (véase la Figura 6).

Nivel de detalle (LoD): corresponde al grado de definición gráfica con el que se representa un elemento dentro del modelo.

Nivel de información (LoI): corresponde al conjunto de atributos no gráficos que se incorporan al elemento, tales como materiales, especificaciones, códigos y parámetros de cuantificación; sin esta información, el modelo solo representaría volúmenes sin capacidad analítica.



Figura 6. Niveles de desarrollo (LOD).

Fuente; KonstruEdu (2024).

7.5 Roles BIM

En un proyecto en el que se aplique el BIM, es fundamental contar con un equipo de profesionales cuyos roles y responsabilidades estén claramente definidos. Estos roles, que se suman a los perfiles profesionales clásicos del sector, son indispensables para garantizar el éxito y la eficiencia en el desarrollo del proyecto.

- **BIM Manager:** Es el líder del equipo BIM y responsable de implementar la metodología BIM en el proyecto. Se encarga de definir estrategias, estándares y protocolos, supervisar la coordinación entre disciplinas y verificar el cumplimiento de los procedimientos de gestión de la información.
- **Coordinador BIM:** Trabaja bajo la dirección del BIM Manager y coordina el flujo de trabajo entre los distintos equipos. Su función es gestionar los modelos BIM, identificar y resolver conflictos entre disciplinas (detección de interferencias) y asegurar la interoperabilidad entre los diferentes software y sistemas.
- **Modelador BIM:** Es el encargado de crear y desarrollar modelos en las diferentes plataformas BIM. Este rol requiere habilidades en el uso de software especializado y conocimientos detallados de su disciplina.

La literatura reciente subrayó que una definición precisa de estos roles optimiza el flujo de trabajo, disminuye los errores y eleva la eficiencia del equipo (Al-Shammari et al., 2022; Hosamo et al., 2024; Lobos Calquin et al., 2024).

7.6 Herramientas BIM

Las herramientas digitales facilitaron el trabajo con modelos tridimensionales y de dimensiones adicionales, gestionaron la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto y promovieron la comunicación entre disciplinas (KonstruEdu, 2024). La interoperabilidad mediante formatos como IFC posibilitó el intercambio de datos entre distintas plataformas, una práctica respaldada por estándares internacionales vinculados a la ISO 16739 y a la serie ISO 19650 (ISO, 2018; Building Smart Spain, 2021).

Herramienta virtual BIM es el software que se utiliza para el modelado en 3D, 4D, 5D, 6D y 7D, y que contiene información inherente a la infraestructura para una mejor gestión de datos. A partir de estas plataformas es posible compartir información entre las diferentes especialidades involucradas y comunicarse con otros programas mediante formatos de intercambio como IFC, enriqueciendo así el modelo digital. Existen diferentes herramientas para las distintas etapas del ciclo de vida de un proyecto, desde la concepción y el diseño hasta la construcción y el mantenimiento (Véase la figura 7).

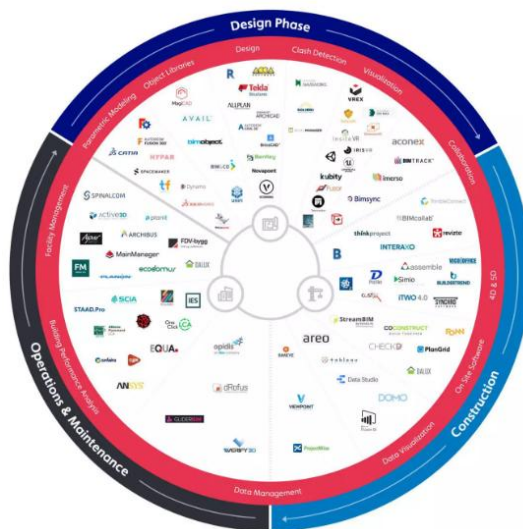


Figura 7. Software BIM (herramientas BIM).

Fuente: KonstruEdu (2024).

7.7 Plan de ejecución BIM (BEP)

El plan de ejecución establece las directrices esenciales para coordinar el uso del modelado digital en un proyecto. Define los objetivos, los roles, el flujo de trabajo, los entregables y las estrategias de colaboración. Su adecuada implementación ha demostrado disminuir los errores, mejorar la calidad de los modelos y optimizar los tiempos de construcción (Al-Shammari et al., 2022; Goh & Abdul-Rahman, 2021).

El BEP es esencial para la coordinación y la ejecución eficaces de BIM en un proyecto. Este documento establece una hoja de ruta para la colaboración, asegurando que todos los equipos trabajen con una visión y una metodología compartidas y que, al implementarse, se puedan reducir errores, mejorar la calidad de los entregables y optimizar tanto el tiempo como los costos. Los datos que se reúnen son los siguientes:

- **Resumen:** incluye información general del proyecto, una descripción básica y el motivo de crear el BEP.
- **Información del Proyecto:** en este apartado se debe incluir la información más relevante del proyecto, como la ubicación, la descripción, la programación y las fechas.
- **Responsables y contacto:** nombre y datos de contacto de todos los profesionales y responsables del proyecto.
- **Objetivos:** en el BEP se deben incluir las estrategias y los objetivos junto con las diferentes etapas, fases y fechas de terminación.
- **Asignación de roles:** se asignan las tareas correspondientes a cada miembro del equipo de trabajo.
- **Modelo y entregables:** en este apartado se incluyen los elementos y el material final del proyecto.

7.8 Enfoque tradicional vs enfoque colaborativo

El enfoque tradicional de precios unitarios, comúnmente utilizado en países de América Latina, enfrenta retos relacionados con la falta de coordinación, la ejecución secuencial de tareas y las dificultades para actualizar metrados y presupuestos (Eastman et al., 2008; Alathamneh et al., 2024; Valinejadshoubi et al., 2024) (Véase figura 8).

Una de las principales desventajas de este sistema fue la falta de comunicación entre disciplinas, lo que provocó incoherencias entre documentos, desvinculación entre archivos y ausencia de actualización automática de la información (Eastman et al., 2008; Wang & Chen, 2023).

En contraste, el enfoque colaborativo permite que diversas disciplinas trabajen simultáneamente en un mismo modelo digital, lo que mejora la comunicación, acorta los plazos y eleva la calidad del diseño (Eastman et al., 2008; Wang & Chen, 2023).

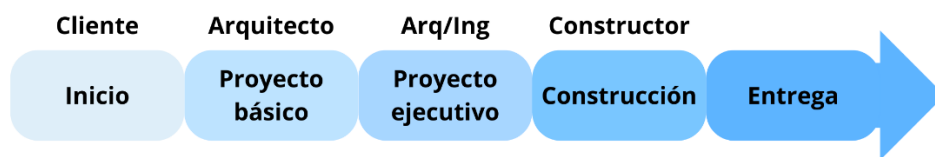


Figura 8. Enfoque tradicional.

Fuente: elaboración propia con base en Eastman et al. (2008).

En este enfoque, el flujo de trabajo fue lineal y secuencial: el cliente contrató al arquitecto, se desarrolló el proyecto básico, posteriormente, el proyecto ejecutivo y, una vez aprobada la documentación, se pasó a la fase de construcción y a la entrega del producto o servicio. Estas fases se encadenaron una tras otra, lo que impidió avanzar hasta que concluyera la actividad precedente y generó tiempos de espera que se reflejaron en aumentos de plazo y costo (Eastman et al., 2008; Wang & Chen, 2023).

A diferencia de los enfoques tradicionales, el flujo de trabajo BIM es colaborativo y evoluciona de manera integrada y cíclica (Véase figura 9).

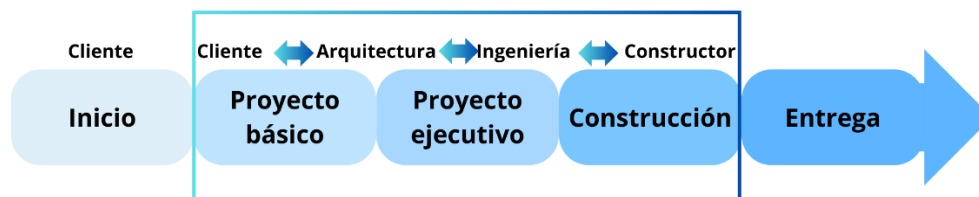


Figura 9. Enfoque integral.

Fuente: elaboración propia con base en Wang y Chen (2023).

En este enfoque, distintas disciplinas trabajaron de manera coordinada para alcanzar objetivos comunes (Eastman et al., 2008). Para que el proceso colaborativo funcionara adecuadamente, resultó indispensable establecer procedimientos, normas, estándares y métodos compartidos que aseguraran la calidad de la información y la visibilidad del contenido para todos los interesados (Véase figura 10).



Figura 10. ¿Qué es BIM?

Fuente: KonstruEdu (2024).

8 Propuesta de solución

La problemática observada en el proceso de estimación de costos mediante el método convencional de precios unitarios reveló limitaciones importantes: fragmentación de la información, elaboración manual de metrados, escasa coordinación entre disciplinas y dificultad para actualizar los datos ante cambios en el diseño.

Estas condiciones incrementaron el riesgo de errores, inconsistencias y sobrecostos, en particular en proyectos en los que la eficiencia económica y operativa resultó crítica, como en la rehabilitación de centros de acopio pesquero. La literatura ha documentado que la falta de integración de la información y la cuantificación manual elevan la incertidumbre presupuestal y reducen la trazabilidad del costo (Abdullah et al., 2023; Rashidi et al., 2024).

8.1 Implementación de la metodología BIM

Para abordar esta situación, se adoptó una metodología basada en el Building Information Modeling (BIM) como solución integral, lo que mejoró la precisión, la consistencia y la eficiencia en la estimación de costos. Este enfoque fue más allá del mero uso de software e incluyó la implementación de procesos estandarizados, la definición de roles, protocolos de información y una estructura metodológica que articuló el modelado, la programación y la cuantificación económica del proyecto.

Como se mostró en la Figura 11, el proceso comenzó con la solicitud de información del proyecto (SDI) por parte del cliente, quien proporcionó una descripción detallada de sus necesidades, los problemas que enfrentaba y los objetivos que esperaba alcanzar con el proyecto.

En esta fase inicial, resultó esencial reunir toda la información relativa a los requisitos específicos, los plazos esperados y los recursos disponibles, ya que esta base condicionó la

precisión de los presupuestos. La presente propuesta se fundamentó en tres componentes principales:

8.1.1 Desarrollo de la información inicial mediante la Solicitud de Información (SDI).

La SDI se estableció como punto de partida para definir las necesidades del cliente, los objetivos del proyecto, los requerimientos técnicos y los criterios de diseño. Este documento permitió precisar el nivel de detalle requerido, los formatos de intercambio, los entregables esperados y las responsabilidades de cada participante, garantizando claridad desde la fase inicial. Estudios recientes subrayaron que el establecimiento de requerimientos de información bien definidos reduce los errores y aumenta la eficiencia del flujo de trabajo digital (Al-Shammari et al., 2022; Hosamo et al., 2024) (Véase figura 11).

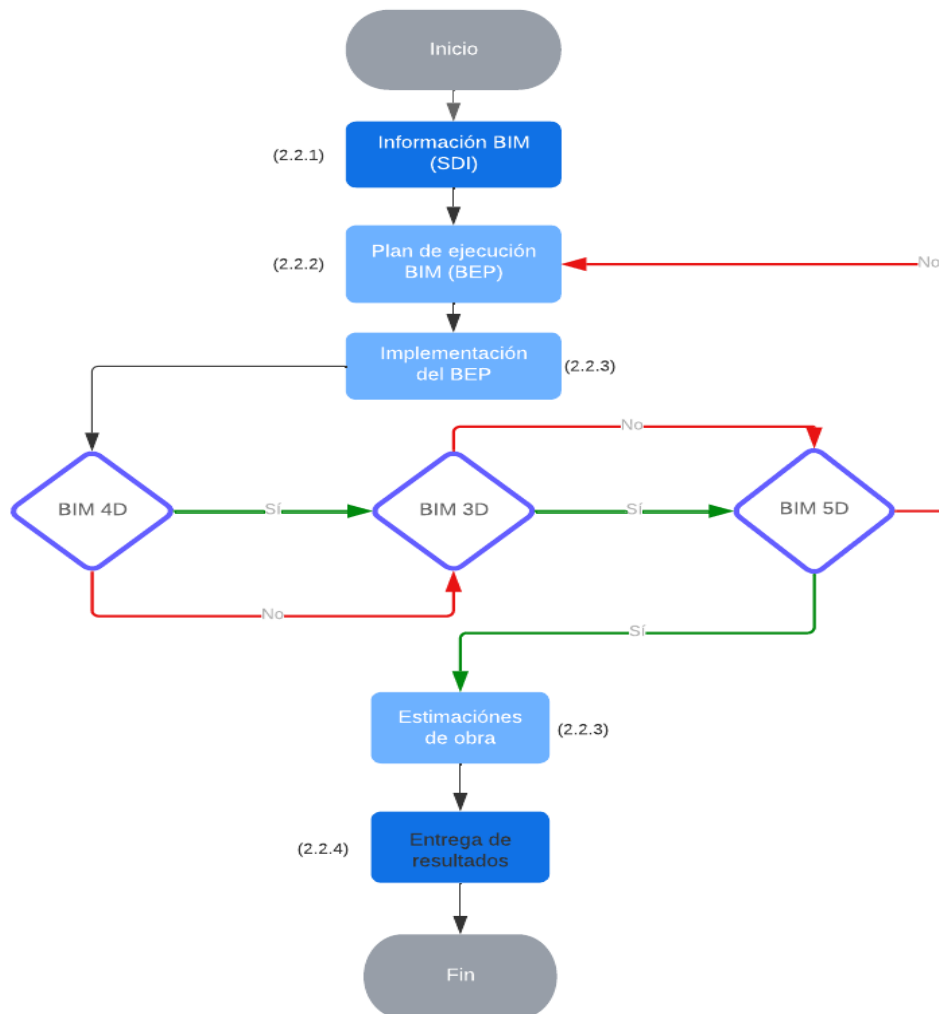


Figura 11. Flujograma para la implementación BIM.

Fuente: elaboración propia.

Esta información permitió elaborar el diseño 3D e integrar la dimensión 5D, lo que resultó en un análisis más detallado de los costos del proyecto. En esta etapa, se exportaron las tablas de cuantificación para obtener estimaciones detalladas de costos y, finalmente, se realizó una comparativa entre los datos obtenidos con BIM y los del método de precios unitarios en cuanto a la exactitud de los metrados y la consistencia del presupuesto.

8.2 Elaboración del Plan de Ejecución BIM (BEP).

Una vez recopilada la información inicial del proyecto y definidas las necesidades del cliente

mediante la SDI, resultó necesario estructurar un Plan de Ejecución BIM (BEP) que sirviera de guía operativa para todos los participantes del proceso. Este documento estableció con claridad cómo se implementó la metodología a lo largo del ciclo de vida del proyecto, definiendo estrategias de colaboración, flujos de información y criterios técnicos que permitieron desarrollar el modelo digital con coherencia y trazabilidad.

El BEP contempló los objetivos específicos que se buscó alcanzar mediante el modelado digital, ya fuera en visualización tridimensional, coordinación interdisciplinaria, simulación temporal (4D) o estimación de costos (5D). Además, identificó los estándares, normativas y protocolos que rigieron el proceso, incluyendo referencias a marcos internacionales como la serie ISO 19650, así como los formatos de intercambio y los niveles de información (LOD) requeridos para cada fase. Asimismo, el documento detalló los roles y responsabilidades dentro del equipo, diferenciando figuras como el BIM Manager, el Coordinador BIM y los modeladores especializados, y asegurando que cada participante conociera sus funciones y los entregables correspondientes.

El BEP también especificó los procedimientos de coordinación, los métodos de revisión y validación del modelo, la frecuencia de las reuniones técnicas, los mecanismos para la resolución de interferencias (clash detection) y las herramientas digitales empleadas en cada etapa. Incluyó, además, un cronograma de entregables, los hitos de revisión y los criterios que determinaron la calidad del modelo. Su objetivo principal consistió en garantizar un flujo de trabajo ordenado, colaborativo y transparente, reduciendo inconsistencias y retrabajos desde las primeras etapas del proyecto.

La literatura reciente indicó que la adecuada formulación e implementación de un BEP fueron uno de los factores más determinantes para el éxito de proyectos con modelado digital, ya que alinearon expectativas, estandarizaron prácticas y establecieron un marco común de comunicación entre todos los involucrados (Al-Shammari et al., 2022; Hosamo et al., 2024). En ese sentido, este plan no solo organizó el desarrollo técnico del modelo, sino que también se convirtió en el instrumento rector que aseguró una implementación eficiente y coherente de la metodología a lo largo del proyecto.

8.3. Integración digital para la estimación de obra: modelado 3D, 4D y 5D

Una vez estructurado el Plan de Ejecución BIM (BEP) y definidos los requisitos de información del proyecto, se inició el desarrollo de un modelo digital multidimensional, que se convirtió en el eje técnico de la solución propuesta. Este proceso comenzó con la creación del modelo tridimensional (3D), que incluyó la geometría completa del proyecto de rehabilitación del centro de acopio pesquero, abarcando aspectos arquitectónicos, estructurales, de instalaciones y otros componentes constructivos.

El objetivo del modelo 3D consistió en proporcionar una representación precisa, coordinada y verificable del proyecto, lo que permitió identificar incompatibilidades desde etapas tempranas y reducir las omisiones comunes en la documentación tradicional. Sobre esta base tridimensional se integró la dimensión 4D, que relacionó los elementos del modelo con las actividades del cronograma y permitió simular la secuencia constructiva (véase el anexo "Cronograma de obra"). Esta simulación facilitó la visualización del avance esperado, el análisis logístico y la evaluación de alternativas de programación, además de anticipar cuellos de botella e interferencias entre los equipos de trabajo. La literatura ha mostrado que el uso de la dimensión 4D mejora la planificación, reduce los retrasos y optimiza la asignación de

recursos (Zhang et al., 2020; Doukari et al., 2022; Nguyen et al., 2024; Castañeda et al., 2025).

Una vez consolidada la programación, se añadió la dimensión 5D, que vinculó las cantidades de obra del modelo con los conceptos presupuestarios. En esta fase, cada elemento modelado se asoció a materiales, especificaciones y parámetros económicos, lo que generó cuantificaciones automáticas, trazables y dinámicas.

Esta integración permitió que cualquier modificación en la geometría, los materiales o el alcance del proyecto se reflejara de inmediato en los metrados y en los costos estimados, mitigando los errores típicos del método tradicional basado en mediciones manuales.

Investigaciones recientes destacaron que los modelos 5D mejoran la precisión de la estimación y fortalecen la trazabilidad del presupuesto en comparación con métodos convencionales; además, los avances en extracción de información, revisión automatizada de especificaciones y cuantificación asistida por reglas han reforzado la confiabilidad de estos procesos (Rashidi et al., 2024; Park & Yun, 2023; Tang et al., 2022; Liu et al., 2022; Akanbi & Zhang, 2021; Moon et al., 2021; Rostamiasl & Jrade, 2024).

Además de facilitar la generación de metrados más precisos, el modelo 5D permitió analizar escenarios económicos, evaluar alternativas de diseño, comparar insumos o sistemas constructivos y proyectar variaciones presupuestarias derivadas de cambios en las condiciones del proyecto (véase el anexo "Presupuesto con BIM"). Herramientas digitales complementarias, como motores de cuantificación y plataformas integradas de control de costos, reforzaron esta capacidad analítica y facilitaron el seguimiento financiero a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Goh & Abdul-Rahman, 2021).

La integración progresiva de los modelos 3D, 4D y 5D, respaldada por el BEP, proporcionó

una solución metodológica explícita y fundamentada que superó las limitaciones del método tradicional basado en planos 2D y precios unitarios. Esta estructura digital permitió centralizar la información, mejorar la coordinación, disminuir el riesgo de errores, optimizar la planificación y ofrecer métricas más fiables y oportunas para la toma de decisiones. Por lo tanto, este enfoque se presentó como una alternativa sólida para la estimación de costos en el caso de estudio y como un modelo replicable para proyectos similares en el ámbito de la ingeniería civil.

8.4 Flujograma de implementación BIM

El flujograma de implementación, presentado en la Figura 11, constituyó un componente fundamental para organizar de manera clara y secuencial cada etapa de la adopción de BIM en el proyecto. Este flujograma resumió el proceso completo: recopilación de información mediante la SDI, elaboración del BEP, definición de roles, modelado tridimensional y extracción de métricas, estimación de costos y coordinación interdisciplinaria.

En su versión ampliada, el flujograma reflejó una estructura metodológica que facilitó la trazabilidad y el control del flujo de información. Resaltó los puntos clave de decisión, las interacciones entre los actores y las fases de revisión del modelo. Este enfoque permitió que todos los involucrados comprendieran el proceso de integración digital desde las etapas iniciales del proyecto, lo que redujo la incertidumbre y fomentó la colaboración.

Cada fase del flujograma se sustentó en buenas prácticas internacionales, como las establecidas por la serie ISO 19650 y por guías de implementación en obra pública. Estudios recientes han mostrado que la claridad de los procesos de modelado y la presencia de diagramas estructurados disminuyen los retrabajos y fortalecen la coordinación entre especialidades (Al-Shammari et al., 2022; Castañeda et al., 2025).

El flujograma también incluyó ciclos de retroalimentación que permitieron validar la calidad del modelo antes de proceder a etapas posteriores, lo cual resultó vital para minimizar errores que afectaran la estimación de costos y los tiempos de ejecución.

Además, al incluir explícitamente las fases de extracción de métricas a partir del modelo digital, aseguró la coherencia de la información para la elaboración del presupuesto y su comparación con la metodología de precios unitarios.

En síntesis, el flujograma fue más que una simple representación gráfica: actuó como una guía operativa que organizó el proceso de adopción de BIM, garantizó la adecuada relación entre entregables y responsables, promovió la estandarización de procesos y contribuyó directamente a mejorar la calidad y la eficiencia del proyecto. Su integración en la propuesta de solución facilitó la replicación sistemática de la metodología en otros proyectos similares, lo que fortaleció la pertinencia y aplicabilidad del modelo.

8.5 Estimación de obra con soporte digital

La estimación con soporte digital se basó en la verificación minuciosa del modelo, asegurando que cada elemento contara con la información necesaria para su cuantificación correcta. En esta etapa se examinaron atributos como dimensiones, materiales, sistemas constructivos y parámetros del catálogo de conceptos. Esta validación inicial previno errores sistemáticos y asegura que los metrados producidos reflejen con precisión las condiciones reales del proyecto.

Una vez validado el modelo, se procedió a la extracción de metrados mediante herramientas automáticas del entorno digital. Estas cantidades se exportaron directamente a tablas vinculadas al catálogo de costos, lo que permitió elaborar presupuestos completos sin necesidad de realizar mediciones manuales.

De este modo, los metrados se convirtieron en un documento dinámico que se actualizaba de inmediato al modificar el modelo. Entre las ventajas de este enfoque se incluyen:

- Reducción significativa de los errores humanos, frecuentes en mediciones manuales.
- Mayor rapidez en la elaboración de presupuestos, documentada entre un 30 % y un 50 % en estudios recientes.
- Trazabilidad completa de las cantidades extraídas del modelo.
- Disminución del retrabajo al eliminar las discrepancias entre los planos y los presupuestos.

Según investigaciones recientes, el uso del modelado 5D redujo las desviaciones presupuestales y aumentó la confianza del equipo técnico en la estimación de costos (Park & Yun, 2023; Rashidi et al., 2024). En resumen, la estimación digital potenció la precisión técnica y disminuyó la incertidumbre, convirtiéndose en una alternativa superior al enfoque manual tradicional.

8.6 Entrega de resultados y protocolos de revisión

En la etapa final del proceso, los resultados se integraron y se presentaron de acuerdo con lo establecido en el BEP, garantizando la consistencia documental y la trazabilidad. Esta entrega incluyó:

- Modelo BIM final, con documentación completa y verificable.
- Reportes de revisión derivados de los procesos de coordinación.
- Listados de interferencias resueltas y de decisiones tomadas.
- Metrados y presupuestos generados automáticamente.
- Cronograma 4D y visualización del proceso constructivo.
- Bitácora de cambios y actualizaciones realizadas en el modelo.

Adicionalmente, se realizó una revisión cruzada con los requisitos iniciales del proyecto, asegurando que el modelo cumpliera con los estándares, los niveles de información y las especificaciones técnicas establecidos. Este procedimiento garantizó la transparencia, minimizó la pérdida de datos y facilitó la transición efectiva a fases posteriores, como la supervisión, la licitación o la ejecución. Los protocolos de revisión digital se alinearon con las mejores prácticas recomendadas por organismos como Building SMART y la serie ISO 19650, que subrayan la importancia de una gestión documental estructurada para asegurar la calidad y la fiabilidad del modelo (Al-Shammari et al., 2022; ISO, 2018).

8.7 Resultados de la propuesta implementada

La implementación de esta solución permitió:

- Mayor precisión en metrados, disminuyendo inconsistencias;
- Actualización automática de costos, mejorando la oportunidad de la información;
- Reducción del tiempo de elaboración, aumentando la eficiencia;
- Mejor coordinación interdisciplinaria, reduciendo retrabajos;
- Disminución de sobrecostos, como lo evidencia la literatura y los estudios comparativos;
- Profesionalización del proceso de diseño, con base en estándares internacionales.

Estas mejoras se alinearon con la tendencia mundial hacia la digitalización y con los beneficios documentados en proyectos de infraestructura y edificación, donde BIM ha fortalecido la coordinación, la trazabilidad financiera y la toma de decisiones basada en datos (Castañeda et al., 2024; Mahboob et al., 2024).

9. Resultados

9.1 Análisis de resultados

El procedimiento desarrollado en esta investigación se dividió en tres fases fundamentales: la creación del cronograma de obra (4D), la elaboración del modelo tridimensional (3D) y la preparación del presupuesto de obra (5D).

Estas etapas permitieron realizar una comparación directa entre el método tradicional de precios unitarios y la metodología digital basada en el modelado de la información de la construcción. Los hallazgos más relevantes se sintetizan en la Tabla 1, donde se evidencian diferencias significativas en la precisión, los tiempos de ejecución y el nivel de integración del proyecto.

En la metodología tradicional, la documentación se genera principalmente en dos dimensiones, lo que limita la representación realista del proyecto y aumenta la probabilidad de inconsistencias entre planos, generadores y cantidades de obra. Además, la elaboración manual de números generadores requiere un tiempo prolongado debido a la falta de procesos automatizados.

Por otro lado, la metodología digital permite un acercamiento más fiel al proyecto real, integrando modelos tridimensionales desde etapas iniciales y ofreciendo una visualización detallada de los componentes y sus dimensiones.

Este enfoque también posibilita la articulación de fases adicionales: la simulación temporal (4D), que ayuda a comprender la secuencia constructiva, y la estimación automática de cantidades (5D), que mejora la precisión de los metrados y del presupuesto final.

Tabla 1. Hallazgos encontrados.

Metodología tradicional	Metodología BIM
Las planimetrías se generan principalmente en 2D.	Presenta un modelo digital coordinado del proyecto desde la fase 3D.
Los números generadores tardan más debido a la falta de automatización.	La fase 4D vincula el modelo con el cronograma y permite visualizar la secuencia constructiva.
No cuenta con las dimensiones reales de los elementos proyectados.	La fase 5D permite cuantificar partidas y vincularlas directamente con el presupuesto.
El trabajo entre especialidades suele desarrollarse de forma secuencial y con menor integración documental.	Integra especialidades en un entorno colaborativo y mejora la coordinación del proyecto.
La actualización del presupuesto depende de revisiones manuales y es más propensa a omisiones.	Presenta una mayor consistencia entre las cantidades, el modelo y el presupuesto, a partir de datos modelados y verificables.”

Fuente: elaboración propia con base en el análisis comparativo del caso de estudio.

La creación del cronograma de actividades en un entorno 4D, utilizando herramientas como Microsoft Project, proporcionó una visión más clara y detallada del proceso de ejecución. La conexión directa entre el cronograma y el modelo tridimensional permitió generar una simulación visual de la evolución del proyecto a lo largo del tiempo e identificar la ruta crítica de las actividades que condicionaron la duración del caso de estudio.

La duración total, las precedencias y las actividades críticas quedaron documentadas en el anexo "Cronograma de obra en MS Project", lo que aseguró la trazabilidad temporal del análisis y permitió vincular la planeación 4D con la interpretación de costos (Véase figura 12).

IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA BIM EN COSTOS DE OBRA

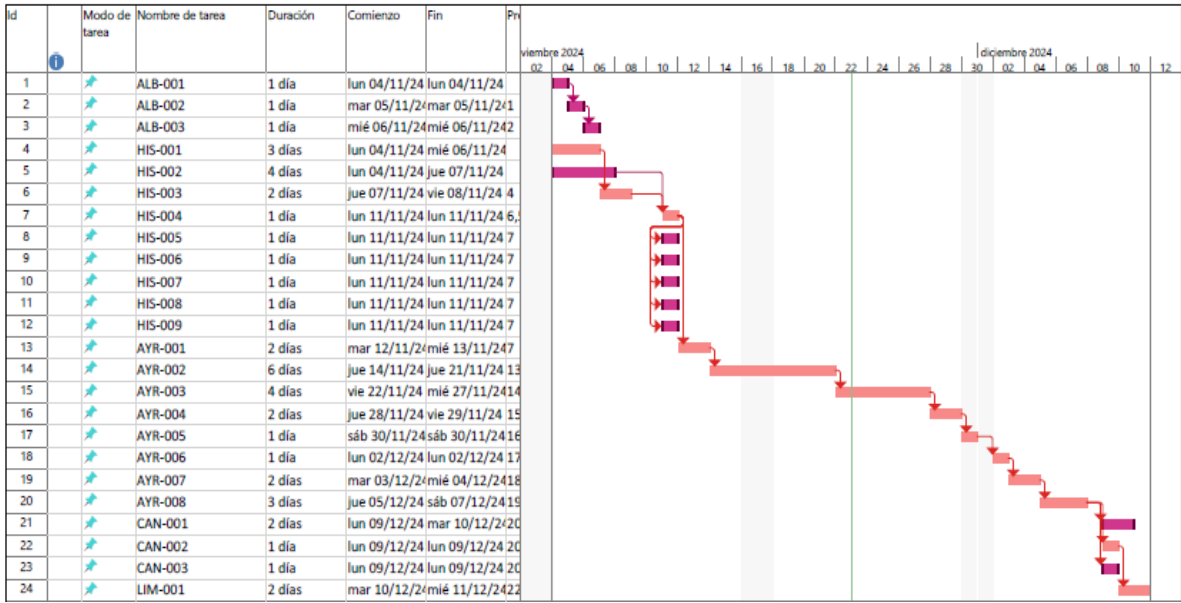


Figura 12. Cronograma de obra y ruta crítica en MS Project.

Fuente: elaboración propia.

El análisis comparativo del presupuesto por partidas reveló diferencias notables entre ambos enfoques. La discrepancia porcentual del presupuesto se calculó mediante la expresión $[(P_{\text{tradicional}} - P_{\text{BIM}}) / P_{\text{tradicional}}] \times 100$, tomando como base los totales y los desgloses incluidos en los anexos "Presupuesto con el método tradicional de precios unitarios" y "Presupuesto realizado con BIM". Con esta operación se obtuvo una reducción del 11.43 % en el presupuesto total asociado al modelo BIM respecto del método tradicional. Esta diferencia se atribuyó a la mayor precisión geométrica del modelo, a la eliminación de duplicidades y a la consistencia entre las cantidades y los conceptos de obra.

Con el fin de interpretar correctamente la diferencia porcentual obtenida (11.43 %), es importante precisar que esta no debe entenderse como un ahorro directo atribuible a la metodología BIM, sino como el resultado de una cuantificación más precisa y consistente de las cantidades de obra.

El análisis detallado de las partidas mostró que las variaciones no fueron uniformes: en algunos conceptos se identificaron incrementos asociados a la detección de elementos previamente omitidos o subestimados en el método tradicional, mientras que en otros se observaron reducciones derivadas de la eliminación de duplicidades o inconsistencias en los generadores manuales.

Por lo tanto, la diferencia global en el presupuesto refleja principalmente una mejora en la calidad de la información y en la coherencia geométrica del modelo, más que una disminución inherente del costo del proyecto.

De manera similar, los metrados obtenidos del modelo digital, como se ilustra en la Figura 13, mostraron una mayor concordancia con las dimensiones reales del proyecto. Las diferencias observadas respecto del procedimiento tradicional evidenciaron que la modelación tridimensional facilitó la detección de discrepancias que no resultaban evidentes en los planos 2D, lo que mejoró la fiabilidad de las cantidades de obra.

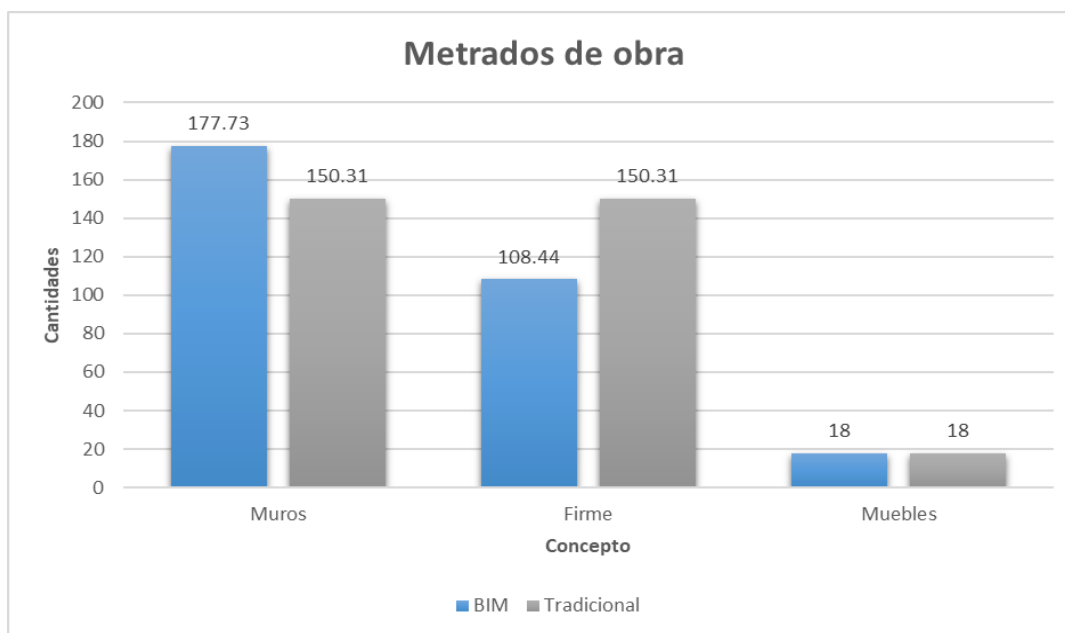


Figura 13. Metrados de obra.

Fuente: elaboración propia.

El contraste detallado de muros, firme y muretes quedó documentado en el anexo correspondiente de metrados, donde se observó que las diferencias provinieron principalmente de omisiones y simplificaciones asociadas a la medición bidimensional.

Finalmente, la figura 14 se muestra cómo se distribuyó el tiempo dedicado a las diferentes actividades en ambas metodologías. El análisis del caso evidenció una mejora operativa aproximada del 12% en el tiempo requerido para modelar, revisar y actualizar la información presupuestaria mediante el enfoque digital. No obstante, este porcentaje se obtuvo a partir del registro comparativo del caso de estudio y se interpretó como una estimación contextual, no como un valor universal extrapolable a cualquier proyecto.

Aun con esa cautela, el patrón observado confirmó que la centralización de la información y la automatización de los cambios redujeron retrabajos, consultas cruzadas y los tiempos de reconciliación documental frente al método tradicional.

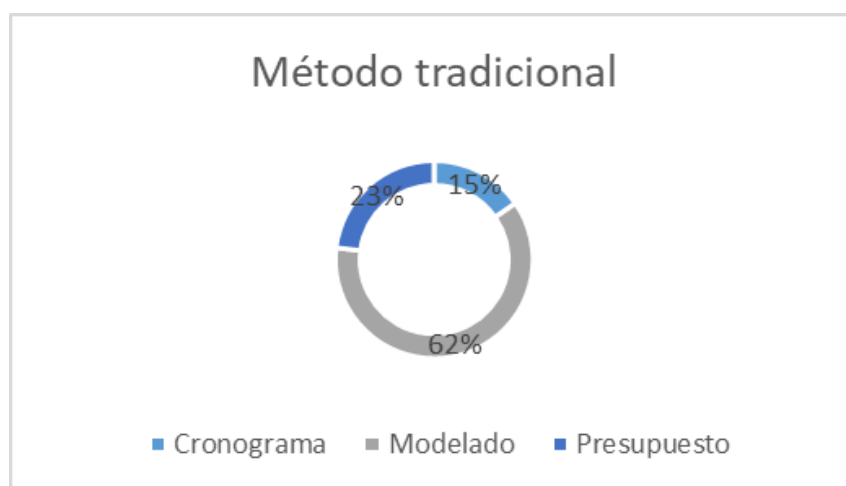


Figura 14. Distribución del tiempo con el método tradicional.

Fuente: elaboración propia.

En conjunto, los hallazgos corroboraron que la metodología digital presentó beneficios relevantes frente al enfoque tradicional, tanto en precisión como en tiempos y costos, lo que reafirmó su valor como herramienta para optimizar la gestión constructiva en proyectos de rehabilitación.

9.2 El objetivo principal de esta investigación fue comparar la estimación de costos obtenida mediante el método tradicional de precios unitarios con la derivada de BIM 5D, con el propósito de identificar cuál de los dos enfoques ofreció mayores beneficios en precisión de metrados, eficiencia operativa y optimización de costos. Los hallazgos revelaron discrepancias significativas entre ambas metodologías y mostraron una ventaja clara del enfoque BIM en la integración de la información, la consistencia entre el modelo y el presupuesto y la reducción de errores de cuantificación.

La interpretación de estos resultados coincidió con estudios recientes que han documentado mejoras en la confiabilidad del presupuesto cuando este se apoya en modelos coordinados, propiedades verificables y reglas explícitas de cuantificación (Rashidi et al., 2024; Abdullah et al., 2023; Park & Yun, 2023; Valinejadshoubi et al., 2024). No obstante, el aporte de este estudio no radicó únicamente en confirmar que BIM puede ser ventajoso, sino en mostrar, dentro de un caso real de rehabilitación, que la principal diferencia frente al método tradicional se concentró en la trazabilidad técnico-presupuestal y no solo en la generación de un modelo visualmente más completo.

En comparación con la literatura internacional, el caso analizado confirmó tres patrones: mayor consistencia geométrica de los metrados, mejor articulación entre cronograma y presupuesto, y menor necesidad de retrabajo al actualizar la información. Estos hallazgos son congruentes con lo reportado por Alathamneh et al. (2024), Rostamiasl y Jrade (2024) y Doukari et al. (2022). Sin embargo, el presente estudio también mostró que el beneficio observado dependió del nivel de estructuración del modelo y de la calidad de los datos de entrada, por lo que BIM no debe entenderse como una garantía automática de precisión.

Respecto de la hipótesis planteada, los resultados la respaldaron. Se observó una mayor

precisión en los metrados con la implementación de BIM y, aunque en algunas partidas ello derivó en ligeros incrementos de costo, dichas variaciones se explicaron por la identificación de cantidades reales que el método tradicional había subestimado u omitido. En consecuencia, la reducción global del 11.43 % no debe interpretarse como un ahorro universal atribuible a cualquier implementación BIM, sino como el efecto de una cuantificación más coherente, trazable y ajustada a la geometría efectiva del proyecto.

Este matiz es relevante porque una discusión comparativa rigurosa exige distinguir entre reducción de costo y mejora de confiabilidad. En este caso, el hallazgo más sólido no fue que BIM siempre abarata el proyecto, sino que fortaleció la confiabilidad de la estimación al reducir omisiones, duplicidades y discordancias entre generadores, cronograma y presupuesto. Esa lectura resulta metodológicamente más robusta y se alinea con la evidencia de Park y Yun (2023), quienes relacionaron las propiedades del modelo con una mejor capacidad predictiva del costo en etapas tempranas.

La distribución del tiempo presentada en las gráficas se basó en el registro operativo del caso y en ejercicios de modelado realizados durante el desarrollo del proyecto; por ello, el porcentaje asociado al tiempo se interpretó como evidencia contextual de eficiencia y no como un parámetro universal extrapolable. Asimismo, el tamaño relativamente acotado del proyecto facilitó la coordinación del modelo; por ello, investigaciones futuras deberían contrastar estos resultados en obras de mayor escala, complejidad e incertidumbre operativa. Finalmente, es necesario reconocer las limitaciones del estudio. El modelado BIM desarrollado no incorporó factores externos, como fluctuaciones del mercado, cambios imprevistos en los precios de materiales o variables macroeconómicas que pudieran afectar el presupuesto final. Tampoco se evaluaron una implementación organizacional de largo

plazo ni un entorno de adopción multinivel. Por ello, futuras investigaciones deberían ampliar la comparación a proyectos de mayor complejidad y considerar indicadores complementarios de riesgo, madurez digital y desempeño financiero.

La aportación central de la tesis consistió, por tanto, en demostrar con evidencia aplicada que BIM 5D ofrece una ventaja metodológica frente al método tradicional cuando la comparación se centra en la coherencia entre cantidades, tiempo y costo en un caso real de rehabilitación. A pesar de los resultados obtenidos, es necesario reconocer las limitaciones del estudio. En primer lugar, el caso de análisis corresponde a un proyecto de rehabilitación de escala específica, por lo que los resultados no pueden generalizarse directamente a proyectos de mayor complejidad o de tipología diferente.

Asimismo, el modelo BIM desarrollado dependió del nivel de detalle (LOD) alcanzado, lo que implica que la precisión de los metrados está directamente vinculada a la calidad de la información ingresada.

Adicionalmente, el análisis no incorporó variables externas como fluctuaciones del mercado, variabilidad en los precios de materiales o factores macroeconómicos, los cuales pueden influir significativamente en el costo final de un proyecto.

Por ello, futuras investigaciones deberían considerar estos factores y evaluar el comportamiento de la metodología en distintos contextos y escalas.

10 Conclusiones

El análisis integral desarrollado en esta investigación permitió establecer una relación directa y coherente entre los resultados obtenidos y los objetivos planteados desde el inicio del estudio. En primer lugar, el objetivo general, orientado a comparar la precisión, la eficiencia y la gestión de costos entre la metodología digital y el enfoque tradicional, se cumplió al demostrarse que el uso del modelado digital proporcionó estimaciones más precisas, redujo las inconsistencias y optimizó el control presupuestal.

Los hallazgos confirmaron que la integración de información en un entorno tridimensional y multidimensional fortaleció la confiabilidad de la estimación frente a los cálculos basados exclusivamente en precios unitarios.

En cuanto al primer objetivo específico, centrado en evaluar la eficiencia en la elaboración y actualización de presupuestos, los resultados evidenciaron que la metodología digital agilizó los procesos, disminuyó el tiempo operativo necesario para la estimación y fortaleció la trazabilidad de la información. La automatización de la generación de metrados y la actualización inmediata de los datos constituyeron ventajas significativas frente al procedimiento manual del método tradicional.

En conjunto, los resultados permitieron concluir que la adopción de una metodología digital no solo cumplió con las metas establecidas en esta investigación, sino que también representó un avance significativo hacia procesos de construcción más eficientes, transparentes y técnicamente fundamentados. En términos de aportación, la tesis dejó evidencia de que el valor de BIM 5D en proyectos de rehabilitación no se limita a la visualización del proyecto, sino que reside en su capacidad para articular con mayor confiabilidad los metrados, el cronograma y el presupuesto frente al método tradicional de precios unitarios.

En conjunto, los resultados permitieron concluir que la adopción de una metodología digital no solo cumplió con las metas establecidas en esta investigación, sino que también representó un avance significativo hacia procesos de construcción más eficientes, transparentes y técnicamente fundamentados.

En términos de contribución, esta investigación aporta evidencia empírica aplicada que respalda el uso de la metodología BIM como herramienta para mejorar la calidad de la información en la estimación de costos, destacando su capacidad para reducir la incertidumbre en la cuantificación y para fortalecer la toma de decisiones en proyectos de rehabilitación.

Anexos

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
APLANADOS Y RECUBRIMIENTOS				
APLANADOS Y EMBOQUILLADOS EN MUROS INTERIORES Y EXTERIORES DE BLOCK A 3 CAPAS, RICH (CG:P) 1:2.5, EMP. (CG:C:P) 1:4:12 Y EST. (CG:C:PC) 1:18:9 A PLOMOY REGLA CON ESPESOR PROMEDIO DE 2.50 CMS. DE 0.00 A 3.00 ALTURA. INC. ACARREOS Y REMATES.	M2	380.95	\$263.63	\$100,428.32
APLANADOS Y EMBOQUILLADOS EN PLAFOND A 3 CAPAS,RICH (CG:P) 1:2.5, EMP.(CG:C:P) 1:4:12 Y EST.(CG:C:PC) 1:18:9 A PLOMO Y REGLA, ESP. PROM. 2.50 CMS. DE 5.01 A 10.00 MT.DE ALTURA INC.REMATES,ANDAMIOS Y ACARREO LIBRE A 20 MTS.	M2	150.31	\$304.09	\$45,708.44
PERFILACION DE ARISTAS A PLOMO Y REGLA EN COLUMNAS, TRABES, CLAROS DE PUERTAS Y VENTANAS DE 0.00 A 6.00 MTS. DE ALT. (DONDE NO HAY UNION DE MUROS). INC.ANDAMIOS Y LIMPIEZA.	ML	116.80	\$203.50	\$23,769.27
FIRME DE CONCRETO PULIDO F'C= 250 KG/CM2 DE 10 CMS. DE ESPESOR COLADO CONTINUO. REFORZADO CON MALLA ELECTRO-SOLDADA 10-10-6-6 INC.CIMBRA Y ACABADO PULIDO, CORTES, SELLOS MAT., M.DE OBRA, HABILITADO Y HTA.	M2	150.31	\$1,322.50	\$198,784.98
SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE IMPERMEABILIZANTE FESTER BON A 5 AÑOS O SIMILAR EN CALIDAD INCLUYE PREPARACION DE LA SUPERFICIE, SELLADOR VINILICO, ANDAMIAJE, MATERIALES, MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA.	M2	150.31	\$224.25	\$33,707.02
PINTURA VINILICA LINEA MEDIA P.B.(DESTAJO) SOBRE PLAFON, INCLUYE MANO DE OBRA Y TODO LO NECESARIO PARA LA REALIZACION DEL TRABAJO, PROTECCION DE PISOS, PUERTAS, ETC. LIMPIEZA DEL AREA DE TRABAJO EN CASO DE NO SUM. Y APLIC. DE PINTURA VINIL-ACRÍLICA A 3 AÑOS MARCA BEREL (BERELINTE), THERMOTEK DECORATEK COLOR), ACUARIO (CONSTELACIÓN), O SIMILAR EN CALIDAD, A 2 CAPAS Y 1 DE SELLADOR EN MUROS CON SUPERFICIELISA DE 0.00 A 3.00 M. DE ALTURA. INC. MAT., M. DE OBRA Y HTA.	M2	150.31	\$92.61	\$13,920.13
	M2	380.95	\$44.39	\$16,910.37
APLANADOS Y RECUBRIMIENTOS				\$433,228.53
CANCELERIA				
SUMINISTRO Y COLOCACION DE PUERTA DE MULTIPANEL DE .85 cm X2.13 cm, INC. FIJO, ACCESORIOS CONMARCO METALICO, MANO DE OBRA Y HTA.	M2	5.43	\$2,906.03	\$15,779.73
VENTANA DE ALUMINIO LINEA DE 3" CON CRISTAL DE 6 MM TIPO FIJO, INC. , VINILO, MATERIAL, MANO DE OBRA Y HTA. MENOR.	PIEZA	6.00	\$1,809.00	\$10,853.98
CORTINA METALICA AUTOENRROLLABLE DE 2.70 MTS DE ANCHO X 2.50 MTS DE ALTURA	PIEZA	2.00	\$9,878.50	\$19,757.00
				\$46,390.70

IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA BIM EN COSTOS DE OBRA

INSTALACION HIDROSANITARIA				
SALIDA HIDRAULICA CON TUBERIA Y CONEXIONES CON TUBERIA DE CPVC EN MODULO SANITARIO INCLUYE MATERIAL, MANO DE OBRA CONEXIONES, HERRAJES Y RESANES.	SAL	14.00	\$1,159.17	\$16,228.37
SALIDA SANITARIA CON TUBERIA PVC SANITARIO LISO EN MODULO SANITARIO INC. CONEXIONES RAMALEOS Y TENDIO MANO DE OBRA Y HERRAMIENTA.	SAL	19.00	\$1,182.08	\$22,459.56
INTERCONEXION DE BAJANTE DE 50 MM. DE DIAM. PARA 1 TINACO CON TUBERIA Y CONEXIONES DE CPVC INCLUYE VALVULA DE ESFERA DE 50 MM.	PZA	10.00	\$1,710.29	\$17,102.91
SUM. Y COLOC. DE INODORO DE CAJA BLANCO MARCA IDEAL STANDARD MODELO "ZAFIRO" O SIMILAR. INC. CUELLO DE CERA, COFLEX AGUA-ACERO, LLAVE DE ESCUADRA Y CHAPETON.	PZA	1.00	\$6,656.43	\$6,656.43
SUM. Y COLOC. DE TARJA METALICA DE ACERO INOX MARCA IDEAL STANDARD METAL O SIMILAR. INC. CUELLO DE CERA, COFLEX AGUA-ACERO, LLAVE DE ESCUADRA Y CHAPETON.	PZA	1.00	\$5,850.63	\$5,850.63
SUM.Y COLOC.LAVABO BCO. MCA. IDEAL STANDARD MOD. "VERACRUZ" II O SIMILAR. INC. ALIMENTADOR, LLAVE INDIVIDUAL MOD. KING., CESPOL DE LATON CROMADO Y ACCESORIOS DE FIJACION.	PZA	1.00	\$2,896.43	\$2,896.43
SUMINISTRO Y COLOCACION DE COLADERA DE PVC MARCA REXOLIT DE PISO. INC. CONEXIONES.	PZA	6.00	\$2,374.13	\$14,244.78
SUM. Y COLOC. DE MINGITORIO BLANCO MARCA IDEAL STANDARD MODELO "NIAGARA" O SIMILAR. INC. LLAVE DE PASO.	PZA	2.00	\$3,857.21	\$7,714.41
SUM. Y COLOCACION DE TINACO DE 1100 LTS , INC. BASE E INSTALACION, MATERIAL, MANO DE OBRA Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.	PZA	1.00	\$11,174.91	\$11,174.91
INSTALACION HIDROSANITARIA				\$104,328.42
SUBTOTAL		\$583,947.66		

IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA BIM EN COSTOS DE OBRA

Presupuesto realizado con BIM

PRESUPUESTO DE OBRA

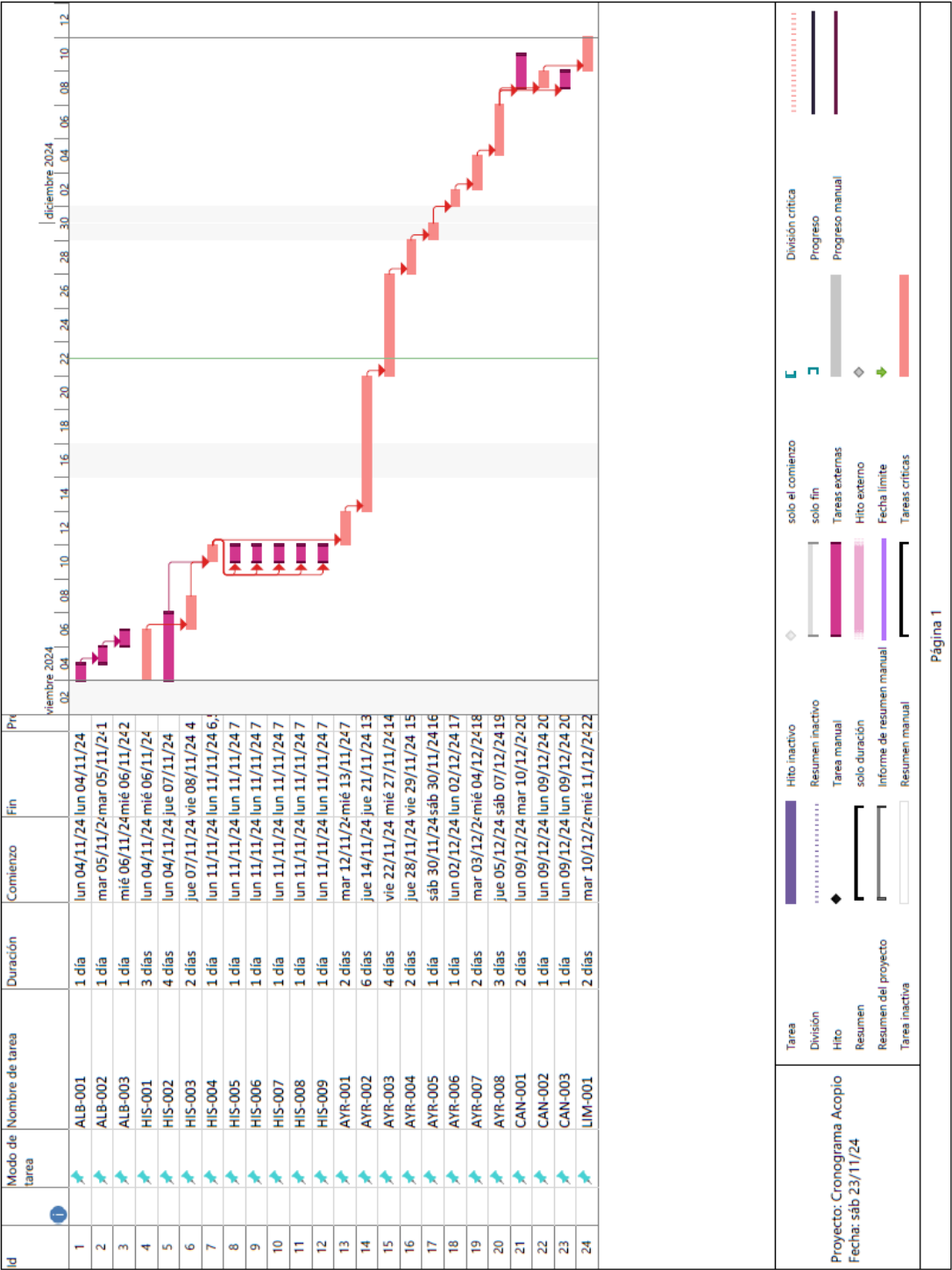
Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe	%
Rehabilitación de Infraestructura						
Albañilería						
ALB-001	FIRME DE CONCRETO F'C= 250 KG/CM2 DE 10	M2	108.4400	\$867.52	\$94,073.87	20.61%
ALB-002	PULIDO DE CONCRETO. INCLUYE: CORTES, SE	M2	108.4400	\$238.57	\$25,870.53	5.67%
ALB-003	LIMPIEZA FINA DE PISO. INCLUYE MATERIALE	LOTE	1.0000	\$1,000.00	\$1,000.00	0.22%
TOTAL Albañilería					\$120,944.40	26.49%
Instalación Hidrosanitaria						
HIS-001	TUBERIA DE PVC DE 40MM, 50MM, 65MM, EN	ML	149.0000	\$64.28	\$9,577.72	2.10%
HIS-002	CONEXIONES DE PVC LISO EN DISTINTOS DIAM	PZA	63.0000	\$30.83	\$1,942.29	0.43%
HIS-003	INTERCONEXION DE BAJANTE DE 20MM. DE DIA	ML	55.6500	\$86.11	\$4,792.02	1.05%
HIS-004	SUM. Y COLOCACION DE TINACO DE 1100 LTS	PZA	1.0000	\$11,174.91	\$11,174.91	2.45%
HIS-005	SUM. Y COLOC. DE INODORO DE CAJA BLANCO	PZA	1.0000	\$6,656.43	\$6,656.43	1.46%
HIS-006	SUM. Y COLOC. DE TARJA METALICA DE ACERO	PZA	1.0000	\$5,850.63	\$5,850.63	1.28%
HIS-007	SUM.Y COLOC.LAVABO BCO. MCA. IDEAL STAND	PZA	1.0000	\$2,896.43	\$2,896.43	0.63%
HIS-008	SUMINISTRO Y COLOCACION DE COLADERA DE P	PZA	6.0000	\$1,953.00	\$11,718.00	2.57%
HIS-009	SUM. Y COLOC. DE MINGITORIO BLANCO MARCA	PZA	2.0000	\$3,857.21	\$7,714.42	1.69%
TOTAL Instalación Hidrosanitaria					\$62,322.85	13.65%
Aplanados y recubrimientos						
AYR-001	APLANADOS Y EMBOQUILLADOS EN PLAFOND RIC	M2	177.7300	\$263.63	\$46,854.96	10.26%
AYR-002	APLANADOS Y EMBOQUILLADOS EN PLAFOND EMP	M2	177.7300	\$263.63	\$46,854.96	10.26%
AYR-003	APLANADOS Y EMBOQUILLADOS EN PLAFOND EST	M2	177.7300	\$263.63	\$46,854.96	10.26%
AYR-004	PERFILACION DE ARISTAS A PLOMO Y REGLA E	ML	177.7300	\$203.50	\$36,168.06	7.92%
AYR-005	SUMINISTRO Y APLICACIÓN DE IMPERMEABILIZ	M2	118.4300	\$224.25	\$26,557.93	5.82%
AYR-006	APLICACIÓN DE SELLADOR PARA PINTURA COME	M2	177.7300	\$13.24	\$2,353.15	0.52%
AYR-007	PINTURA VINILICA LINEA MEDIA P.B.(DESTAJ	M2	118.4300	\$92.61	\$10,967.80	2.40%
AYR-008	SUM. Y APLIC. DE PINTURA VINIL-ACRÍLICA	M2	355.4600	\$44.39	\$15,778.87	3.46%
TOTAL Aplanados y recubrimientos					\$232,390.69	50.91%
Cancelería						
CAN-001	SUMINISTRO Y COLOCACION DE PUERTA DE MUL	PZA	3.0000	\$2,906.03	\$8,718.09	1.91%
CAN-002	VENTANA DE ALUMINIO LINEA DE 3" CON CRIS	PIEZA	6.0000	\$1,809.00	\$10,854.00	2.38%
CAN-003	CORTINA METALICA AUTOENRRROLLABLE DE 2.70	PZA	2.0000	\$8,878.50	\$17,757.00	3.89%
TOTAL Cancelería					\$37,329.09	8.18%
Limpiezas						
LIM-001	LIMPIEZA FINA DE MUROS Y CANCELERÍAS, I	LOTE	1.0000	\$3,500.00	\$3,500.00	0.77%
TOTAL Limpiezas					\$3,500.00	0.77%
TOTAL Rehabilitación de Infraestructura					\$456,487.03	100.00%

TOTAL DEL PRESUPUESTO MOSTRADO SIN IVA:

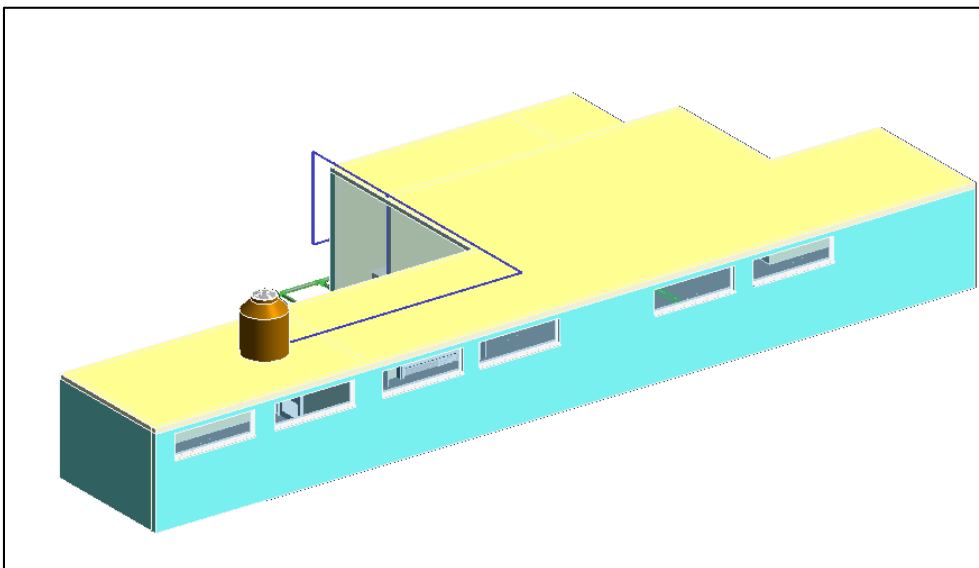
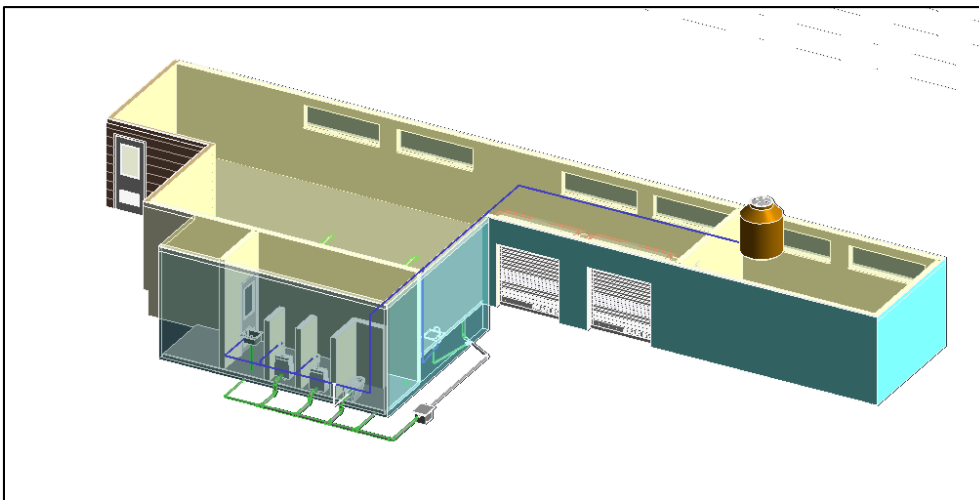
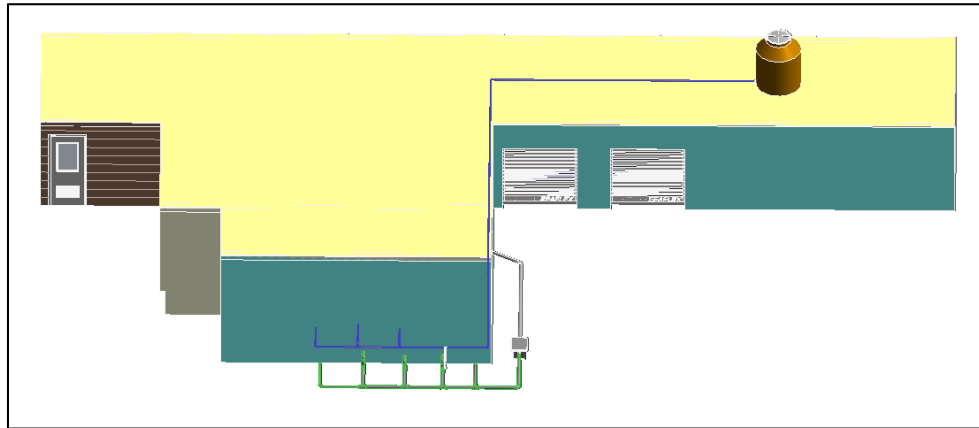
\$456,487.03

(* CUATROCIENTOS CINCUENTA Y SEIS MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y SIETE PESOS 03/100 M.N. *)

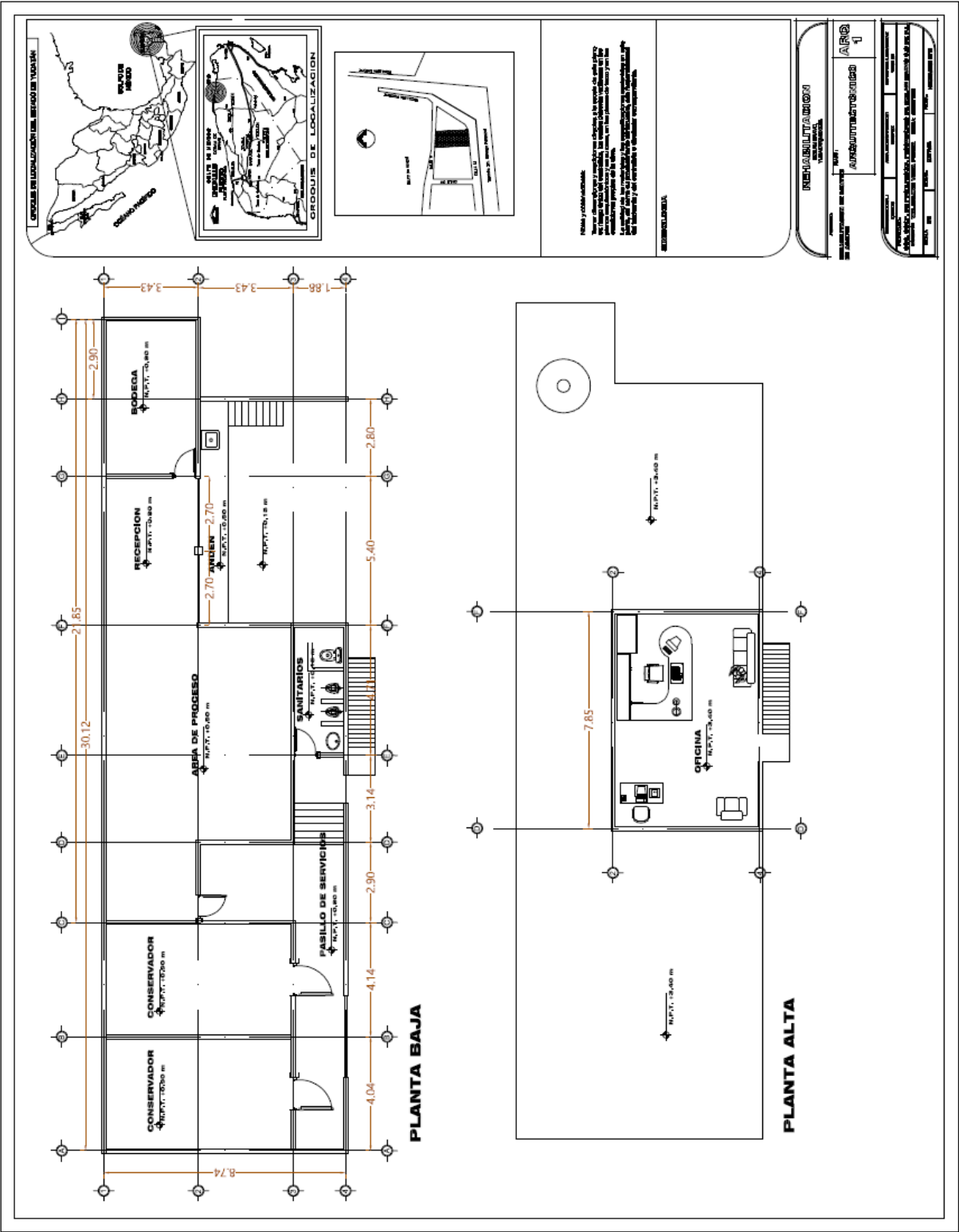
Cronograma de obra en MS Project



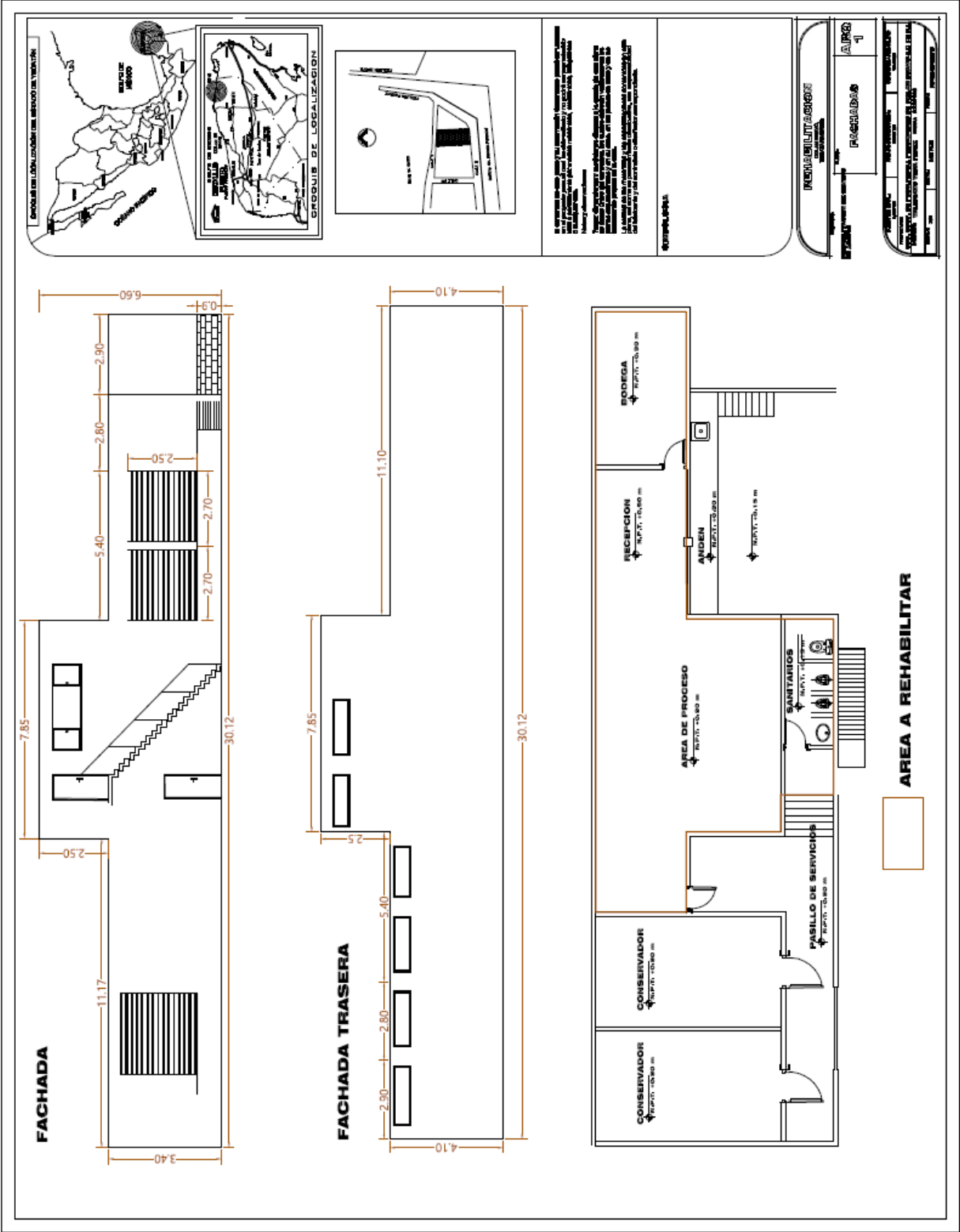
Modelo tridimensional en revit



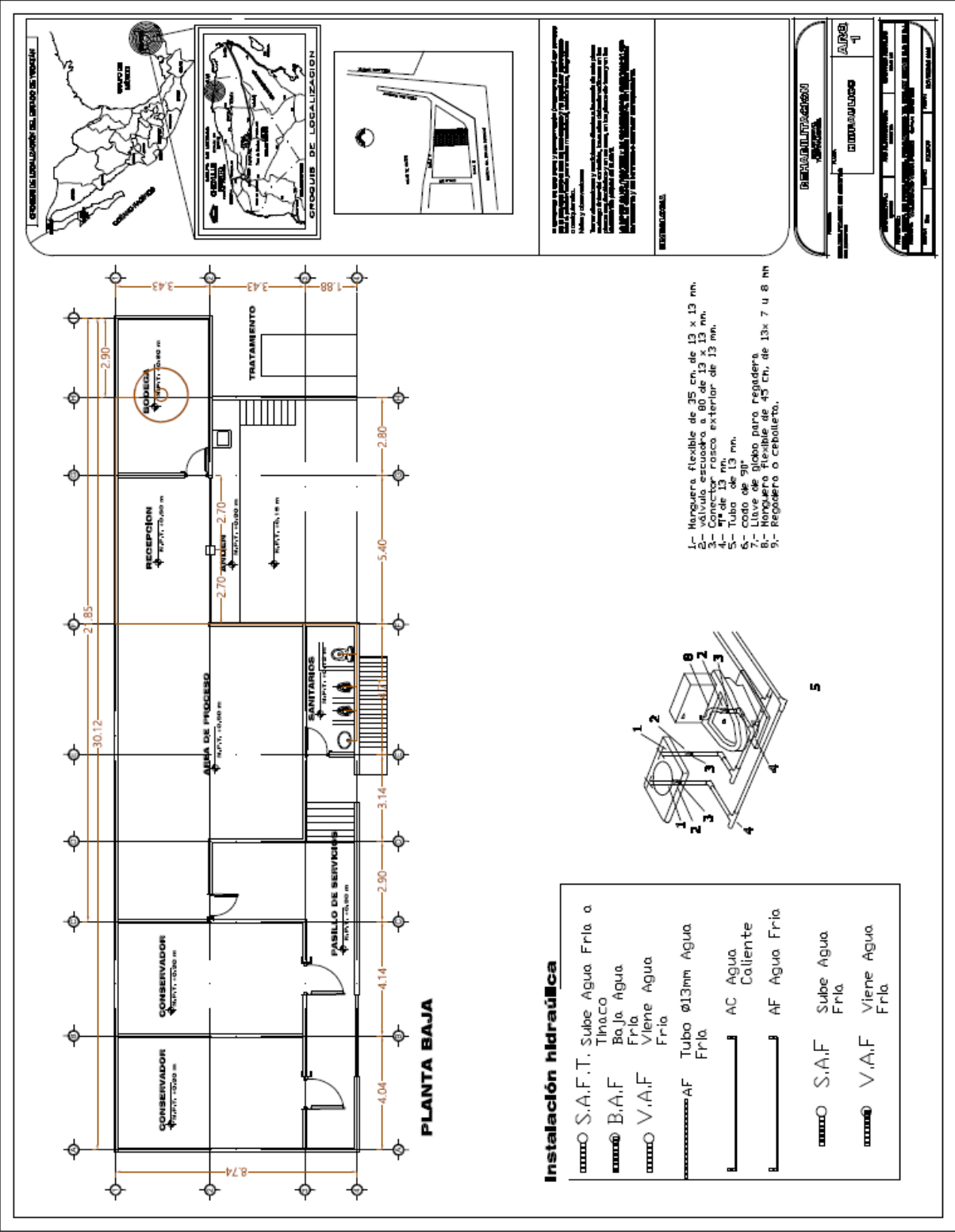
Plano arquitectónico



Plano de fachadas



Plano de instalación hidrosanitaria



11 Bibliografía

- Abdelalim, A. M., Elhakeem, A., Alnaser, A. A., Shibeika, A., & Elsayed, A. M. (2024). VEIDEA: A comprehensive framework for implementing building information modeling-based value engineering within a common data environment in construction projects. *Applied Sciences*, 14(21), 9807. <https://doi.org/10.3390/app14219807>
- Akanbi, T., & Zhang, J. (2021). Design information extraction from construction specifications to support cost estimation. *Automation in Construction*, 131, 103835. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103835>
- Al-Ashmori, Y. Y., Othman, I., Rahmawati, Y., Amran, Y. H. M., Abo Sabah, S. H., Rafindadi, A. D., & Mikić, M. (2020). BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*, 11(4), 1013–1019. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.02.002>
- Alaboud, N., & Alshahrani, A. (2023). Adoption of building information modeling in the Saudi construction industry: An interpretive structural modeling. *Sustainability*, 15(7), 6130. <https://doi.org/10.3390/su15076130>
- Alathamneh, S., Collins, W., & Azhar, S. (2024). BIM-based quantity takeoff: Current state and future opportunities. *Automation in Construction*, 165, 105549. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105549>
- Alnajjar, O., Atencio, E., & Turmo, J. (2025a). A systematic review of Lean construction, BIM, and emerging technologies integration: Identifying key tools. *Buildings*, 15(16), 2884. <https://doi.org/10.3390/buildings15162884>
- Alnajjar, O., Atencio, E., & Turmo, J. (2025b). Framework for optimizing the construction process: The integration of Lean construction, building information modeling (BIM), and emerging technologies. *Applied Sciences*, 15(13), 7253. <https://doi.org/10.3390/app15137253>
- Alnaser, A. A., Al-Gahtani, K. S., & Alsanabani, N. M. (2024). Building information modeling impacts on cost overrun risk factors and interrelationships. *Applied Sciences*, 14(22), 10711. <https://doi.org/10.3390/app142210711>
- Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*,

- 11(3), 241–252. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Bayzidi, E., Kordestani Ghalenoei, N., & Babaeian Jelodar, M. (2025). The effects of BIM maturity levels on modularization and standardization in the construction industry: A systematic literature review and case studies. *Buildings*, 15(12), 2124. <https://doi.org/10.3390/buildings15122124>
- BIM Task Group México. (2023). *Resultados de la Encuesta Nacional BIM 2023*. <https://www.bimtaskgroupmx.com/encuesta-bim-2023>
- Bitaraf, I., Salimpour, A., Elmi, P., & Shirzadi Javid, A. A. (2024). Improved building information modeling-based method for prioritizing clash detection in the building construction design phase. *Buildings*, 14(11), 3611. <https://doi.org/10.3390/buildings14113611>
- Building Smart Spain. (2021). *Serie de normas ISO 19650*. <https://www.buildingsmart.es/recursos/en-iso-19650/>
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., Gómez-Cabrera, A., & Mejía, G. (2024). Building information modeling uses and complementary technologies in road projects: A systematic review. *Buildings*, 14(3), 563. <https://doi.org/10.3390/buildings14030563>
- Castañeda, K., Sánchez, O., Peña, C. A., Herrera, R. F., & Mejía, G. (2025). BIM is used for mitigating deficiencies in road scheduling planning. *Sustainability*, 17(6), 2729. <https://doi.org/10.3390/su17062729>
- Chong, H.-Y., Yang, X., Goh, C. S., & Luo, Y. (2025). BIM and AI integration for dynamic schedule management: A practical framework and case study. *Buildings*, 15(14), 2451. <https://doi.org/10.3390/buildings15142451>
- Doan, D. T., Atencio, E., Muñoz La Rivera, F., & Alnajjar, O. (2025). A systematic literature review of building information modeling (BIM) and offsite construction (OSC) integration: Emerging technologies and future trends. *Applied Sciences*, 15(18), 9981. <https://doi.org/10.3390/app15189981>
- Doukari, O., Seck, B., & Greenwood, D. (2022). The creation of construction schedules in 4D BIM: A comparison of conventional and automated approaches. *Buildings*, 12(8), 1145. <https://doi.org/10.3390/buildings12081145>
- Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM handbook: A guide to*

- building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470261309>
- EUBIM. (2018). *European BIM standards and guidelines*. <https://www.eubim.com/2018/>
- Gharaibeh, L., Matarneh, S., Lantz, B., & Eriksson, K. (2024). Quantifying the influence of BIM adoption: An in-depth methodology and practical case studies in construction. *Results in Engineering*, 24, 102555. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102555>
- Hosamo, H. H., Rolfsen, C. N., Zeka, F., Sandbeck, S., Said, S., & Sætre, M. A. (2024). Navigating the adoption of 5D building information modeling: Insights from Norway. *Infrastructures*, 9(4), 75. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9040075>
- Hussain, O. A. I., Moehler, R. C., Walsh, S. D. C., & Ahiaga-Dagbui, D. D. (2024). Minimizing cost overrun in rail projects through 5D-BIM: A conceptual governance framework. *Buildings*, 14(2), 478. <https://doi.org/10.3390/buildings14020478>
- ISO. (2018). *ISO 19650-2: Organization of information about construction works—Information management using building information modeling—Part 2: Delivery phase of the assets*. International Organization for Standardization.
- Jing, W., & Alias, A. H. (2024). Key factors for building information modelling implementation in the context of environmental, social, and governance and sustainable development goals integration: A systematic literature review. *Sustainability*, 16(21), 9504. <https://doi.org/10.3390/su16219504>
- Jäkel, J.-I., Fischerkeller, F., Oberhoff, T., & Klemmt-Albert, K. (2024). Development of a maturity model for the digital transformation of companies in the context of Construction Industry 4.0. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 778–809. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.034>
- Kassem, M., & Succar, B. (2017). Macro BIM adoption: Comparative market analysis. *Automation in Construction*, 81, 286–299. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.04.005>
- Kim, D., Matos, J., & Dang, S. N. (2025). Development of BIM platform for semantic data based on standard WBS codes. *Buildings*, 15(5), 711. <https://doi.org/10.3390/buildings15050711>
- Kineber, A. F., Othman, I., Famakin, I. O., Oke, A. E., Hamed, M. M., & Olayemi, T. M. (2023). Challenges to implement building information modeling (BIM) in

- sustainable construction projects. *Applied Sciences*, 13(6), 3426.
<https://doi.org/10.3390/app13063426>
- KonstruEdu. (2024). *Introducción a la metodología BIM*.
<https://konstruedu.com/curso/introduccion-a-la-metodologia-bim923732>
- Liao, J.-F., Kim, H.-Y., & Shin, M.-H. (2025). Quantitative and qualitative benefits of using BIM in design and construction stages for railway development. *Buildings*, 15(2), 180. <https://doi.org/10.3390/buildings15020180>
- Liu, H., Cheng, J. C. P., Gan, V. J. L., & Zhou, S. (2022). A knowledge model-based BIM framework for automatic code-compliant quantity take-off. *Automation in Construction*, 133, 104024. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104024>
- Lobos Calquin, D., Mata, R., Correa, C., Núñez, E., Bustamante, G., Caicedo, N., Blanco Fernández, D., Díaz, M., Pulgar-Rubilar, P., & Roa, L. (2024). Implementation of building information modeling technologies in wood construction: A review of the state of the art from a multidisciplinary approach. *Buildings*, 14(3), 584.
<https://doi.org/10.3390/buildings14030584>
- Mahboob, A., Rathnasinghe, A., Ekanayake, A., & Tennakoon, P. (2024). Evaluating BIM's role in transforming cash flow forecasting among construction SMEs: A Saudi Arabian narrative. *Sustainability*, 16(23), 10221.
<https://doi.org/10.3390/su162310221>
- Manzoor, B., Othman, I., Gardezi, S. S. S., & Harirchian, E. (2021). Strategies for adopting building information modeling (BIM) in sustainable building projects—A case of Malaysia. *Buildings*, 11(6), 249. <https://doi.org/10.3390/buildings11060249>
- Michalski, A., Głodziński, E., & Böde, K. (2022). Lean construction management techniques and BIM technology: A systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 196, 1036–1043. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.107>
- Moon, S., Lee, G., Chi, S., & Oh, H. (2021). Automated construction specification review with named entity recognition using natural language processing. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(1), 04020147.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001953](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001953)
- Nguyen, T. A., Nguyen, T. A., & Tran, V. (2024). Building information modeling for construction project schedule management: A review. *Engineering Technology &*

- Applied Science Research*, 14(2), 13133–13142. <https://doi.org/10.48084/etasr.6834>
- Olanrewaju, O. I., Babarinde, S. A., Chileshe, N., & Sandanayake, M. (2021a). Drivers for the implementation of building information modeling (BIM) within the Nigerian construction industry. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 26(3), 366–386. <https://doi.org/10.1108/JFMPC-12-2019-0090>
- Olanrewaju, O. I., Chileshe, N., Babarinde, S. A., & Sandanayake, M. (2020). Investigating the barriers to building information modeling (BIM) implementation within the Nigerian construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(10), 2931–2958. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2020-0042>
- Olanrewaju, O. I., Kineber, A. F., Chileshe, N., & Edwards, D. J. (2021b). Modelling the impact of building information modelling (BIM) implementation drivers and awareness on project lifecycle. *Sustainability*, 13(16), 8887. <https://doi.org/10.3390/su13168887>
- Park, D., & Yun, S. (2023). Construction cost prediction using deep learning with BIM properties in the schematic design phase. *Applied Sciences*, 13(12), 7207. <https://doi.org/10.3390/app13127207>
- Perera, S., Jin, X., Das, P., Gunasekara, K., & Samaratunga, M. (2023). A strategic framework for digital maturity of design and construction through a systematic review and application. *Journal of Industrial Information Integration*, 31, 100413. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100413>
- Project Management Institute. (2013). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide) (5th ed.)*. Project Management Institute.
- Rashidi, A., Chan, D. W. M., Ravanshadnia, M., Sarvari, H., & Tajaddini, A. (2024). Applying building information modeling (BIM) technology in pre-tender cost estimation of construction projects: A case study in Iran. *Buildings*, 14(5), 1260. <https://doi.org/10.3390/buildings14051260>
- Rostamiasl, V., & Jrade, A. (2024). Integrating building information modeling (BIM) and life cycle cost analysis (LCCA) to evaluate the economic benefits of designing aging-in-place homes at the conceptual stage. *Sustainability*, 16(13), 5743. <https://doi.org/10.3390/su16135743>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2018). *Estrategia para la implementación del*

modelado de la información de la construcción (MIC) en México.

<https://www.gob.mx/shcp/documentos/estrategia-para-la-implementacion-del-modelado-de-informacion-de-la-construccion-mic-en-mexico>

- Shehadeh, A., Alshboul, O., Taamneh, M. M., Jaradat, A. Q., & Alomari, A. H. (2024). Enhanced clash detection in building information modeling: Leveraging modified extreme gradient boosting for predictive analytics. *Results in Engineering*, 24, 103439. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103439>
- Shim, J.-H., Ham, N.-H., & Kim, J.-J. (2024). Collaborative BIM-based construction coordination progress modeling using extended collaborative process modeling (exCPM). *Buildings*, 14(2), 358. <https://doi.org/10.3390/buildings14020358>
- Shin, M.-H., Kim, H.-Y., & Liao, J.-F. (2024). Performance measurement and analysis of building information modeling (BIM) applications in the railway infrastructure construction phase. *Applied Sciences*, 14(2), 502. <https://doi.org/10.3390/app14020502>
- Succar, B. (2009). Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357–375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- Takyi-Annan, G. E., & Zhang, H. (2023). A multivariate analysis of the variables impacting the level of BIM expertise of professionals in the architecture, engineering, and construction (AEC) industries of the developing world using nonparametric tests. *Buildings*, 13(7), 1606. <https://doi.org/10.3390/buildings13071606>
- Tang, S., Liu, H., Almatared, M., Abudayyeh, O., Lei, Z., & Fong, A. (2022). Towards automated construction quantity take-off: An integrated approach to information extraction from work descriptions. *Buildings*, 12(3), 354. <https://doi.org/10.3390/buildings12030354>
- Trejo Carvajal, N. A. (2018). *Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción* [Tesis de licenciatura, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168599>
- Valinejadshoubi, M., Moselhi, O., Iordanova, I., Valdivieso, F., & Bagchi, A. (2024). Automated system for high-accuracy quantity takeoff using BIM. *Automation in*

- Construction*, 157, 105155. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105155>
- Wang, L., Li, J., Ye, Q., Li, Y., & Feng, A. (2024). Automatic planning method of construction schedule under multi-dimensional spatial resource constraints. *Buildings*, 14(10), 3231. <https://doi.org/10.3390/buildings14103231>
- Wang, S.-H., Wang, H.-P., Wang, W.-C., & Huang, S.-C. (2025). Impact of BIM usage levels on project performance: Public construction projects in Taiwan. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 29(6), 100142. <https://doi.org/10.1016/j.kscej.2024.100142>
- Wang, T., & Chen, H.-M. (2023). Integration of building information modeling and project management in the construction project life cycle. *Automation in Construction*, 150, 104832. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104832>
- Zhang, C., Zheng, Z., & Luo, X. (2020). Enhancing construction scheduling through BIM-based simulations. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(9), 2173–2191.