



Escuela de administración

Metodología BIM como herramienta para mejorar la gestión de proyectos en el sector de la construcción – Revisión sistemática de literatura.

Artículo de investigación (Trabajo de grado)

Oscar Alejandro Ramírez Rodríguez

Bogotá

2025



Escuela de administración

Metodología BIM como herramienta para mejorar la gestión de proyectos en el sector de la construcción – Revisión sistemática de literatura.

Artículo de investigación (Trabajo de grado)

Oscar Alejandro Ramírez Rodríguez

Tutor:

Clara Inés Pardo Martínez

Maestría en Dirección

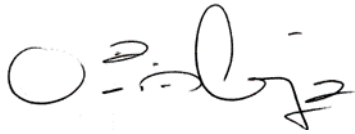
Escuela de Administración

Fecha de aprobación final: 18/02/2025

Bogotá, Colombia

2025

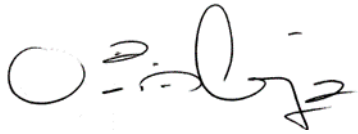
Declaro bajo gravedad de juramento, que he escrito la presente tesis de maestría por mi propia cuenta, y que, por lo tanto, su contenido es original. Declaro que he indicado clara y precisamente todas las fuentes directas e indirectas de información, y que esta tesis de maestría no ha sido entregada a ninguna otra institución con fines de calificación o publicación.



Oscar Alejandro Ramírez Rodríguez

18/02/2025

Declaro que la responsabilidad intelectual del presente trabajo es exclusivamente de su autor. La Universidad del Rosario no se hace responsable de contenidos, opiniones o ideologías expresadas total o parcialmente en él.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Oscar Alejandro Ramírez Rodríguez', with a stylized flourish at the end.

Oscar Alejandro Ramírez Rodríguez

18/02/2025

Metodología BIM como herramienta para mejorar la gestión de proyectos en el sector de la construcción – Revisión sistemática de literatura.

Resumen

La aparición de Building Information Modelling - BIM en la industria de la construcción ha ocasionado mejoras significativas en los procesos y en la coordinación de los proyectos permitiendo la colaboración entre practicantes y académicos. La “Construcción y gestión de proyectos” es la categoría que abarca el mayor número de publicaciones de investigación relacionadas con BIM, involucrando además un alto número de temas. El portafolio de funcionalidades o capacidades que posee esta herramienta es amplio. Comprende el modelado tridimensional 3D, 4D (tiempo), 5D (costos), 6D (operación), 7D (sostenibilidad) hasta 8D (funcionalidad), pudiéndose aplicar desde el diseño conceptual, pasando por la construcción y entrega del proyecto hasta la fase de funcionamiento de las instalaciones construidas. Aparte del conocimiento que requiere la implementación de esta tecnología, otro de los desafíos que supone su implementación, es elegir acertadamente aquellas funcionalidades que puedan generar mayores aportes al proyecto de construcción lo cual permitiría optimizar los costos que supone su implementación. Para tal fin, se considera útil conocer los campos de la gestión de proyectos de construcción que mayores beneficios obtienen con la implementación de esta herramienta lo cual complementarían la información de entrada para la toma de decisiones. Con el presente estudio se pretende comprobar a través del análisis sistemático de las evidencias empíricas disponibles del uso de la metodología BIM, si existe la consistencia suficiente para definir cuales elementos de la gestión de proyectos en el sector de la construcción podrían beneficiarse en mayor medida con el empleo de dicha herramienta. Para tal fin se ha llevado a cabo una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA de los estudios empíricos encontrados en la base de datos SCOPUS incluyendo un total de 11 estudios. Los resultados de la investigación muestran que la implementación de BIM incide en mayor medida en los campos

tiempo, calidad y costo de la gestión de proyectos de construcción. Esto podría contribuir a tomar mejores decisiones en torno a cuáles funcionalidades de BIM podrían implementarse para generar mayores aportes en un determinado proyecto. También se podrían realizar nuevas investigaciones para complementar los resultados obtenidos.

Palabras clave: Gestión de proyectos de construcción, Metodología BIM, Building Information Modelling, Transformación digital.

Introducción

La gestión en la construcción se ha desarrollado desde que la gente por primera vez cooperó para construir edificaciones. Aún existe una pequeña parte del conocimiento documentado de cómo las personas interactuaron en estos procesos (Walker, 2015). La gestión de proyectos de construcción comparte las características comunes de los proyectos en general, por tanto, le son aplicables las reglas y métodos requeridos en la gestión de proyectos (Rokooei, 2015). Los estudiosos de la gestión de la construcción, los profesionales y los gobiernos han defendido ampliamente herramientas, marcos, técnicas y modelos de conocimiento formal de gestión de la construcción aparentemente muy estandarizados, estructurados y prescriptivos para desarrollar el valor organizativo (Sage et al., 2010). A pesar de esto, los proyectos de construcción son conocidos por sus atrasos, excesos en sus presupuestos, problemas de calidad y por sus reclamos a causa de estos temas (Abdul-Rahman et al., 2006, como se citó en Lappalainen et al., 2021). Uno de los desafíos en el proceso de la gestión de proyectos es entender las dimensiones y prácticas que son requeridas en cada etapa del proyecto (Chan et al., 2004). The Project Management Body of Knowledge Guide (PMBok) define diez dimensiones esenciales en la gestión de proyectos: Integración, alcance, tiempo, costo, calidad, recursos humanos, comunicaciones, riesgos, compras y partes interesadas (Demirkesen & Ozorhon, 2017; Taghinezhad et al., 2021). Una apropiada implementación del

proceso de la gestión de un proyecto es esencial para su éxito (Alias et al 2014). El incremento de las inversiones de capital, el abordaje de varias disciplinas, participantes en distintas latitudes, cronogramas ajustados y requisitos exigentes de calidad junto con el rápido desarrollo de la tecnología de la información y comunicación TIC, incidieron para que las prácticas de la gestión de proyectos tomaran un viraje sacando ventaja de nuevas herramientas en materia de gestión, así como de las últimas tecnologías (Alshawi & Ingirige, 2003).

La llegada de Building Information Modelling - BIM al sector de la construcción ha supuesto una enorme mejora en el proceso y el sistema de coordinación de los proyectos y ha permitido la colaboración entre profesionales tanto del mundo académico como de la industria (Olawumi et al., 2017). BIM funciona como un modelo integral que tiene información del proyecto y fomenta la colaboración entre departamentos y partes interesadas desde la fase de diseño conceptual hasta las fases de construcción y explotación (Nguyen et al., 2024). Así mismo, ofrece un portafolio de capacidades que incluye detección de conflictos, constructibilidad, análisis, modelos 3D, estimación de tiempo(4D), estimación de costo (5D), integración, cálculo de cantidades, colaboración y comunicación (Zetterman & Lahdou, 2011). Otras funcionalidades son Operación (6D), sostenibilidad (7D) y seguridad (8D) (Smith, 2014).

Hay numerosas publicaciones sobre diversos temas relacionados con la implementación de BIM (Ali et al., 2022). El estudio bibliométrico realizado por Olawumi et al. (2017), señaló que la categoría de investigación “construcción y gestión de proyectos” fue el subcampo de BIM con mayor tendencia y mayor cantidad de áreas de estudio. Las investigaciones incluidas en la categoría, abarcan temas como la planeación, monitoreo, programación, calidad, gobernanza, logística, LEAN, productividad laboral, constructibilidad, costos, contratación, entrega y colaboración, entre otros. La abundancia de temas explorados a través de las investigaciones relacionadas con BIM y la amplia evidencia de sus aportes en diversos ámbitos de los proyectos de construcción, permite preguntar cuáles áreas de conocimiento de la gestión de proyectos de

construcción son beneficiadas en mayor medida tras la implementación de BIM y a través de cuales funcionalidades, para crear una referencia de elementos que permitan tomar una mejor decisión cuando se quiera definir el alcance más óptimo de la aplicación de las funcionalidades de BIM en la gestión de un proyecto.

Así, el objetivo del presente estudio es comprobar a través del análisis sistemático de las evidencias empíricas disponibles del uso de la metodología BIM, cuales áreas de conocimiento de la gestión de proyectos en el sector de la construcción podrían beneficiarse en mayor medida con el empleo de dicha herramienta. Esta investigación, brindará información complementaria para definir el alcance de la implementación de BIM en la gestión de un proyecto de construcción. También contribuirá a la generación de nuevas propuestas de investigación relacionadas con la optimización del uso de la herramienta BIM en los proyectos de construcción. El presente documento está organizado en cuatro secciones iniciando por la metodología, posteriormente los resultados y su interpretación, la discusión de los hallazgos y finalmente las conclusiones.

Revisión teórica de Building Information Modelling – BIM

El concepto BIM teóricamente emergió y fue descubierto en el Instituto de Tecnología de Georgia a finales de la década del 70. Su desarrollo se debió a la creciente atención prestada a los equipos de construcción y a las organizaciones que encontraron méritos en la utilización de BIM para integrar y gestionar los procesos de los proyectos de construcción. El término Building Information Modelling fue empleado por primera vez en el año 2002 para describir el diseño virtual y la gestión de la construcción y las instalaciones (Harris, 2010, como se citó en Rokoei, 2015). En 1986, Graphisoft introdujo su nuevo software como una solución de construcción virtual conocida como ArchiCad (Kmethy, 2008, como se citó en Dey, 2010). Este revolucionario software permitía crear una representación virtual tridimensional (3D) del proyecto en lugar de los

objetos bidimensionales (2D) habituales en los programas de diseño asistido por computador (CAD) de la época. Esto fue importante porque permitió almacenar grandes cantidades de datos “dentro” del modelo de un edificio. Los datos incluyen la geometría del edificio y la información espacial, así como las propiedades y cantidades empleadas en el diseño (Dey, 2010). El término Building Information Modelling y el acrónimo BIM se popularizaron cuando Autodesk lanzó el “Building Information Modelling” (Autodesk, 2003, como se citó en Rokoei, 2015). BIM es uno de los temas más debatidos en todo el mundo, tanto por académicos como por profesionales del sector de la construcción (Juszczak et al., 2015).

La definición de Building Information Modelling (BIM) apunta hacia dos caminos. Hay autores que sostienen que BIM se enmarca en el campo de la tecnología mientras que otros lo identifican como un proceso. National Institute of Building Sciences (NIBS, 2007, como se citó en Love et al., 2011) señala que BIM es una representación digital de las características físicas y funcionales de las instalaciones. Provee un recurso compartido de información de las instalaciones para el cliente o usuarios a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Boon (2018) lo define como una herramienta tecnológica y de comunicación esencial para la ejecución integrada de proyectos, que permite la colaboración en proyectos de construcción y mejora el rendimiento. Según algunos expertos, BIM no es un software sino un proceso que trae como resultado un modelo de información (Mesá Roš et al., 2020). Por la misma vía, Gilkinson et al. (2015) reconoce que BIM es más un proceso que una tecnología. Lo define como el proceso de generar datos de la edificación, desarrollar un modelo a partir de estos y mantenerlos durante su ciclo de vida. Recogiendo los dos conceptos, Eastman (2008) sostiene que BIM es una tecnología de modelamiento y conjunto de procesos asociados para producir, comunicar y analizar modelos de edificaciones. BIM no es una cosa o un tipo de software sino una actividad humana que en última instancia implica amplios cambios durante el proceso de construcción. En consonancia con lo

anterior, la implantación de BIM no sólo implica cambios en la tecnología, sino también en las prácticas y procesos de trabajo (Tian et al., 2023).

Los modelos BIM se caracterizan por: 1. **Componentes de la edificación** que son representaciones digitales inteligentes (objetos) que “saben” lo que son, y pueden asociarse con gráficos computables, atributos de datos y reglas paramétricas; 2. **Componentes que incluyen datos y describen su comportamiento**, requeridos para analizar y trabajar procesos. 3. **Datos coherentes y no redundantes** de modo que los cambios de los datos se reflejen en todas las vistas del componente; 4. **Coordinación de datos** de tal forma que todas las vistas del modelo estén representadas de forma coordinada (Eastman, 2008). Dado que la arquitectura del software BIM se basa en el modelado paramétrico, la coherencia geométrica y la integridad del modelo del edificio se mantienen a pesar de los cambios o modificaciones que se puedan haber realizado en él. Un objeto paramétrico consiste en una serie de definiciones geométricas y sus datos y reglas asociados. Además, estas definiciones geométricas se integran de forma no redundante y no permiten incoherencias entre el modelo y su conjunto de datos asociados. Esto significa que cualquier cambio realizado directamente en el modelo se reflejará de igual manera en el conjunto de datos asociado a este (Dey, 2010). Los modelos BIM suelen elaborarse con software de modelado tridimensional 3D. Con BIM el usuario puede proyectar escenarios de diseño y programa de trabajo con precisión evitando discrepancias y riesgos, lo cual permite analizar el costo de realizar cambios en el diseño (Gilkinson et al., 2015).

Zetterman & Lahdou (2011) destacan las siguientes funciones específicas de BIM: 1. **Detección de inconsistencias:** Los puntos en los que los modelos de distintas disciplinas se traslapan cuando se superponen se detectan y pueden corregirse (Eastman, 2008). 2. **Análisis:** Si el modelo de un edificio se vincula con las herramientas apropiadas por ejemplo podría analizarse la capacidad de aislamiento de un edificio y medir el uso de energía para calefacción y refrigeración durante los periodos de punta. Los análisis energéticos permiten producir edificios

que consuman menos energía durante su ciclo de vida (Eastman, 2008). **3. Estimación de tiempo (4D):** En la estimación del tiempo, también llamada 4D, los objetos en un BIM están vinculados a un plan de tiempo. Con esto se visualiza gráficamente el cronograma de los proyectos, los usuarios pueden simular la construcción de la obra en cualquier momento y se pueden detectar errores de forma temprana (Eastman, 2008). **4. Estimación de costos (5D):** En la estimación de costos, también llamada 5D, los objetos en 3D pueden ser anclados a una lista de precios de materiales lo cual permite una estimación precisa en cualquier punto de la fase de diseño y permite entender las implicaciones financieras de las decisiones que se tomen en la etapa de diseño (Eastman, 2008). BIM es la forma de evolución digital del modelo 2D tradicional a modelos 3D, 4D (determinación del plan) y 5D (estimación de costos) (Hoseini et al., 2019). Estas capacidades han permitido que BIM desempeñe un papel importante de la gestión de proyectos como una nueva herramienta (Rokooei, 2015). Otras funciones son Operación **(6D)**, sostenibilidad **(7D)** y seguridad **(8D)** (Smith, 2014).

Para Mesá Roš et al. (2020) la implementación BIM se puede considerar desde dos ángulos. El primero se refiere al uso de tecnologías 3D (software) para modelar y analizar el edificio empleando programas como Revit, ArchiCad y otros. El segundo se refiere al proceso/conceptualización que abarca otros campos del conocimiento tales como costo, programación, gerencia del proyecto, seguridad y parámetros de sostenibilidad los cuales se implementan en el software BIM con el fin de proporcionar una fuente única y centralizada de información para las partes interesadas en el proyecto. BIM Incluye a todas las partes y profesionales involucrados; por tanto, las aptitudes de los miembros del equipo deberían ser consideradas, específicamente los gerentes de proyecto como núcleo de los canales de comunicación. Las relaciones mutuas son un aspecto fundamental de BIM por lo que las características de los usuarios influyen en su eficacia (Rokooei, 2015). La gestión de proyectos de construcción es compleja y sus procesos requieren conocimiento (Mandičák et al., 2020). El

grado de experiencia de los gerentes de proyecto tiene una relación directa con el éxito de BIM en un proyecto de construcción. Hay estrechas similitudes entre el desempeño de BIM en el proceso de construcción y el gerente de proyectos como núcleo en la toma de decisiones. Por tanto, BIM puede ser considerado como una herramienta de gestión más que una herramienta técnica en los proyectos de construcción (Rokooei, 2015). Autores como Barlish & Sullivan (2012) presentan una visión más amplia de los factores de éxito de BIM. En su investigación concluyeron que su éxito depende de factores como el tamaño del proyecto, las competencias del equipo, la comunicación del equipo del proyecto, así como otros aspectos externos a la organización. Es decir, su éxito es relativo al proyecto y a la organización.

Los avances en BIM han dado lugar a nuevos procesos de trabajo y nuevas formas de interactuar con los proyectos a lo largo de su ciclo de vida (Latupeirissa & Arrang, 2024). Building Information Modelling (BIM) es reconocido en el sector de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AIC) debido a su capacidad para almacenar y también facilitar el uso y la reutilización de los datos de un proyecto en su fase de desarrollo (Olawumi et al., 2017). BIM es una de las tecnologías más empleadas y una de las herramientas más efectivas y poderosas en la gerencia de proyectos de construcción (Mandičák et al., 2020). En la actualidad, las principales empresas del mundo utilizan soluciones de modelado de información (BIM) para el diseño de sus proyectos (Chathuranga et al., 2023).

¿Por qué usar la metodología BIM?

Las organizaciones de los sectores de arquitectura, ingeniería y construcción (AIC) con frecuencia operan con estrechos márgenes de rentabilidad, así como son las primeras en sufrir ante una crisis económica global. Esta situación ofrece una oportunidad a las organizaciones AIC para introducir procesos y tecnologías BIM que pueden potencialmente ofrecer un ahorro significativo en sus costos (Gilkinson et al., 2015).

De otro lado, una de las actuales tendencias en la industria de la construcción es la presión en la digitalización y la explotación de la tecnología basada en el conocimiento. Actualmente, la era digital ofrece un espacio para la implementación de tecnologías que ayudan a gestionar los procesos. BIM es una de ellas (Mandičák et al., 2020). En la gestión de proyectos de construcción, BIM es una de las posibles y disponibles soluciones para gestionar los costos, dibujar y planificar los proyectos (Mesároš & Mandičák, 2017). Para Mandičák et al. (2020) el éxito de la gestión de proyectos de construcción requiere un recurso compartido de conocimiento para obtener información que forme una base confiable para la toma de decisiones durante el ciclo de vida del proyecto. Según el National BIM Standar Committee (PSC), la tecnología BIM lo tiene (National BIM Estándar, 2014, como se citó en Mandičák et al., 2020).

Efecto de BIM en la gestión de proyectos de construcción

La gestión de proyectos de construcción es una serie de actividades para determinar cómo, cuándo y quién debe realizar el trabajo (Rokooei, 2015). La gestión de proyectos es ampliamente reconocida como la disciplina central del conocimiento de la gestión de la construcción (Winch, 2002; Walker, 2007, como se citó en Sage et al., 2010). La gestión de proyectos se define como el proceso de aplicar información, herramientas, habilidades y procedimientos a diferentes tareas (Wysocki, 2011) y técnicas a la organización (Wong & Zhang, 2013) con el fin de satisfacer las necesidades y requerimientos del proyecto (Wysocki, 2011; Wong & Zhang, 2013). Gran parte de la gestión abarca la prevención de problemas, afrontar nuevos terrenos, dirigir personas y alcanzar objetivos claros de forma rápida y eficiente (Raiss G., 1995, como se citó en Alshawi & Ingirige, 2003). Desde otra óptica, Ballard & Howell (2002) señalan que los proyectos son sistemas de producción temporales y que la construcción es uno de los muchos tipos de proyectos basados en sistemas de producción.

La planificación, coordinación y control de un proyecto desde su concepción hasta su finalización (incluida la puesta en servicio) en nombre de un cliente, requieren la identificación de los objetivos del cliente en términos de utilidad, función, calidad, tiempo y coste. También el establecimiento de relaciones entre los recursos, la integración, el seguimiento y el control de los participantes en el proyecto y sus resultados; y la evaluación y selección de alternativas para lograr la satisfacción del cliente con el resultado del proyecto. En este contexto los recursos son un término general que incluyen materiales, equipos, fondos y personas en particular. En la práctica, la aplicación de esta definición puede adoptar muchas formas, dependiendo de la naturaleza del proyecto y de las circunstancias en las que se lleve a cabo, pero independientemente de la estructura organizativa que se adopte, si se lleva a cabo la gestión del proyecto, las actividades incluidas en la definición deben poder identificarse (Walker, 2015).

Normalmente se cree que BIM y la tecnología del conocimiento mejoran la eficacia de la gestión de los proyectos de construcción. Esto incluye la reducción global de costos y plazos y la mejora de los factores económicos (Chen et al., 2023). La gestión eficaz de los proyectos es crucial a lo largo de los procesos de diseño y construcción, y BIM representa un enfoque avanzado que puede facilitarla (Tian et al., 2023). El uso temprano de BIM en el diseño en proyectos de ingeniería, permite mejor comprensión y evaluación a partir de lo cual los representantes de la organización pueden tomar mejores decisiones empresariales. Esto a su vez, favorece el diseño sostenible y permite un mejor control y gestión de las actividades (Gilkinson et al., 2015). Según el estudio realizado por Mesá Roš et al. (2020), el uso de la tecnología BIM impacta favorablemente la productividad en la gestión de los proyectos de construcción. En la misma vía, (Nisbet & Dinesen, 2012, como se citó en Gilkinson et al., 2015) sostiene que la tecnología BIM tiene la habilidad para mejorar significativamente la eficiencia y productividad de los procesos de entrega, así como la instalación funcional. Mandičák et al., (2020) se suma en señalar que BIM junto con el conocimiento de la tecnología mejoran la

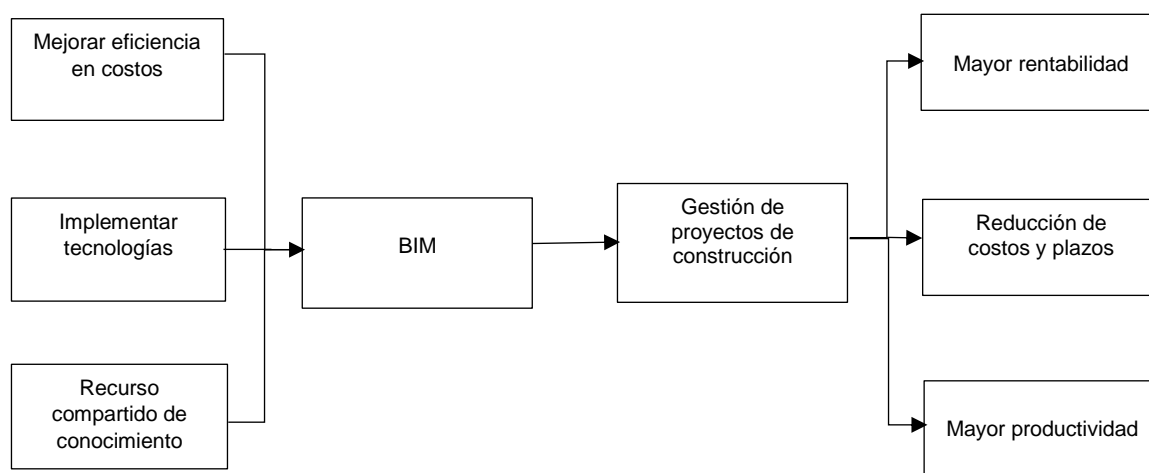
eficiencia, lo que significa ingresos y beneficios. Love et al. (2011) coincide en que BIM mejora significativamente el rendimiento de los proyectos; no obstante, aclara que para lograrlo se debe usar como facilitador yuxtapuesto a otros procesos e innovaciones estratégicas.

La tecnología BIM representa una de las herramientas más progresistas en la gestión de proyectos de construcción y muchos gerentes de proyectos la consideran la más importante en sus actividades diarias (Mesá Roš et al., 2020). Varios autores reconocen las ventajas de implementar BIM en los proyectos de construcción. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el éxito de BIM depende de muchos factores, como la envergadura del proyecto, los conocimientos de BIM de los miembros del equipo, la comunicación del equipo del proyecto, así como de otros factores organizativos externos (Barlish & Sullivan, 2012).

La Figura 1 es una síntesis de los efectos del empleo de BIM en la gestión de proyectos de construcción.

Figura 1.

Mapa conceptual sobre el efecto del uso de BIM en la gestión de proyectos de construcción.



BIM frente a reconocidos modelos en el sector construcción

Tras el desarrollo de nuevas metodologías ágiles para la gestión de proyectos, surgió un nuevo modelo para la entrega de proyectos de construcción llamado Integrated Project Delivery (IPD). Este modelo es definido como un enfoque de ejecución de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras y prácticas empresariales en un proceso que aprovecha de forma colaborativa los talentos y conocimientos de todos los participantes para reducir los desperdicios y optimizar la eficiencia en todas las fases de diseño, fabricación y construcción de un proyecto (De Marco & Karzouna, 2018). Otro método comúnmente empleado es el Design – Build (DB), el cual ha ganado popularidad ya que permite ahorrar tiempo y dinero fomentando la colaboración entre diseñadores y constructores (Jethva & Skibniewski, 2022). Trae muchos beneficios a los proyectos, incluyendo ahorro de tiempo y costos, mejora en la calidad y reducción en las órdenes de cambios (Design – Build Institute of America [DBIA], 1997, como se citó en Chang et al., 2010). Haciendo una comparación entre los modelos mencionados y BIM, todos apuntan a un enfoque de colaboración entre las partes persiguiendo ejecuciones eficientes de los proyectos. Sin embargo, hay aspectos que deberían ser evaluados cuidadosamente antes de su implementación. En primer lugar, razones que podrían disuadir el uso de IPD son su elevado costo, por ser un modelo nuevo hay incertidumbres, dificultades contractuales y la complejidad de su implementación (De Marco & Karzouna, 2018). DB demanda que sus usuarios posean capacidades y experiencia en coordinación de diseño y construcción (Chang et al., 2010) y que los contratistas hayan participado antes en proyectos que hayan implementado el método (Ling, 2004). Por su parte, la implementación de BIM requeriría un análisis del retorno de su inversión, pues puede variar considerablemente de un proyecto a otro (Barlish & Sullivan, 2012).

Un factor diferenciador de BIM frente a IPD y DB es su tecnología 3D que permite identificar conflictos entre elementos evitando reprocesos en la etapa de construcción, siendo una funcionalidad que logra eficazmente beneficios para proyecto.

Metodología

En el presente trabajo se realizó una revisión sistemática de literatura científica acerca de Building Information Modelling – BIM en el marco de la gestión de proyectos de construcción. Las revisiones sistemáticas son de gran valor ya que pueden brindar una síntesis del estado del conocimiento en un área específica, y de allí se pueden identificar prioridades futuras de investigación, formular preguntas que no podrían ser generadas por estudios individuales, identificar problemas en las investigaciones primarias que deberían corregirse en investigaciones futuras y generar o evaluar teorías sobre cómo o porque ocurren fenómenos de interés (Page et al., 2021). Para la elaboración del estudio se siguieron algunos parámetros de la declaración PRISMA con el propósito de hacer una revisión transparente completa y precisa del tema de investigación. En seguida se describe el proceso de elaboración en sus distintas fases.

Búsqueda sistemática

Para llevar a cabo la investigación, en septiembre de 2024 se realizó una búsqueda sistemática en la base de datos Scopus a través de una ecuación diseñada a partir de las palabras claves definidas para el tema de estudio. Como estrategia de búsqueda se acotaron resultados a las publicaciones realizadas desde el año 2004 hasta el 2024 en las áreas de ingeniería, gestión de negocios y contabilidad. El proceso apuntó a identificar los documentos relevantes del tema de investigación para posteriormente aplicar los criterios de inclusión y exclusión, seleccionando así los documentos empleados para el análisis. La combinación de términos utilizada en la base de datos seleccionada fue la siguiente: (TITLE-ABS-KEY("BIM methodology") OR TITLE-ABS-KEY("Building information modelling") AND TITLE-ABS-KEY("construction project management")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA, "BUSI")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")).

Criterios de inclusión y de exclusión del estudio

Con el fin de establecer los estudios a analizar se definieron los criterios de inclusión y exclusión indicados en la Tabla 1, buscando que los documentos finalmente seleccionados se ajustaran al tema y objetivo de la revisión y que para su realización hayan seguido procedimientos de calidad generalmente admitidos.

Tabla 1

Criterios de inclusión y exclusión del estudio

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Investigaciones empíricas	Publicaciones que aborden la metodología BIM en un contexto distinto a su aplicación en proyectos de construcción.
Estudios de la metodología BIM aplicada a proyectos de construcción	Publicaciones en idiomas distintos al inglés
Documentos publicados entre el 2004 y 2024	Investigaciones de revisiones de alcance y revisiones de literatura.
Artículos con la estructura Introducción, Metodología, Resultados y Discusión - IMR y D- o equivalente.	Publicaciones no académicas.
Publicaciones en las áreas Engineering, Business Management and Accounting	

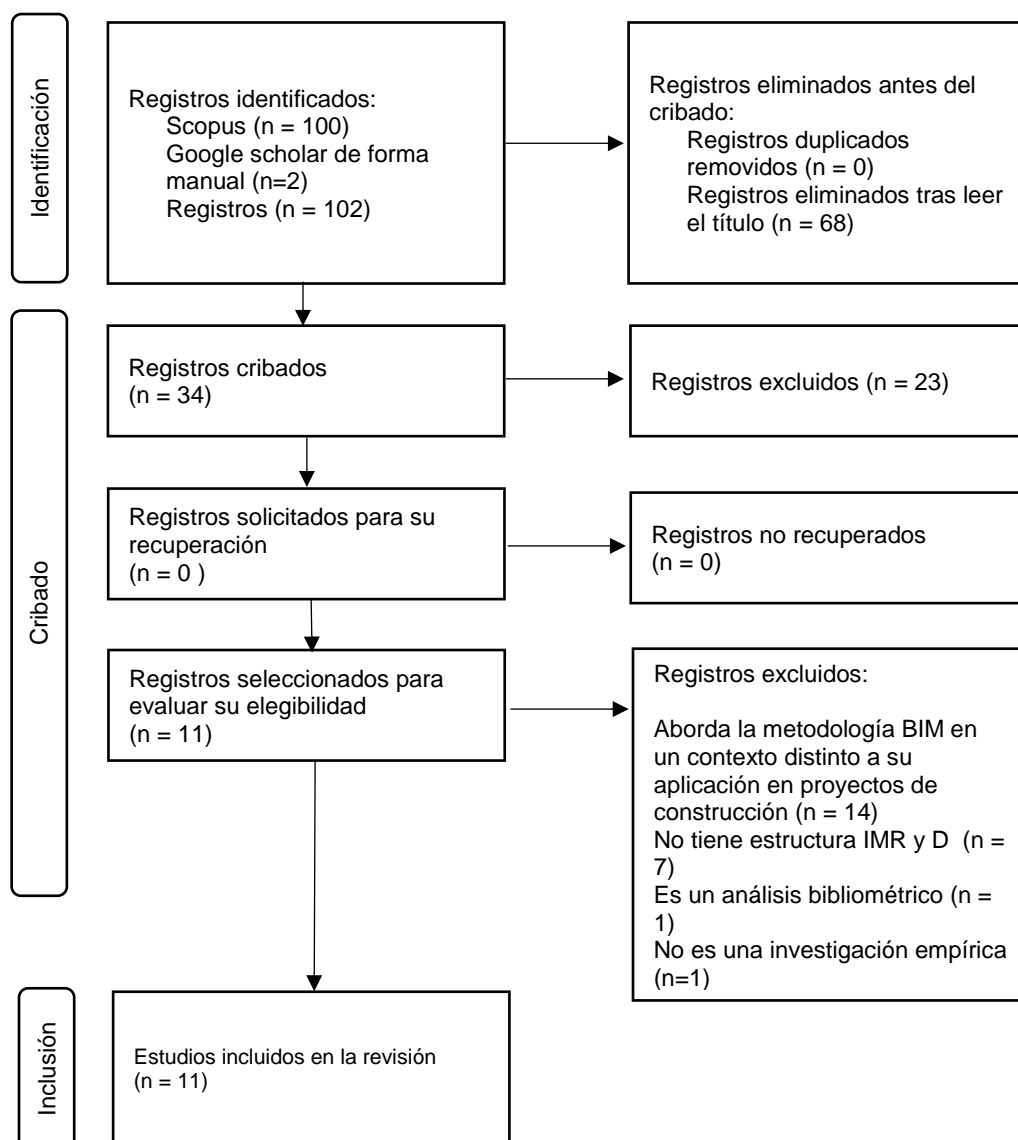
Como se observa en la Figura 2, la declaración PRISMA comprende tres fases para la selección de publicaciones científicas. La fase inicial arrojó un resultado de 100 artículos a través de la búsqueda en la base de datos Scopus más 2 artículos que se buscaron de forma manual en Google Scholar. La segunda fase inició con 34 artículos. Se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión resultando un total de 11 artículos seleccionados y 23 excluidos. Finalmente 11 artículos cumplieron los criterios de inclusión y exclusión y se seleccionaron para llevar a cabo la revisión sistemática.

Búsqueda manual:

Durante el proceso adelantado en la primera fase de selección de publicaciones se identificaron dos artículos altamente citados y con aportes importantes en el tema estudiado. Por tal razón fueron buscados de forma manual en la base de datos Google Scholar y tras verificar que cumplieran los criterios de inclusión y exclusión, fueron agregados a los artículos previamente seleccionados.

Figura 2

Diagrama de flujo para la selección de literatura siguiendo la declaración PRISMA



Extracción de datos

El proceso de análisis de los estudios incluidos en la revisión se desarrolló a través de fichas individuales para cada publicación en las que se registró información referente a la referencia, tipo de investigación, problema, objetivo de la investigación, tipo de investigación/métodos de obtención de datos, variables, limitaciones del estudio y palabras clave.

Resultados

Una síntesis de los resultados obtenidos a través de la revisión de las publicaciones seleccionadas puede consultarse en la Tabla 2. El análisis que se expone a continuación, sigue el orden que se consideró más pertinente para facilitar la integración y comprensión de los resultados. Los estudios que se presentaron inicialmente, en una medida importante concluyeron beneficios en los campos relacionados con la gestión del tiempo, gestión de la calidad y gestión de costos en los proyectos de construcción donde se implementó BIM. Seguidamente se describen aquellos que concluyeron ventajas en términos de tiempo y costo, tiempo y calidad, rentabilidad y, por último, aquellos que demostraron aportes en otros aspectos con menor frecuencia.

Las investigaciones que demostraron beneficios en términos de tiempo, costo y calidad a través de estudios de casos de proyectos de construcción fueron desarrolladas por Rui et al. (2021) y Gilkinson et al. (2015) (caso 2). Rui et al. (2021), desarrollaron una investigación a través del estudio de caso de un proyecto de construcción de dos edificaciones de gran envergadura en un condominio en Malasya, cada una con una altura de 124,4 m. Los datos fueron recolectados a través de la implementación BIM en sus dimensiones 3D (Modelado tridimensional) en la fase de pre construcción, 4D (Estimación de tiempo) y 5D (Estimación de costos). Para la dimensión 3D se estudió en la fase previa a la construcción haciendo simulaciones del plan trazado para las zonas de acceso y salida, zonas de almacenamiento de

materiales, campamento, ubicación de torre grúa, suministros de agua y energía, dada la necesidad de contar con un tráfico fluido de materiales y maquinaria en la fase de construcción. El modelo en 3D permitió detectar 154 conflictos entre la ubicación de las 28.508 piezas que aproximadamente tienen las edificaciones, dando paso a hacer correctivos de forma temprana y prevenir la fabricación de elementos con dimensiones equivocadas. Mediante la aplicación de la dimensión 4D, se simuló la etapa de construcción, lo cual permitió que el equipo de obra visualizara procesos constructivos complejos y recopilara información más precisa en la fase de pre-construcción y un tuviera mayor entendimiento intuitivo de las actividades y la posibilidad de modificar y optimizar los procesos. También, se implementó esta tecnología para hacer una programación de trabajo dinámica ajustada a los procesos de construcción del proyecto, lo cual se tradujo en evitar reprocesos innecesarios y acortar el tiempo de trabajo. Finalmente, con la dimensión 5D se realizó un comparativo entre las cantidades de materiales disponibles en la obra y la cuantificación automática realizada con BIM, encontrando una mayor cantidad de materiales en sitio debido a los desperdicios. También ayudó al personal de compras a realizar el plan de pedidos y a controlar las cantidades de materiales adquiridos. En el caso estudiado el equipo del proyecto empleó la dimensión 5D para fortalecer la gestión de costos a través de un control más preciso de las cantidades de materiales. El estudio concluyó que la implementación de BIM en sus dimensiones 3D, 4D y 5D, brindó soluciones para mejorar la gestión del proyecto en lo que respecta a calidad, programación del trabajo (reducción de tiempo), costos y eficiencia.

El segundo estudio de caso presentado en la investigación de Gilkinson et al. (2015) es el proyecto Royal Opera House and Portcullis House. En este se implementó BIM a través del modelado 3D. Como producto del modelado, se identificaron mejoras en el diseño en la fase de pre construcción y coordinación espacial, lo que supuso un ahorro en los costes de construcción de entre el 8% y el 10%. Hubo mejora en la calidad del producto y reducción en el consumo de energía. Desde la perspectiva del diseñador, hubo menos iteraciones de reelaboración, ya que

las relaciones, las conversaciones y los compromisos se mejoraron permitiendo tomar decisiones responsables en el último momento y facilitando la obtención de mejores indicadores y reducción de tiempo en actividades de la fase de diseño. Desde la perspectiva del constructor, se obtuvieron mejores soluciones de diseño integradas y construibles, con la logística adecuada desde el principio, ya que las partes interesadas se gestionaron sistemáticamente con una mayor seguridad en los costos de construcción. En ambos estudios coincide la implementación de BIM mediante modelado 3D en la fase de pre - construcción de los proyectos pudiendo hacer mejoras a través de las simulaciones realizadas obteniendo así beneficios en tiempo, costo y calidad.

Las investigaciones de Hoseini et al. (2019) y Farnsworth et al. (2015) se realizaron a través de encuestas y entrevistas realizadas a personal del sector de la construcción con conocimientos en BIM, obteniendo resultados similares. Hoseini et al. (2019) con el apoyo de un grupo de expertos desarrollaron una investigación para determinar las principales capacidades y usos de BIM en el ciclo de vida de un proyecto de construcción de un centro comercial. En principio mediante entrevistas y la aplicación de la toma de decisiones a través de la estadística, se conformó un listado de 18 capacidades y usos de BIM en la aplicación de proyectos de construcción en general. Posteriormente a través de un cuestionario se solicitó a los expertos calificar las capacidades y usos seleccionados para el caso específico de la implementación de BIM durante todo el ciclo de vida de la construcción de un centro comercial, resultando una lista de 9 capacidades y usos. Luego se aplicó un método de decisión multicriterio para clasificar las capacidades que más contribuyeron a las áreas del conocimiento del proyecto y determinar cuáles fueron mayormente beneficiadas. La investigación concluyó que las dimensiones de BIM que aportaron en mayor medida son modelación 3D a través de la detección de conflictos y 4D a través de la simulación del proceso constructivo. A su vez, los campos mayormente beneficiados en el proyecto fueron gestión del tiempo, calidad y costos. En menor medida, gestión de las partes interesadas, integración del proyecto y comunicaciones.

Farnsworth et al. (2015), investigaron las ventajas asociadas con el uso de BIM en el sector de la construcción comercial a través de entrevistas realizadas a los miembros de 18 compañías líderes en el sector. Los entrevistados desempeñaban los roles a nivel ejecutivo, cargos directivos medios y practicantes con conocimiento a nivel de usuario. Se conformó una lista de 32 aplicaciones de BIM empleadas por las empresas líderes de proyectos de construcción comerciales. Luego se halló la frecuencia de uso de las aplicaciones determinando las cinco más utilizadas en los proyectos. Estas son: detección de conflictos, modelado 3D, colaboración de equipo, problemas en el diseño y ventas, todas utilizadas por el 70% a 85% de las compañías involucradas en el estudio en al menos del 75% de sus proyectos. Posteriormente se describió su beneficio en los proyectos. El estudio mostró que la utilización de BIM ofreció ventajas a los proyectos en lo que respecta a la programación (tiempo), estimación de costos y visualización, coordinación y detección de conflictos (Calidad). También se redujo el cambio de instrucciones por modificaciones en los alcances de los proyectos por los problemas resueltos a través de las modelaciones realizadas.

Las investigaciones de Rui et al. (2021), Gilkinson et al. (2015), Hoseini et al. (2019) y Farnsworth et al. (2015), coinciden en el uso de la capacidad 3D (modelado tridimensional) obteniendo beneficios en costo, tiempo y calidad. La implementación de la capacidad 4D a través de simulaciones en la fase de construcción, únicamente coincide en las investigaciones de Rui et al. (2021) y Hoseini et al. (2019).

Las investigaciones de Mesároš & Mandičák (2017) y Juszczuk et al. (2015) que se describen a continuación, se realizaron a través de encuestas y entrevistas realizadas a personal del sector de la construcción con conocimientos en BIM, obteniendo resultados similares. En estas no se hace mención a las capacidades de BIM empleadas.

Mesároš & Mandičák (2017) en su investigación, encuestaron a un grupo de miembros de empresas del sector construcción en Eslovaquia para lo cual se crearon tres grupos de categorías: el primero de acuerdo al tamaño de la compañía, el segundo de acuerdo a la participación de las compañías en proyectos de construcción y el último de acuerdo a si estas habían usado o no BIM. Los datos fueron analizados a través de métodos de estadística descriptiva e inductiva. A través del estudio se confirmó que el mayor beneficio del empleo de BIM en la gestión de proyectos de construcción reside en la reducción de costos. Este factor logró mayor relevancia frente a los demás aspectos examinados. El segundo gran beneficio es el incremento en la calidad de los documentos y la eliminación de errores en la documentación. En menor proporción, el estudio mostro aportes favorables en el control financiero, gestión documental (rápido acceso a la información y documentos relevantes), gestión de calidad (eliminación de errores en los procesos constructivos), reducción de tiempo en todo el ciclo de vida del proyecto.

Juszczuk et al. (2015) estudiaron los casos del uso de BIM en la industria de la construcción en República Checa y Polonia. Analizaron dos estudios que involucraron entrevistas a actores del sector de la construcción en ambos países. En República Checa el estudio involucró a 32 personas: 47% arquitectos, 32% ingenieros civiles, 15% personal del departamento de construcción. En Polonia la investigación involucró a 43 personas: Propietarios (2%), diseñadores (21%), asistentes de diseño (28%), directores de obra (9%), gerentes (5%), otros como ingenieros y programadores (35%). Los estudios realizados en República Checa y Polonia encontraron que las principales razones para introducir BIM en la industria de la construcción son: Simplificación y aceleración del trabajo (tiempo), Organización de la información a lo largo del ciclo de vida de la edificación, Cooperación entre miembros con distintas profesiones, eliminación de errores en diseño (calidad) y consolidación de los costos de construcción.

Los resultados en términos de tiempo y costo, se generan por las investigaciones de Ginzburg & Galina (2022) y Chen et al. (2023) desarrolladas mediante el estudio de tres casos de proyectos de construcción. En primer lugar Ginzburg & Galina (2022), con la construcción de un complejo agro-industrial en el cual se implementó BIM en las dimensiones 3D (Modelo de la edificación), 4D (programación de la construcción), 5D (Costos) y 6D (Gestión de las instalaciones). El análisis de la investigación se enfocó en el entregable del diseño del centro de energía que suministra la electricidad y calefacción a la edificación por tratarse de un componente que supone un porcentaje significativo del costo del funcionamiento de la edificación. Los datos fueron recopilados a partir del modelamiento 3D y fueron empleados como información de entrada para la realización de los cálculos. Además de los resultados del desarrollo de varias configuraciones para el modelado 3D y 4D se tuvieron en cuenta los parámetros de costos de la construcción en la región para calcular las consecuencias financieras de las decisiones tomadas. El estudio demostró que a través de la implementación BIM se obtuvo una imagen completa de la interconexión de los espacios funcionales de la edificación y permitió optimizar el consumo energético gracias a la aplicación de un sistema de control basado en algoritmos con modificación automática del sistema de procesos. La propuesta de diseño obtenida a través de BIM mejoraría la eficiencia del centro de energía, lo que se traduce en reducción de los costos de funcionamiento. Otro aspecto a resaltar es que el indicador EBITDA calculado a partir de la reducción de costos ocasionada por la propuesta de diseño arrojó un resultado positivo. Finalmente, los autores concluyeron que la integración tecnológica del entorno de datos compartido de todos los participantes del ciclo completo del proyecto de construcción y el modelo de información creado sobre esta base reducirán significativamente el período de trabajo de diseño y construcción del proyecto (tiempo).

Continuando, Chen et al. (2023) estudiaron dos casos de proyectos de edificaciones del sector salud. El primero corresponde a la construcción de una clínica de 5.000 m² y el segundo a

la rehabilitación de 7.548m² de un edificio inhabitado de investigación médica. Los proyectos eran distintos. Sin embargo, la implementación de la tecnología BIM era comparable a pesar de que cada uno tenía sus propios obstáculos. Para los dos proyectos los datos fueron recolectados en un periodo de un año y medio, tiempo en el cual, los dos edificios fueron planeados y programados mediante el uso de herramientas arquitectónicas BIM. El estudio enfatizó en el uso de BIM y de integradores 4D. Para determinar la eficacia de BIM como herramienta en la gestión de proyectos fue necesario crear un índice de éxito del proyecto bajo la consideración de que un proyecto es exitoso si se ejecuta cumpliendo sus especificaciones dentro del plazo y presupuesto adecuados o si este se alinea a las expectativas del cliente, inversionistas y usuarios finales tanto como al equipo del proyecto. Los datos fueron analizados para determinar cómo los proyectos se beneficiaron de la implementación de BIM. Para realizar el análisis se fijó un conjunto de criterios de éxito relacionados con los resultados del proyecto incluidos el cumplimiento de los objetivos del cronograma, calidad y costos, así como aquellos relacionados con el proceso de gestión, incluida la gestión del alcance y las comunicaciones. Cada éxito se midió cuantitativamente con relación a los criterios de cada logro. Los criterios de éxito fueron organizados basándose en el Project Management Areas Knowledge PMAK - para establecer un marco de trabajo que facilitara el análisis de datos y las conclusiones. El estudio concluyó que BIM es una herramienta de gestión de la información con aplicaciones de gran alcance en las fases posteriores al diseño. Además, se evidenció un aumento en la productividad de los proyectos fases de planificación, prefabricación y coordinación. Generó ahorro en tiempo y costos. Ambos estudios realizaron la recolección de datos y análisis en fases previas a la construcción. Ginzburg & Galina (2022) enfocaron su análisis en la fase de diseño y Chen et al. (2023) en la fase de planeación y programación. En cuanto a las capacidades BIM empleadas, coincidieron en el uso de 4D. Adicionalmente, en el caso estudiado por Ginzburg & Galina (2022), también se implementaron las capacidades 5D (Costos) y 6D (Gestión de las instalaciones). En todos los casos se obtuvieron beneficios en términos de tiempo y costo.

Enseguida se presentan investigaciones que concluyeron ventajas en términos tiempo y que fueron analizados por Gilkinson et al. (2015) a través de los estudios de los casos 4 y 6.

Caso 4: Es el proyecto Bligh Street, Sydney, en Australia. La compañía ARUP fue la encargada de proveer los servicios de ingeniería al proyecto siendo responsable de los componentes eléctrico y mecánico. Se empleó la herramienta Revit MEP para realizar modelos separados en planta. Para la documentación se empleó AutoCad MEP. El mayor beneficio de la implementación BIM fue lograr la entrega puntual de la fabricación de productos en sitio, lo cual se logró gracias a la tecnología de visualización del proyecto. Se mostró un impacto positivo en la gestión del cronograma.

Caso 6: Es el proyecto Queensland State Archives en Australia. Se implementó la dimensión BIM 4D con el propósito de comunicar el progreso exacto a diseñadores, gerente de proyecto y contratistas. El registro preciso del progreso se empleó para evaluar el cronograma con los plazos del proyecto y a su vez como facilitador para liberar los pagos de los contratistas. La tecnología también permitió proyectar escenarios de progreso para estimar la precisión en el cumplimiento de la fecha de finalización logrando una mejora en la gestión del cronograma. En los dos casos se emplearon capacidades distintas de BIM obteniendo resultados similares.

Gilkinson et al. (2015) en los casos 3 y 5, y Tsai et al., (2014) mediante el análisis del caso de una empresa líder del sector construcción, concluyeron resultados en términos de calidad así:

Caso 3: Es el proyecto Heathrow Airport Energy Centre en Australia. Se empleó BIM para elementos del diseño, reflejando la viabilidad de la estructura de acero utilizando una política de datos compartidos. El proceso de diseño involucro programas como AutoCad, Revit y Graphisoft ArchiCad. Se introdujo un programa de detección de conflictos para identificar inconsistencias entre elementos arquitectónicos y la infraestructura de las redes de servicios públicos. Esto permitió asegurar que todos conflictos estuvieran identificados y eliminados antes del inicio de la construcción impactando favorablemente la calidad del proyecto. Otro resultado

de la implementación BIM fue una mejora en la eficiencia del proyecto. Caso 5: Es el proyecto Building Design Consult Ltd. UK Structures: Wood Lane Studios. Todos los detalles de la armadura y el hormigón armado fueron creados a través de un modelo 3D en el programa BIM: Allplan Engineering. A través del programa Allplan se modeló cada detalle de las diferentes categorías del reforzamiento, generando un prototipo de las jaulas de refuerzo en el pórtico de concreto. Esto permitió identificar los conflictos disminuyendo incompatibilidades y problemas de producción en sitio incluida la logística de material, requisitos de grúa y problemas de acceso. El personal de obra pudo identificar a través del uso del modelo 3D, la constructibilidad de las jaulas para realizar las reparaciones necesarias antes de liberar su entrega. Los resultados mostraron un impacto favorable en la gestión de los recursos y la calidad del proyecto.

Tsai et al. (2014) estudiaron el caso de una empresa líder en diseño y construcción en Taiwan que adoptó un nuevo flujo de trabajo a través de la implementación de un modelo BIM incorporando la herramienta “construction director” que facilita la vinculación 4D (Cronograma) con los elementos de construcción 3D (modelo tridimensional). Los resultados hallados se muestran desde las perspectivas de los beneficios en la gestión del proyecto y los beneficios generados a la compañía. En lo que atañe a la gestión del proyecto se encontró que el nuevo modelo basado en BIM ofreció las siguientes ventajas: 1. Aumento en la productividad en las reuniones y aumento en la calidad y probabilidad de éxito en el proceso de toma de decisiones. 2. Mejor entendimiento del cliente de los detalles y procesos constructivos. 3. Facilitó la obtención de información para generar procedimientos de las actividades constructivas y evitó conflictos de tareas y cronograma. 4. Ofreció un mejor método de comunicación comparado con herramientas convencionales de programación como gráfico de barras y CPM. 5. Ayudó a evitar conflictos entre operaciones. 6. Con su herramienta de visualización, permitió tomar decisiones en obra en tiempo real. 7. Reducción de reprocesos. 8. Mejoras en el control de calidad. En los tres casos se empleó el modelado 3D en fase previa a la construcción para identificar conflictos y

mejorar procesos resultando en mejoras en calidad. El caso de Tsai et al. (2014), contempló adicionalmente la vinculación de la capacidad 4D.

Pasando ahora a la incidencia que tuvo BIM en el aumento de rentabilidad, Tsai et al. (2014) analizó la comparación entre los resultados obtenidos con el flujo de trabajo habitual de la empresa y los resultados de la implementación del flujo de trabajo basado en BIM, encontrando lo siguiente: 1. Mejora de la competencia industrial internacional: en la fase de conceptualización y diseño, la empresa pudo adoptar la herramienta BIM para presentar ideas de diseño y procesos de construcción. Se calculó que tras adoptar la herramienta BIM, la empresa podría aumentar la competitividad de sus ofertas en un 3%, es decir, 2.000 millones de NT dólares en términos de precio de contrato al año, en comparación con la no utilización de las herramientas BIM. 2. Mejora en el desempeño de la gestión de la construcción. Aumentó la eficiencia en la gestión de la construcción y la interface de la comunicación entre contratistas y departamentos se incrementó. Esto se traduce en 20 millones de NT dólares por año. 3. Garantía en la seguridad en la construcción. Los ingenieros de seguridad pudieron proporcionar medidas adecuadas contra percances en la construcción con procedimientos de seguridad. Esta mejora proveyó alrededor de 5 millones de NT dólares en rentabilidad. 4. Aumento en la satisfacción de los propietarios. BIM presentó el ciclo de vida del proyecto mediante la visualización, lo cual contribuyó a identificar conflictos rápidamente permitiendo mayor tiempo para el diseño y el proceso de toma de decisiones. Esto pudo desarrollar la confianza en los propietarios.

Otra investigación que mostró resultados en términos de beneficios económicos la realizó Barlish & Sullivan (2012) mediante el desarrollo de un modelo marco para establecer las ventajas de BIM a través de métricas de inversión y métricas de beneficios. El modelo propuesto se resume en: Creación de métricas, comprobación de las métricas a través de casos de estudio, evaluar los datos de los casos de estudio, presentar conclusiones con base en los datos, validar el modelo marco. Se analizaron 3 casos de estudio en una misma compañía. Se realizó un

comparativo entre las métricas de los proyectos desarrollados sin la implementación BIM y proyectos que emplearon BIM. Los datos fueron recolectados de la base de datos de la compañía, los cuales fueron registrados durante la construcción de los proyectos. Con el primer caso se examinaron proyectos en función de beneficios. Con el segundo se analizaron las inversiones o costos ocasionados por la implementación BIM y con el tercer caso se examinaron las dos variables: beneficios e inversión. Caso 1: Se analizaron 2 proyectos No - BIM con dos pilotos de proyectos en los que se empleó BIM en similares áreas funcionales. Se emplearon las métricas: RFIs (solicitudes de información), cambio de instrucciones y cronograma. Los datos muestran un diferencial positivo o una ganancia neta de los proyectos BIM. RFIs (disminución del 50% por herramienta o montaje), cambio de instrucciones (42% de ahorro respecto de los costos estándar), cronograma (67% de reducción en tiempo respecto del tiempo estándar). Caso 2: Se analizó un proyecto que está empleando los modelos No – BIM y BIM en las mismas tres áreas funcionales. Este caso proporcionó una base de referencia para las inversiones en diseño y construcción BIM. Se emplearon las métricas: Costos de diseño de arquitectura e ingeniería, modelo 3D creación de costos, costos de construcción y de contratistas y, costos de diseño y construcción. Los resultados son los siguientes: Costos de diseño de arquitectura e ingeniería (31% de incremento en costos), modelo 3D creación de costos (34% de incremento en costos), costos de construcción y de contratistas (5% de ahorro), costos de diseño y construcción (2% de ahorro). Los datos muestran que se incurre en costos debido al diseño BIM y se experimenta un ahorro gracias a la construcción BIM. El balance muestra un ahorro al totalizar los dos componentes. Caso 3: Se analizó un área funcional basándose en dos proyectos antiguos No BIM, dos proyectos antiguos BIM, con un proyecto actual bajo los modelos BIM y No BIM. Los datos fueron comparados como No BIM Vs BIM. Este caso de estudio provee una línea base de inversiones y beneficios. Se emplearon las métricas de los casos 1 y 2. Los resultados obtenidos son: Métricas de beneficios: RFIs (No hay disminuciones), cambio de instrucciones (70% de ahorro respecto de los costos estándar), cronograma (53% de reducción en tiempo respecto del

tiempo estándar). Métricas de inversión: Costos de diseño de arquitectura e ingeniería (29% de incremento en costos), modelo 3D creación de costos (47% de incremento en costos), costos de construcción y de contratistas (6% de ahorro). Costos de diseño y construcción (1% de ahorro).

Los estudios de Tsai et al. (2014) y Barlish & Sullivan (2012) coinciden en la comparación de resultados en proyectos en los que no se implementó BIM con aquellos en los que si se implementó. En ambos se concluyó que la adopción de BIM generó mayores beneficios económicos.

Otras ventajas con menor frecuencia a las descritas anteriormente, fueron presentadas Gilkinson et al. (2015) a través del primer caso incluido en su investigación referente al Proyecto "Knowsley School" - Edificios escolares para el futuro - realizado en Reino Unido. Allí se implementó la aplicación BIM Revit cambiando el proceso de diseño arquitectónico mediante la combinación de AutoCad (2D) y Revit (3D). El proceso de diseño fue complementado con aplicaciones a la medida desarrolladas por el equipo interno de desarrollo de la empresa consultora. La implementación de BIM represento ventajas para la empresa. Mejoró su habilidad de proveer información precisa, concisa y coordinada en la fase de licitación gracias a la eficiencia en el diseño, así como la capacidad de proveer servicios de diseño de mobiliario y equipamiento. Mejoró el entendimiento del proyecto al cliente y usuario final. Se incorporaron los elementos 3D al proceso de manufactura y producción y se desarrolló una línea de ensamble automatizada para elementos de construcción. Esto a su vez, aumentó la seguridad de los costos del proyecto y redujo los problemas de coordinación en sitio.

Finalmente, Boon (2018) presenta un resultado más general de los aportes que tiene la implementación BIM en un sistema integrado de ejecución de proyectos a través de una investigación basada en un cuestionario realizado a un grupo de 99 profesionales del sector de la construcción, dentro de los cuales en su mayoría son arquitectos, ingenieros civiles y

estructurales. El cuestionario incluyó 17 elementos de BIM en la implementación de los proyectos. Los resultados mostraron que 7 variables tenían las mayores contribuciones a la ejecución de los proyectos. Estos son: Empleo de datos actualizados para informar al equipo del proyecto, cálculo de cantidades, mejor visualización mediante el modelado 3D, seguimiento del estado de los materiales desde la fabricación hasta la llegada a la obra y la instalación (Cualificar), predicción del rendimiento futuro de los materiales (Previsión), almacenamiento de datos diversos (Documentación), almacenamiento de datos para operación de equipos (Control). Adicionalmente el estudio concluyó que BIM tiene una incidencia favorable en todo el sistema integrado de la ejecución de proyectos.

Tabla 2

Características de los estudios revisados

Autor/año	Título	Muestra	Metodología / variables	Resultados
Chen et al., 2023	Potential features of building information modelling for application of project management knowledge areas as advances modeling tools	Dos proyectos de construcción de infraestructura del sector de la salud.	Estudio de caso. VI: BIM VD: Áreas de conocimiento de la gestión de proyectos	Mejora en los campos tiempo y costo. Mejora en la productividad
Ginzburg & Galina, 2022	Lecture Notes in Civil Engineering Building Life-cycle Management	Un proyecto de construcción de un complejo agro-industrial	Estudio de caso VI: Implementación de modelos tecnológicos de la información VD: Construction Project Management	Mejora en los campos tiempo y costo.
Rui et al., 2021	Construction Project Management Based on Building Information Modeling (BIM)	Un proyecto de construcción de dos torres de edificios de un condominio en Malasya.	Estudio de Caso VI: BIM VD: Construction Project Management	Mejora en los campos tiempo, calidad y costo. Mejora en la eficiencia
Boon, 2018	Building Information Modelling integrated project delivery system in Malaysia	99 profesionales de la industria de la construcción. Arquitectos (12), Ingenieros civiles y estructurales (29),	Enfoque cuantitativo VI: BIM VD: Sistema integrado de ejecución de proyectos	Impacto favorable en todo el sistema integrado de la ejecución del proyecto

		Ingenieros mecánicos y electricistas (10), Supervisores (10), Contratistas (19), Promotores (2), Autoridades locales (17)		
Hoseini et al., 2019	Analysis of the influence of building information modeling (BIM) on construction project management areas of knowledge: A hybrid FANP-FVIKOR approach	Grupo de expertos en BIM.	Enfoque cuantitativo Entrevistas y cuestionario. VI: BIM VD: Construction Project Management	Mejora en los campos tiempo, calidad y costo. Aportaciones a la gestión de las partes interesadas, integración del proyecto y las comunicaciones.
Mesároš & Mandičák, 2017	Exploitation and Benefits of BIM in Construction Project	85 miembros de compañías del sector de la construcción.	Enfoque cuantitativo Cuestionario VI: Explotación y beneficios de BIM VD: Gestión de proyectos de construcción	Mejora en los campos tiempo, calidad y costo. Otros beneficios en gestión documental.
Farnsworth et al., 2015	Application, Advantages, and Methods Associated with Using BIM in Commercial Construction	18 compañías líderes del sector de la construcción comercial. Encuesta a: 12 ejecutivos, 13 directivos medios y 12 participantes con manejo de BIM a nivel de usuario	Enfoque cuantitativo Cuestionario VI: BIM VD: Construcción comercial	Mejora en los campos tiempo, calidad y costo.
Juszczuk et al., 2015	Prospects for the use of BIM in Poland and the Czech Republic - Preliminary Research Results	Caso 1: Uso de BIM en proyectos de construcción en República Checa Entrevista a 32 profesionales del sector de la construcción: 47% arquitectos, 32% ingenieros civiles, 15% personal del departamento de construcción. Caso 2: Uso de BIM en proyectos de construcción en Polonia Entrevista a 43 personas involucradas en el sector de la construcción: Propietarios (2%), diseñadores (21%), asistentes de diseño (28%), directores de obra (9%), gerentes (5%), otros (35%) como ingenieros y programadores.	Caso de estudio Caso 1: Uso de BIM en proyectos de construcción en República Checa Caso 2: Uso de BIM en proyectos de construcción en Polonia VI: BIM VD: Proyectos de construcción	Mejora en los campos tiempo, calidad y costo. Organización de la información Cooperación entre miembros

Tsai et al., 2014	Workflow re-engineering of design-build projects using a BIM tool	Empresa de diseño y construcción de proyectos en Taiwan. CTCI Corporation	VI: Implementación de BIM VD: Reingeniería del flujo de trabajo de proyectos de diseño y construcción	Mejora en el campo calidad Mejora en la productividad Incremento en la rentabilidad a través de: -Mejora en la competencia industrial internacional -Mejora en el desempeño de la gestión de la construcción -Mejora en la seguridad de la construcción Prestigio de la empresa y aumento en la confianza de los propietarios.
Gilkinson et al., 2015	Building information modelling: The tide is turning.	Proyecto "Knowsley School" - edificios escolares para el futuro Proyecto Royal Opera House and Portcullis House Proyecto Heathrow Airport Energy Centre Proyecto Bligh Street, Sydney Proyecto "Building Design Consult Ltd. UK Structures: Wood Lane Studios Proyecto Queensland State Archives	(6) Casos de estudio VI: BIM VD: Proyectos de construcción	Caso 1: Proyecto "Knowsley School" - edificios escolares para el futuro Mejora en la entrega de información Mejora en el entendimiento del proyecto Mejora en la seguridad de los costos y reducción de problemas de coordinación en sitio. Caso 2: Proyecto Royal Opera House and Portcullis House Mejora en los campos tiempo, calidad y costo. Caso 3: Proyecto Heathrow Airport Energy Centre Mejora en el campo calidad Caso 4: Proyecto Bligh Street, Sydney Mejora en el campo tiempo

				Caso 5: Proyecto "Building Design Consult Ltd. UK Structures: Wood Lane Studios Mejora en el campo tiempo Mejora en la gestión de recursos Caso 6: Proyecto Queensland State Archives Mejora en el campo tiempo
Barlish & Sullivan, 2012	How to measure the benefits of BIM - A case study approach.	Tres casos de estudio en una compañía.	Estudio de casos (3)	Caso 1: Mayor rentabilidad Caso 2: Disminución de costos Caso 3: Mayor rentabilidad Disminución de costos

Todas las investigaciones revisadas mostraron resultados favorables como consecuencia de la implementación de BIM en proyectos de construcción. Se evidenciaron beneficios en la gestión de los proyectos estudiados y también en las organizaciones que adoptaron esta tecnología. Los resultados que predominan son los que se refieren a mejoras en la gestión de los proyectos en términos de costo, tiempo y calidad, seguidos por mejoras en la gestión de la integración y aumento en la productividad. En lo que respecta a beneficios directos a las organizaciones, las investigaciones demostraron que la integración de BIM en sus modelos de gestión ocasionó un aumento de sus rentabilidades.

Discusión

A través de esta revisión, el objetivo era definir cuales elementos de la gestión de proyectos en el sector de la construcción podrían beneficiarse en mayor medida con el uso de la metodología BIM. En la mayor parte de los estudios revisados, los elementos referentes a costo,

calidad y tiempo, convergen como los más beneficiados en la gestión de proyectos de construcción. Un primer aspecto a destacar del análisis es que, si bien los estudios involucraron el uso de BIM en proyectos de construcción, este se hizo empleando distintas capacidades de esta metodología. Como se indicó con anterioridad, las capacidades de BIM están representadas en las siguientes dimensiones: 3D (Modelado tridimensional), 4D (Estimación de tiempo), 5D (Estimación de costos) (Zetterman & Lahdou, 2011), 6D (Operación), 7D (Sostenibilidad) y 8D (Seguridad) (Smith, 2014).

En el estudio adelantado por Rui et al. (2021), se implementaron las dimensiones BIM 3D, 4D y 5D concluyendo que 3D proporcionó beneficios en términos de calidad, 4D beneficios en el cronograma (tiempo) y 5D beneficios en términos de costos. Aquí, se exponen resultados de cada una de las dimensiones BIM implementadas. Similares resultados se obtuvieron en la investigación de Hoseini et al. (2019) bajo la consideración de que las dimensiones BIM que aportan en mayor medida son modelación 3D a través de la detección de conflictos y 4D a través de la simulación del proceso constructivo. Es decir, pese a que en el estudio la dimensión 5D (Estimación de costos) no se contempló como una de las que representan grandes aportes, se encontraron beneficios en costos solamente tomando en cuenta las dimensiones 3D y 4D. De igual manera, Gilkinson et al. (2015) en el segundo caso estudiado en su publicación, y Farnsworth et al. (2015), hallaron resultados relacionados con beneficios en términos de calidad, tiempo y costo. Ambos estudios analizaron la implementación BIM desde las dimensiones 3D y 4D, concluyendo que estas capacidades también tuvieron una incidencia en el componente de costos, pese a que la dimensión 5D no se aplicó en los proyectos estudiados. Es decir, las características inherentes a las aplicaciones de modelado tridimensional y cronograma, también ocasionaron impactos favorables en los costos de los proyectos.

Un análisis similar, puede hacerse con los resultados de los casos 1 y 4 de la investigación de Gilkinson et al. (2015), pues en ambos, se implementó únicamente la dimensión

3D (modelo tridimensional) y para el caso 1 se encontraron mejoras en el suministro de información y reducción de problemas de coordinación en sitio, es decir, beneficios en la gestión de la integración, y el en caso 4 se halló un beneficio en la gestión del cronograma (tiempo). Chen et al. (2023) analizó la implementación de la dimensión 4D (Cronograma) encontrando beneficios en tiempo y costo. En los casos 3,5 y 6 que analizó Gilkinson et al. (2015), hay correspondencia en los resultados obtenidos con las características de las dimensiones implementadas, pues en los casos 3 y 5 se implementó la dimensión 3D (modelo tridimensional) demostrando resultados en términos de calidad y en el caso 6 se implementó la dimensión 4D demostrando resultados en términos de tiempo.

Un caso en el que se implementaron más capacidades de BIM es el estudiado por Ginzburg & Galina (2022). Allí se emplearon las dimensiones 3D, 4D, 5D y 6D, esta última, no contemplada en ninguno de los estudios revisados. Los resultados obtenidos muestran beneficios únicamente en los componentes de tiempo y costo, es decir, los relacionados con las dimensiones 4D y 5D.

Otros casos estudiados concluyeron beneficios económicos como resultado de la implementación de BIM. Por un lado, Barlish & Sullivan (2012) tras analizar la implementación de BIM en las dimensiones 3D, 4D y 5D, y por otro, Tsai et al. (2014) con la implementación BIM a través de la herramienta "construction director" como facilitador de la vinculación de las dimensiones 3D y 4D. Otro estudio que señaló la implementación de BIM bajo el uso de algunas de sus dimensiones es el que realizó Boon (2018). Tras aplicar las dimensiones 3D y 4D, se concluyó una incidencia favorable en todo el sistema integrado de ejecución de proyectos.

Los estudios de Mesároš & Mandičák (2017) y Juszczak et al. (2015), basados en encuestas realizadas a personal de la industria de la construcción conocedor de la metodología BIM. En ninguno se mencionan capacidades específicas de BIM en el proceso de recolección

de datos, pues se orientaron a conocer la percepción de los encuestados en torno a los beneficios asociados a la implementación BIM de forma general. En ambos, se obtuvieron resultados de aportes en términos de tiempo, calidad y costo.

Considerando que las competencias de BIM en los proyectos de construcción corresponden a las áreas del Project Management Body Of Knowledge (PMBOK), pues la naturaleza y rol de cada una son similares (Mandičák et al., 2020), podría pensarse que la aplicación de ciertas dimensiones BIM pueden resultar en aportes a su área de conocimiento correspondiente dentro de la gestión de un proyecto. Sin embargo, los resultados de las investigaciones consultadas muestran que no necesariamente la implementación de una determinada dimensión conllevó a obtener beneficios en el área de conocimiento que esta comprende, y que, por el contrario, hay casos en los que se implementó una sola dimensión como 3D, y se obtuvieron beneficios en otras áreas de conocimiento diferentes a la abordada por 3D. Las funcionalidades que tiene el modelado tridimensional 3D, como detección temprana de conflictos e integración con otras herramientas, permitiendo hacer análisis previos a la fase de construcción de un proyecto, hacen suponer que esta capacidad de BIM podría ser una de las más influyentes en la gestión de proyectos de construcción.

BIM ofrece un amplio portafolio de capacidades que se pueden aplicar a un proyecto de construcción en sus fases de diseño conceptual, diseño de detalle, pre construcción, construcción y entrega. Posteriormente, también se puede aplicar en la fase de sostenibilidad de las instalaciones. Su implantación implica cambios en la tecnología y en los procesos de trabajo (Tian et al., 2023). Los modelos de BIM generalmente se elaboran mediante de un software de modelado tridimensional 3D (Gilkinson et al., 2015) a través de representaciones digitales de la edificación asociadas a atributos de datos y gráficos computables coordinados permitiendo que los cambios se reflejen en todas las vistas del modelo. La implementación de esta tecnología ofrece ventajas como la detección de inconsistencias, análisis a partir de datos (Eastman, 2008)

y ofrece una fuente única y centralizada de información para las partes interesadas del proyecto (Mesá Roš et al., 2020).

Si bien BIM es fundamental en la fase de pre-construcción y planeación su implementación en la construcción en tiempo real presenta limitaciones, particularmente en lo concerniente a la productividad laboral. BIM ofrece un nivel macro de visualización que se concentra extensamente en materiales, recursos, programación y detalles estructurales, pero carece de adaptabilidad a los cambios dinámicos que frecuentemente se presentan en el sitio de la construcción. Esta limitación dificulta su eficacia en el seguimiento de la productividad individual de los trabajadores y la realización de ajustes en tiempo real de los flujos de trabajo, algo esencial para maximizar la productividad y minimizar el tiempo de inactividad (Abdelalim et al., 2024).

Barlish & Sullivan (2012) han señalado que el éxito de BIM depende de factores como la envergadura del proyecto, los conocimientos de BIM por parte de los miembros del equipo, la comunicación del equipo del proyecto y también de otros factores organizativos externos. A su vez, Kostalova & Tetreova (2014) señalan que el éxito de la gestión de un proyecto depende de la aplicación de las herramientas adecuadas. De acuerdo a las consideraciones de estos autores, el éxito de la implementación BIM y el éxito de la gestión de un proyecto dependen de muchas variables. Esto podría explicar de algún modo porqué en algunos casos se implementaron unas capacidades de BIM y en otros no, y también, por qué no en todos los casos las capacidades aplicadas reflejaron aportaciones.

Finalmente, se debe mencionar que el presente estudio no está exento de limitaciones que podrían mejorarse. Surge el interrogante del porque hay capacidades de BIM que se implementaron y no tuvieron aportes concretos en las áreas afines de la gestión de proyectos. Se sugiere que futuras investigaciones de revisión consideren casos de proyectos en los cuales se

hayan implementado las mismas capacidades de BIM para poder hacer un análisis más profundo en torno al grado de incidencia que cada una de estas variables tiene en la gestión de proyectos de construcción. Esto podría nutrir los resultados del presente estudio para tomar mejores decisiones respecto de cuáles funcionalidades de BIM conviene más emplear para alcanzar los resultados esperados en un determinado proyecto.

Conclusiones

Existe un gran número de estudios acerca de la metodología BIM abordando distintos ámbitos. La categoría “Construcción y gestión de proyectos” es la que más estudios agrupa con un alto volumen de temas de investigación. Muchas de estas han demostrado que la implementación BIM en el sector de la construcción genera beneficios no solamente para el proyecto sino también para las organizaciones que lo adoptan como una herramienta en sus modelos de gestión. Sin embargo, la complejidad de los proyectos de construcción en países como China y la alta expectativa que la industria tiene en BIM, permiten suponer que funciones como la visualización y la integración de la información puedan no llegar a llenar los requerimientos del sector de la construcción en términos de desarrollo en la era de la tecnología inteligente (Xia et al., 2023). La tecnología de la información es una tendencia en el desarrollo urbano y el uso de BIM con otras tecnologías para desarrollar, explotar y mantener espacios subterráneos urbanos se ajusta a esta tendencia (Guan X, 2016, como se citó en Xia et al., 2023). En el futuro, la aplicación de análisis de Big Data y BIM tendrá importantes implicaciones. Permitirá una predicción más completa y precisa del rendimiento de los edificios, la optimización del diseño y una mayor eficiencia en la construcción (Lin et al., 2016). Además, en el ámbito de la ingeniería de la construcción, la integración de la tecnología de macro datos en el BIM facilitará el análisis de los datos de construcción junto con la información geográfica, los datos de tráfico y los datos demográficos (Feng, 2023).

Actualmente, hay desafíos que se deben enfrentar para implementar BIM con resultados favorables, siendo uno de los más relevantes, el conocimiento de su funcionamiento por parte de todos los involucrados en el proyecto. La elección de cuales capacidades de BIM aplicar debería hacerse en función de los aportes que puedan brindar al proyecto teniendo en cuenta su naturaleza, lo cual optimizaría el costo de implementación de esta herramienta. Este estudio propuso una revisión sistemática acerca de BIM con el propósito de identificar aquellos campos de la gestión de proyectos más beneficiados con el uso de dicha tecnología. Después de hacer una integración de los resultados analizados en el presente estudio, se podría afirmar que la implementación de BIM en los proyectos de construcción estudiados mostró logros en términos de calidad, tiempo y costo. La Calidad principalmente se benefició debido a la detección temprana de conflictos entre elementos evitando errores constructivos en la fase de construcción. También se lograron ahorros de tiempo gracias a una adecuada gestión del cronograma, creación de flujos de trabajo óptimos y eliminación de reprocesos. Los costos se vieron beneficiados gracias a los controles de cuantificación de obra automática disminuyendo los desperdicios en obra. Adicionalmente, en menor proporción, se demostraron aportes a la gestión de la integración y las comunicaciones debido a la participación activa de las partes involucradas en los proyectos. Desde el ámbito organizacional, el empleo de BIM demostró generar aumentos en los beneficios económicos, así como aumento en la productividad.

Referencias

- Abdelalim, A. M., Said, S. O., Alnaser, A. A., Sharaf, A., ElSamadony, A., Kontoni, D. P. N., & Tantawy, M. (2024). Agent-Based Modeling for Construction Resource Positioning Using Digital Twin and BLE Technologies. *Buildings*, 14(6).
<https://doi.org/10.3390/buildings14061788>
- Ali, K. N., Alhajlah, H. H., & Kassem, M. A. (2022). Collaboration and Risk in Building Information Modelling (BIM): A Systematic Literature Review. *Buildings*, 12(5).
<https://doi.org/10.3390/buildings12050571>
- Alshawi, M., & Ingirige, B. (2003). Web-enabled project management: an emerging paradigm in construction. *Automation in Construction*, 12(4), 349–364. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(03\)00003-7](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(03)00003-7)
- Ballard, G., & Howell, G. A. (2002). *Article in Building Research and Information*.
<https://doi.org/10.1080/09613210301997>
- Barlish, K., & Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM - A case study approach. *Automation in Construction*, 24, 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.008>
- Boon, L. H. , S. C. C. , L. S. E. N. , A. E. , Z. R. , H. A. R. A. , S. N. N. , & Z. R. M. (2018). 0 TH ASIA PACIFIC STRUCTURAL ENGINEERING AND CONSTRUCTION CONFERENCE 2018 Scopus Elsevier. *Malaysian Construction Research Journal (MCRJ)*, 6(1), 144–152.
- Chan, A. P. C., Scott, D., & Chan, A. P. L. (2004). Factors Affecting the Success of a Construction Project. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(1).
<https://doi.org/10.1061/ASCE0733-93642004130:1153>
- Chang, A. S., Shen, F. Y., & Ibbs, W. (2010). Design and construction coordination problems and planning for design-build project new users. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(12), 1525–1534. <https://doi.org/10.1139/L10-090>
- Chathuranga, S., Jayasinghe, S., Antucheviciene, J., Wickramarachchi, R., Udayanga, N., & Weerakkody, W. A. S. (2023). Practices Driving the Adoption of Agile Project Management Methodologies in the Design Stage of Building Construction Projects. *Buildings*, 13(4).
<https://doi.org/10.3390/buildings13041079>
- Chen, S., Zeng, Y., Majdi, A., Salameh, A. A., Alkhalifah, T., Alturise, F., & Ali, H. E. (2023). Potential features of building information modelling for application of project management knowledge areas as advances modeling tools. *Advances in Engineering Software*, 176, 103372. <https://doi.org/10.1016/J.ADVENGSOFT.2022.103372>
- De Marco, A., & Karzouna, A. (2018). Assessing the benefits of the integrated project delivery method: A survey of expert opinions. *Procedia Computer Science*, 138, 823–828.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.107>
- Demirkesen, S., & Ozorhon, B. (2017). Impact of integration management on construction project management performance. *International Journal of Project Management*, 35, 1639–1654.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.09.008>

- Dey, R. (2010). *BIM : Building Information Modeling Blog: The History of the BIM and the Success Story Till Date*. <https://bim-modeling.blogspot.com/2010/12/history-of-bim-and-success-story-till.html>
- Eastman, C. M. . (2008). *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Wiley.
- Farnsworth, C. B., Beveridge, S., Miller, K. R., & Christofferson, J. P. (2015). Application, Advantages, and Methods Associated with Using BIM in Commercial Construction. *International Journal of Construction Education and Research*, 11(3), 218–236. <https://doi.org/10.1080/15578771.2013.865683>
- Feng, N. (2023). Retracted: The Influence Mechanism of BIM on Green Building Engineering Project Management under the Background of Big Data. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2023, 1–1. <https://doi.org/10.1155/2023/9851621>
- Gilkinson, N., Raju, P., Kiviniemi, A., & Chapman, C. (2015). Building information modelling: The tide is turning. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, 168(2), 81–93. <https://doi.org/10.1680/stbu.12.00045>
- Ginzburg, A., & Galina, K. (2022). *Lecture Notes in Civil Engineering Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies Selected Papers*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96206-7_24
- Hoseini, A. R., Ghannadpour, S. F., Noori, S., & Yazdani, M. (2019). Analysis of the influence of building information modeling (BIM) on construction project management areas of knowledge: A hybrid FANP-FVIKOR approach. *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*, 30(1), 57–92. <https://doi.org/10.22068/IJIEPR.30.1.57>
- Jethva, S. S., & Skibniewski, M. J. (2022). Agile project management for design-build construction projects: a case study. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 19(1). [https://doi.org/10.6703/IJASE.202203_19\(1\).001](https://doi.org/10.6703/IJASE.202203_19(1).001)
- Juszczuk, M., Výskala, M., & Zima, K. (2015). Prospects for the use of BIM in Poland and the Czech Republic - Preliminary Research Results. *Procedia Engineering*, 123, 250–259. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.086>
- Kostalova, J., & Tetreva, L. (2014). Project Management and its Tools in Practice in the Czech Republic. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 150, 678–689. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.087>
- Lappalainen, E. M., Sepp€e, O., & Peltokorpi, A. (2021). Transformation of construction project management toward situational awareness. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(8), 2199–2221. <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2020-1053>
- Latupeirissa, J. E., & Arrang, H. (2024). Sustainability factors of building information modeling (BIM) for a successful construction project management life cycle in Indonesia. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 9, 26. <https://doi.org/10.1007/s41024-023-00376-1>
- Ling, F. Y. Y. (2004). How project managers can better control the performance of design-build projects. *International Journal of Project Management*, 22(6), 477–488. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2003.09.003>

- Lin, J. R., Hu, Z. Z., Zhang, J. P., & Yu, F. Q. (2016). A Natural-Language-Based Approach to Intelligent Data Retrieval and Representation for Cloud BIM. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 31(1), 18–33. <https://doi.org/10.1111/mice.12151>
- Love, P. E. D., David, •, Edwards, J., Han, S., & Goh, Y. M. (2011). Design error reduction: toward the effective utilization of building information modeling. *Research in Engineering Design*, 22(3), 173–187. <https://doi.org/10.1007/s00163-011-0105-x>
- Mandičák, T., Mesároš, P., & Tkáč, M. (2020). CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT THROUGH BIM AND KNOWLEDGE TECHNOLOGY. *POLLACK PERIODICA*, 15(1), 177–186. <https://doi.org/10.1556/606.2020.15.1.17>
- Mesároš, P., & Mandičák, T. (2017). Exploitation and Benefits of BIM in Construction Project Management. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/6/062056>
- Mesá Roš, P., Tomá, •, Mandičá, ˇ, & Annamá Ria Behú Nová, •. (2020). Use of BIM technology and impact on productivity in construction project management. *Wireless Networks*, 28. <https://doi.org/10.1007/s11276-020-02302-6>
- Nguyen, T. A., Nguyen, T. A., & Tran, T. Van. (2024). Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Schedule Management: A Review. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 14(2), 13133–13142. <https://doi.org/10.48084/etasr.6834>
- Olawumi, T. O., Chan, D. W. M., & Wong, J. K. W. (2017). Journal of Civil Engineering and Management Evolution in the intellectual structure of BIM research: a bibliometric analysis Evolution in the intellectual structure of BIM research: a bibliometric analysis. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(8), 1060–1081. <https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1374301>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. In *The BMJ* (Vol. 372). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Rokoeei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 210, 87–95. <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2015.11.332>
- Rui, Y., Yaik-Wah, L., & Siang, T. C. (2021). Construction Project Management Based on Building Information Modeling (BIM). *Civil Engineering and Architecture*, 9(6), 2055–2061. <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090633>
- Sage, D. J., Dainty, A. R. J., & Brookes, N. J. (2010). Who reads the project file? Exploring the power effects of knowledge tools in construction project management. *Construction Management and Economics*, 28(6), 629–639. <https://doi.org/10.1080/01446191003725154>
- Smith, P. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.053>

- Taghinezhad, A., Jafari, A., Asce, A. M., Kermanshachi, S., Asce, M., Nipa, T., & Asce, S. M. (2021). *Construction Project Management Dimensions in Transportation Agencies: Case Study of the US Department of Transportation*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000579](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000579)
- Tian, L., Wright, A., Painter, B., & Pazhoohesh, M. (2023). Factors influencing BIM use in green building construction project management in the UK and China. *Building Research and Information*, 51(7), 853–870. https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2213356/ASSET/A10EE7B2-0554-403A-A255-37C8BCAACB57/ASSETS/IMAGES/RBRI_A_2213356_F0003_OC.JPG
- Tsai, M.-H., Matin, A., Kang, S.-C., Hsieh, S.-H., & Matin Md, A. (2014). Workflow re-engineering of design-build projects using a BIM tool. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 37(1), 88–102. <https://doi.org/10.1080/02533839.2012.751302>
- Walker, A. (2015). *Project Management in Construction*.
- Wong, A. K. D., & Zhang, R. (2013). Implementation of web-based construction project management system in China projects by Hong Kong developers. *Construction Innovation*, 13(1), 1471–4175. <https://doi.org/10.1108/14714171311296048>
- Wysocki, R. K. (2011). *Effective Project Management Traditional, Agile, Extreme, Hybrid Eighth Edition*.
- Xia, W., Zheng, Y., Huang, L., & Liu, Z. (2023). Integration of Building Information Modeling (BIM) and Big Data in China: Recent Application and Future Perspective. In *Buildings* (Vol. 13, Issue 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/buildings13102435>
- Zetterman, D., & Lahdou, R. (2011). *BIM for Project Managers How project managers can utilize BIM in construction projects RIM LAHDOU*.