

**Análisis del impacto de las herramientas digitales en la planificación y
control de proyectos de ingeniería civil en Colombia**

Autor

Faiber Duvan Quintero Lizarazo

Trabajo para optar a grado como Ingeniero Civil

Tutor

Victor Hugo Verjel Tarazona

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Programa Ingeniería Civil

Pamplona, Norte de Santander

Junio, 2025

Tabla de contenido

Resumen.....	6
Abstract	7
Introducción	8
Capítulo 1. Generalidades	9
1.1. Contexto y Justificación del Estudio.....	9
1.2 Formulación del problema	10
1.3. Objetivos de la investigación	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos.	11
1.4. Relevancia de la investigación.....	11
1.5. Alcance y limitaciones	12
Capítulo 2. Marco referencial	13
2.1. Gestión de proyectos en ingeniería civil.....	13
2.2. Transformación digital en la construcción.....	14
2.3. Building Information Modeling (BIM).....	15
2.4. Microsoft Project y Oracle Primavera P6	16
2.5. Autodesk Navisworks y Synchro.....	17
2.6 Revit y su vinculación con Navisworks y Synchro	18

2.7. Indicadores de desempeño: tiempo, costo, calidad y eficiencia	18
Capítulo 3. Contexto colombiano y marco normativo	20
3.1. Actualidad de Colombia en el sector de ingeniería civil	21
3.2. Normativa aplicable para la gestión de proyectos públicos.....	21
3.3. Estrategias Nacionales para la transformación digital	22
3.4. implementación tecnológica en el sector privado	23
3.5. Retos y oportunidades en la digitalización de la construcción	24
Capítulo 4. Metodología	25
4.1. Diseño y enfoque metodológico	25
4.2. Criterios de búsqueda y selección de información	26
4.3. Procedimiento para el análisis	26
4.4. Ética y transparencia investigativa.....	28
Capítulo 5. Resultados y análisis	29
5.1. Casos de estudio.....	29
• Proyecto de infraestructura vial en Bogotá (sector público).....	29
• Proyecto de edificación en Medellín (sector privado).	29
• Universidad de Pamplona, mejoramiento de su estructura académica (Sector académico).....	30
5.2. Comparativa entre el sector público y privado	30
5.3. Impacto en el cronograma (tiempos de ejecución)	32

5.4. Impacto en los costos del proyecto	33
5.5. Impacto en la calidad y cumplimiento técnico	34
5.6. Impacto en la eficiencia para gestionar proyectos	35
5.7. Discusión e interpretación de resultados.....	36
Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones	38
6.1. Conclusiones generales.....	38
6.2. Recomendaciones para los sectores público, privado y académico.....	39
Sector público.	39
Sector privado.	39
Sector académico.	40
6.3. Sugerencias para futuras investigaciones.....	40
Bibliografía	41

Índice de figuras

Figura 1 Las ocho tecnologías esenciales.	14
Figura 2 Ciclo de vida de un proyecto BIM.	15
Figura 3 Indicadores de desempeño en la construcción KPI's.	18
Figura 4 Características del enfoque cualitativo de investigación.	28
Figura 5 Comparación entre los sectores de la construcción.	31
Figura 6 Gestión del cronograma con programación 4D al modelo.	33
Figura 7 Grados de Dimensiones BIM.	37

Resumen

En el transcurso de la investigación se estudia como algunas herramientas digitales se involucran en la planificación y el control de proyectos ingenieriles en Colombia, considerando el contexto nacional regional y local. El estudio parte del análisis de conceptos clave para la gestión de proyectos, la transformación digital en la construcción se ve reflejada en el uso de softwares prácticos e innovadores como Microsoft Project y Primavera P6, que impulsan los indicadores reales de desempeño en obra tales como tiempo, costo, calidad y eficiencia.

En el contexto colombiano, se examinan las políticas públicas, normativas vigentes, estrategias nacionales como la adopción de BIM, así como la realidad tecnológica del sector privado. La metodología usada para la investigación fue, explorar diversas fuentes académicas mediante un enfoque cualitativo y examinar cuidadosamente algunos casos relevantes bajo una lógica de gestión por fases, que coordina múltiples áreas en proyectos donde se aplican estas herramientas, al tiempo que se identifican nuevos desafíos asociados a la capacitación, inversión tecnológica y la adaptación a la normativa.

Palabras clave: Transformación digital, Gestión de proyectos, Indicadores de desempeño, Gestión por fases.

Abstract

This research examines how some digital tools are involved in the planning and control of engineering projects in Colombia, considering the national, regional, and local context. The study begins with an analysis of key concepts for project management. The digital transformation in construction is reflected in the use of practical and innovative software such as Microsoft Project and Primavera P6, which drive real-world performance indicators on site, such as time, cost, quality, and efficiency.

In the Colombian context, public policies, current regulations, national strategies such as the adoption of BIM, as well as the technological reality of the private sector are examined. The research methodology used was to explore various academic sources using a qualitative approach and carefully examine some relevant cases using a phased management approach, which coordinates multiple areas in projects where these tools are applied, while also identifying new challenges associated with training, technological investment, and regulatory adaptation.

Keywords: Digital transformation, Project management, Performance indicators, Phase management.

Introducción

En la actualidad, los diversos sectores incluida la industria de la construcción, han venido incorporando avances tecnológicos que contribuyen en la mejorara y eficiencia de procesos constructivos como, la planificación y el control de proyectos de infraestructura, a través del uso de herramientas digitales. Entre estas herramientas destacan Microsoft Project, Oracle Primavera, Synchro, Revit, Navisworks y el Modelamiento de información de construcción (BIM), las cuales ofrecen la posibilidad de gestionar de una manera más eficiente los recursos, tiempos, costos y calidad de los proyectos, criterios de evaluación con gran impacto en países en vía de desarrollo como Colombia.

En la medida que un proyecto resulte más complejo, y las exigencias de control y sostenibilidad aumenten, es fundamental adoptar tecnologías para garantizar una ejecución con mayor precisión y garantías. Políticas públicas como la Estrategia Nacional BIM y algunos lineamientos del Departamento Nacional de Planeación (DNP), han empezado a impulsar dicha transformación digital, considerando que la aplicación de tecnologías aun enfrenta barreras mayormente a nivel local y regional.

Esta investigación busca comprender la medida en que las herramientas digitales impactan directamente en la manera que se planifican y controlan los proyectos de ingeniería en Colombia, contando con una perspectiva nacional regional, y local, para definir la influencia real de la utilización de softwares en la programación de obras.

Capítulo 1. Generalidades

El estudio está estructurado en seis capítulos con la finalidad de brindar una comprensión completa del tema. En este primer capítulo se presentan la formulación, planteamiento y justificación del problema, los objetivos a cumplir, y el alcance y limitaciones que puede presentar la investigación.

1.1. Contexto y Justificación del Estudio

El sector de la construcción en Colombia históricamente ha sido uno de los sectores con mayor influencia en el desarrollo económico y social del país. Sin embargo, la manera tradicional de gestionar los proyectos ingenieriles ha presentado falencias a lo largo del tiempo que, por lo general relacionadas con la deficiencia en el control de cronogramas, presupuestos y calidad técnica, esto se debe en gran parte a la falta de actualización en herramientas que optimice toda la información del proyecto en un mismo modelo, y de esta forma llevar un efectivo control desde la etapa de planificación.

En este sentido, la adopción de nuevas tecnologías como la metodología BIM, o la implementación de softwares como Microsoft Project, Oracle Primavera P6, entre otros, son clave en la modernización de gestión de proyectos. Debido a que estas herramientas cuentan con características privilegiadas como modelar digitalmente la obra, gestionar los recursos, pronosticar imprevistos y apoyar la toma de decisiones con información actualizada en tiempo real.

En el departamento Norte de Santander se han gestionado campañas para la adopción de procesos modernos en algunos proyectos de sectores públicos y privados, persistiendo algunos desafíos relevantes relacionados con la capacitación del personal,

inversión tecnológica y adecuación de la normativa (Cámara Colombiana de la Infraestructura, 2023). En un contexto local, la Universidad de Pamplona ha buscado la forma de integrar herramientas digitales en sus procesos académicos e investigativos, especialmente capacitando los estudiantes en el manejo de herramientas digitales y promoviendo semilleros de investigación orientados a las distintas áreas de Ingeniería Civil, fortaleciendo las competencias en futuros profesionales del sector (Universidad de Pamplona, 2022).

1.2 Formulación del problema

A pesar de los avances en la digitalización del sector construcción en Colombia, se generan dudas sobre cómo las herramientas digitales impactan concretamente en la planificación o el control de obras. Pues en varias regiones colombianas, los proyectos persisten en enfoques convencionales que dificultan la trazabilidad y el control efectivo.

¿Cuál es el impacto de las herramientas digitales en la planificación y control de proyectos de ingeniería civil en Colombia, y la relación observada entre los contextos públicos, privados y académicos a nivel nacional, regional y local?

1.3. Objetivos de la investigación

Objetivo general.

Determinar el impacto del uso de herramientas digitales en la planificación y control de proyectos de ingeniería civil en Colombia, considerando su aplicación en los sectores públicos, privados y académicos.

Objetivos específicos.

- Identificar las principales herramientas digitales utilizadas en Colombia para la planeación y seguimiento de obras civiles.
- Evaluar los beneficios y desafíos asociados al uso de dichas herramientas mediante indicadores de desempeño como tiempo, costo, calidad y eficiencia.
- Analizar el nivel de adopción tecnológica efectiva en contextos públicos y privados de la construcción.

1.4. Relevancia de la investigación

Ante la necesidad de reducir la distancia entre tendencias digitales actuales y procesos tradicionales de gestionar los proyectos constructivos, se evidencia que la industria requiere practicidad en nuevas habilidades, modelos de trabajo colaborativos y uso de nuevas tecnologías para alcanzar una mayor eficiencia y sostenibilidad (García-Almirall et al., 2021). Comprender cómo estas herramientas afectan el desempeño directo de los proyectos de infraestructura en Colombia, es fundamental para impulsar políticas públicas, fundamentar decisiones empresariales y renovar currículos universitarios.

Además, se busca aportar información a la investigación manteniendo un enfoque local, tomando como referencia casos de estudio relacionados con el entorno académico de la Universidad de Pamplona, que desempeña un rol fundamental en la formación de profesionales con capacidades digitales, clave para potenciar y transformar el ejercicio competitivo, identificando las prácticas actuales exitosas o las áreas que requieren fortalecimiento.

1.5. Alcance y limitaciones

Esta investigación se centró en determinar la influencia de las herramientas digitales en la planeación y seguimiento de proyectos de infraestructura en Colombia, con un amplio enfoque que va desde lo local (experiencias vinculadas a la Universidad de Pamplona), hasta lo regional y nacional. mediante una revisión crítica de documentos institucionales, experiencias de implementación, y artículos académicos que reflejen la transformación en los procesos constructivos mediante metodologías como BIM, u otras plataformas digitales aplicadas al control de obra, planificación de cronogramas y/o gestión de recursos.

El alcance innovador que puede representar la implementación de herramientas digitales en el seguimiento y control de obras, radica en la transformación de procesos habituales, consiguiendo mayor claridad en la evaluación de costos y tiempos, además de una mejor visualización de avances, y una toma de decisiones más fundamentada, estudiando casos aplicados para dimensionar su implementación, resultados y barreras presentadas.

Entre las limitaciones de este estudio sobresale la escasa disponibilidad de información específica sobre la aplicación de herramientas digitales en obras nacionales, especialmente en empresas pequeñas o en instituciones públicas que no han adoptado plenamente procesos de digitalización. Por otro lado, si bien no se trata de un trabajo de campo tradicional, se pretende que la información brindada provenga de la recolección y análisis de distintas fuentes, redactando la idea en un lenguaje comprensible. Además de la incorporaron de imágenes para facilitar la comprensión visual de los conceptos tratados, manteniendo siempre un criterio propio.

Capítulo 2. Marco referencial

El capítulo 2 aborda el marco teórico, donde se examinan los fundamentos para gestionar proyectos de infraestructura, la transformación digital en procesos constructivos, y una introducción a herramientas clave como BIM, Microsoft Project, Oracle Primavera, Revit, Navisworks y Synchro; además de identificar como el uso de estos programas influye en la mejora de los indicadores de desempeño relevantes.

2.1. Gestión de proyectos en ingeniería civil

La manera de gestionar proyectos en el sector de la construcción ha evolucionado considerablemente debido a la necesidad de alcanzar nuevos estándares de eficiencia y sostenibilidad en el control. Las herramientas digitales, al integrarse en las fases de planeación, diseño, ejecución y control, permiten al ingeniero gestor llevar una eficaz administración obteniendo una mayor eficiencia, optimizando correctamente los recursos y aumentando la trazabilidad en las diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto (Camacho, Jiménez & Ospina, 2021; Camacol, 2021).

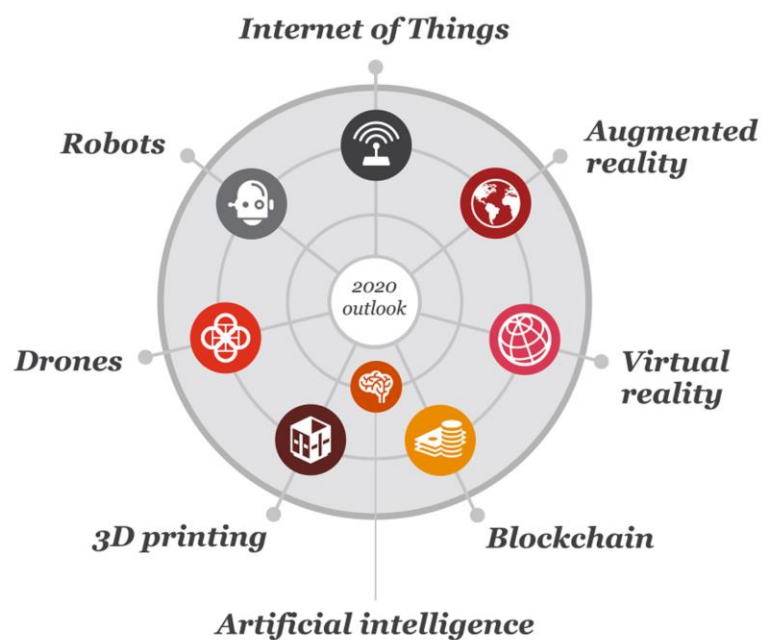
En este contexto, la gestión de proyectos es un proceso dinámico compuesto por tecnologías, planificación estratégica, análisis de datos y trabajos colaborativo, mediante la aplicación de métodos integrados como la gestión por fases, que divide en fases sucesivas de inicio a fin en el ciclo de vida de un proyecto, abarcando planificación, ejecución, control y cierre. Esta división favorece la claridad en los procesos, pues facilita el seguimiento y permite incorporar tecnologías digitales de forma ordenada y coherente en las diferentes etapas (Project Management Institute PMI, 2021).

2.2. Transformación digital en la construcción

Esta transformación digital no solo implica la adopción de tecnologías, sino también un cambio cultural en la forma en que se idean, planifican, ejecutan y controlan las construcciones, permitiendo automatizar procesos y optimizar la toma de decisiones. En Colombia, este cambio se refleja en iniciativas promovidas por el Gobierno, como el Plan Nacional BIM, que busca guiar la implementación de esta metodología en proyectos públicos, con el propósito de mejorar la gestión y sostenibilidad de las obras (Ministerio de Vivienda, 2021).

Figura 1

Las ocho tecnologías esenciales.



Nota. Tecnologías con impacto global más significativo en todas las industrias. Tomado de (Barrios Juan, 2018).

Es fundamental la unificación de estas metodologías en el ámbito académico para garantizar que la transformación digital no se limite al uso de un software, sino que se cuente con una comprensión crítica de sus beneficios, limitaciones y el aporte real en el resultado de los proyectos (Camacho et al., 2021). Si bien aún se enfrentan barreras relacionadas con el insuficiente personal capacitado y la resistencia al cambio, los avances apuntan a una construcción más inteligente, colaborativa y eficiente.

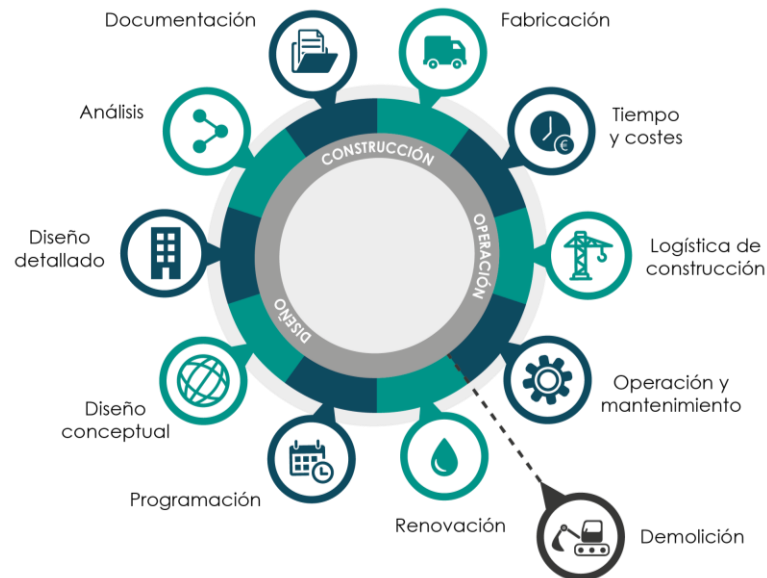
2.3. Building Information Modeling (BIM)

El Modelado de Información de Construcción (BIM), es una metodología que integra detalles gráficos y alfanuméricos en modelos tridimensionales, lo cual permite gestionar la información del proyecto, desde etapas preconstructivas hasta etapas de operación, e incluso mantenimiento. Lo cual promueve una administración colaborativa en la que los profesionales involucrados pueden interactuar en tiempo real y detectar posibles interferencias antes que se ejecute la obra (González et al., 2023).

En Colombia se adoptó el Plan Nacional BIM como estrategia, liderado por el Ministerio de Vivienda y la Cámara Colombiana de la Construcción, donde se establecen lineamientos para proyectos públicos, y se promueve la estandarización de procesos y la capacitación del talento humano (MinVivienda, 2021). Cabe resaltar que BIM también se complementa con otras plataformas como Revit, ideal para el modelado arquitectónico y estructural; Navisworks, en la revisión de modelos y detección de interferencias; y Synchro, para la planificación 4D, es decir, la integración del modelo 3D con el cronograma de obra (Cardona & Valencia, 2021). Es indiscutible el potencial de BIM para mejorar la planificación, el control y la gestión de proyectos, convirtiéndose en una herramienta clave para elevar la calidad y eficiencia de las obras en el país.

Figura 2

Ciclo de vida de un proyecto BIM.



Nota. La imagen ilustra las diferentes fases de un proyecto. Tomada de (koala architecture 2020).

2.4. Microsoft Project y Oracle Primavera P6

Una de las herramientas más utilizadas en el último tiempo ha sido Microsoft Project, especialmente por su integración con demás aplicativos de Microsoft y funciones orientadas a la planificación por medio de diagramas de Gantt. Lo que permite asignar tareas, calcular la duración de actividades, establecer rutas críticas y monitorear el avance de un proyecto. Aunque su uso está más orientado a proyectos medianos y pequeños, su aporte a la organización de tareas y control de tiempos ha sido significativo (Muñoz et al., 2022).

Por su parte, Oracle Primavera P6 está más inclinado a proyectos de gran escala, caracterizados por tener múltiples frentes de trabajo, contratos y equipos trabajando en

simultaneo. Este software permite gestionar cronogramas complejos, establecer relaciones entre actividades, asignar recursos, presupuestar, controlar y disminuir riesgos, todo dentro de un mismo entorno (Martínez & Bernal, 2020).

Tanto Microsoft Project como Primavera P6 se integran fácilmente con otras herramientas digitales, garantizando un seguimiento riguroso del avance, y evitar posibles desviaciones en el cronograma o presupuesto del proyecto, lo que se traduce en una gestión integral de los proyectos. Esta capacidad de integración, potencia el control de indicadores como el cumplimiento de plazos, el uso adecuado del presupuesto, y la coordinación entre áreas técnicas y administrativas (Pérez et al., 2021).

2.5. Autodesk Navisworks y Synchro

Navisworks es una herramienta que se especializa en la revisión y coordinación de modelos BIM. Permite importar modelos tridimensionales para realizar simulaciones de construcción y detectar probables interferencias, conocidas como clash detection. Su capacidad para complementar modelamientos de edificaciones, infraestructura o instalaciones, la convierten en una herramienta clave para evitar reprocesos en obra.

Por su parte, Synchro es una plataforma de planificación 4D que permite sincronizar el modelo BIM con el cronograma. Por medio de esta combinación, los responsables del proyecto pueden integrar al modelo 3D los tiempos de ejecución, lo que resulta útil en proyectos con altos niveles de complejidad, ya que permite analizar cada actividad y determinar su influencia en la duración.

Es común la implementación de estas herramientas en proyectos públicos de gran escala con metodologías BIM 4D y 5D, con la intención de complementar modelos

tradicionales con el cronograma, y los costos de cada actividad, para lograr identificar retrasos y proponer soluciones anticipadas (IDU, 2021).

2.6 Revit y su vinculación con Navisworks y Synchro

Autodesk Revit es una herramienta de modelado BIM que permite diseñar con precisión elementos arquitectónicos, estructurales e instalaciones en un medio tridimensional, a diferencia de otros softwares de diseño, permite trabajar con elementos que contienen información detallada sobre sus dimensiones, materiales y función específica dentro del proyecto. Su funcionalidad se potencia al integrarse con otras plataformas. Por ejemplo, mediante Navisworks es posible revisar los modelos creados en Revit para detectar interferencias entre disciplinas antes de la ejecución. Asimismo, al vincular Revit con Synchro, los elementos del modelo pueden asociarse a tareas del cronograma, permitiendo la simulación 4D y una visual del avance del proyecto.

La compatibilidad entre estas plataformas representa un beneficio clave, pues permite un flujo de trabajo continuo desde el diseño hasta la ejecución, mejorando el control y reduciendo errores. En varios proyectos piloto en Colombia, la integración de este tipo de herramientas ha mostrado una mejora significativa en la eficiencia y precisión en el seguimiento de procesos constructivos (Mejía et al., 2023).

2.7. Indicadores de desempeño: tiempo, costo, calidad y eficiencia

En la gestión de obras civiles, los indicadores de desempeño juegan un papel clave para medir el cumplimiento de los objetivos en un proyecto. Estos indicadores permiten evaluar si las actividades se están desarrollando en los tiempos previstos, si los recursos se están utilizando eficientemente y si se cumple con los estándares de calidad

establecidos en la norma. Entre los más relevantes se encuentran el tiempo, costo, calidad y eficiencia.

Tiempo. herramientas como Synchro o Project permiten generar cronogramas dinámicos y monitorear su cumplimiento mediante curvas S y análisis de ruta crítica. (González et al., 2023).

Costo. Con modelos BIM 5D, es posible asociar cada elemento constructivo con su valor monetario, logrando un control detallado del presupuesto. (SENA, 2023).

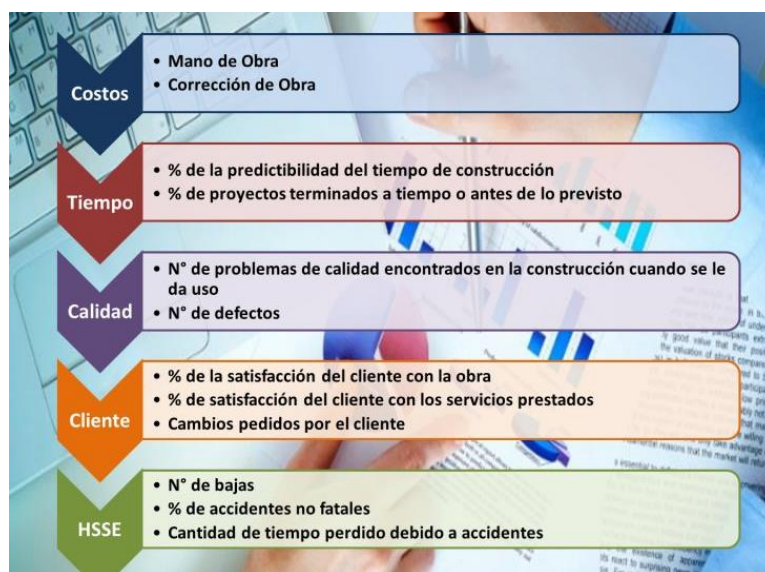
Calidad. Plataformas como Revit y Navisworks permiten verificar que los elementos del diseño cumplan con especificaciones técnicas, reduciendo errores de interpretación y garantizando mayor fidelidad en la construcción (Camacol, 2021).

Eficiencia. Se logra al integrar todos los recursos del proyecto (tiempo, costos, mano de obra y herramientas o equipos, en un sistema coordinado, mejorando el rendimiento general de las actividades y optimizando el uso de los recursos.

El uso adecuado de estas herramientas digitales mejora la recolección y análisis de datos, fortaleciendo la toma de decisiones estratégicas, lo cual contribuye directamente al éxito del proyecto.

Figura 3

Indicadores claves de desempeño en la construcción KPI's.



Nota. Categorías de indicadores de desempeño utilizados en el sector de la construcción, tomado de (Gerardo J Medina, 2022).

Capítulo 3. Contexto colombiano y marco normativo

En Colombia, la implementación de herramientas digitales en la industria constructora ha tomado fuerza en los últimos años, impulsada por iniciativas gubernamentales, el sector privado y algunas universidades. Sin embargo, el avance no ha sido uniforme y aún existen barreras que limitan su total adopción. En este capítulo 3 se analiza el panorama actual en Colombia, incluyendo la normativa vigente para la gestión de proyectos públicos, la estrategia nacional para la adopción de BIM, las políticas de transformación digital, y el grado de implementación tecnológica en los diferentes sectores, junto con los principales retos y oportunidades afines a digitalización.

3.1. Actualidad de Colombia en ingeniería civil

El sector de la construcción en Colombia sin duda representa una de las mayores fuentes para el desarrollo económico y empleo. Según el DANE, la industria de la construcción aportó cerca del 6,5 % al Producto Interno Bruto Nacional en el año 2023, con una tendencia de crecimiento sostenido debido a inversiones en infraestructura vial, vivienda, acueducto y saneamiento (DANE, 2023).

Sin embargo, aun se enfrentan desafíos importantes como la informalidad laboral, y la falta de transparencia en la gestión de proyectos. La adopción de tecnologías digitales está limitada por diversos factores que restringen la modernización del sector. De acuerdo con estudios realizados por el Banco de desarrollo de América Latina y El Caribe (2021), estos desafíos son evidentes mayormente en regiones periféricas como Norte de Santander, donde el acceso a herramientas de planificación es desigual y depende en gran parte de la iniciativa del sector privado o convenios entre el gobierno e instituciones.

3.2. Normativa aplicable para la gestión de proyectos públicos

En Colombia, para el ámbito público de la construcción se han creado normativas y lineamientos en busca de fortalecer la transparencia y eficiencia, en el control de proyectos, impuestos principalmente en la Ley 80 de 1993 (Estatuto General de Contratación de la Administración Pública) y la Ley 1474 de 2011 (Estatuto Anticorrupción), que establecen mecanismos para la planificación y seguimiento de la contratación estatal. Adicionalmente, documentos clave como el Decreto 1082 de 2015 que reglamenta aspectos técnicos y financieros de la inversión pública, el CONPES 3975 de 2019, que traza la política nacional de transformación digital e inteligencia artificial, o

la Resolución 0721 de 2021 que promueve el uso de modelos BIM en la formulación y estructuración de proyectos públicos.

La finalidad de estas iniciativas es reducir errores, mejorar la planificación y asegurar un mejor uso de los recursos públicos. Sin embargo, ninguna de estas regulaciones exige explícitamente el uso de herramientas digitales como BIM o softwares de gestión de proyectos, lo cual dificulta la adopción efectiva en proyectos públicos (Rojas & Ardila, 2022).

3.3. Estrategias Nacionales para la transformación digital

Con el fin de acelerar la adopción de tecnologías digitales, el Gobierno nacional en 2020 emitió la Estrategia Nacional BIM, que pretende establecer estándares técnicos, capacitar talento humano y promover casos piloto para demostrar la viabilidad al implementar BIM en proyectos públicos y privados. Asimismo, se han desarrollado guías como la "Guía de implementación de BIM para proyectos públicos en Colombia" del (Ministerio de Vivienda, 2022), que orienta las entidades en el uso de esta metodología, fomentando una transición ordenada y eficiente.

Por lo que, se espera que a partir de 2026 todos los proyectos de infraestructura pública superior a cierto rango presupuestal implementen BIM en las diferentes etapas constructivas, con el propósito de transformar la adopción tecnológica del país (Departamento Nacional de Planeación DPN, 2020).

3.4. implementación tecnológica en el sector privado

La adopción tecnológica en el sector privado, es cada vez más notoria en Colombia, lo cual refleja el esfuerzo para optimizar la gestión en proyectos. Las grandes constructoras del sector privado, han identificado en las herramientas digitales un valor agregado significativo, que garantizan una eficiente gestión de los recursos, mejor visibilidad y una mayor precisión en la entrega de avances de los proyectos, además de un mayor control sobre los presupuestos que facilitan el seguimiento de los costos directos e indirectos durante el ciclo de vida del proyecto.

La implementación de nuevas tecnologías en el sector privado también contribuye a la sostenibilidad e innovación en las obras, pues permiten optimar el uso de materiales, reduciendo los desperdicios, y así minimizar los impactos negativos al medio ambiente, según (Vélez y Suárez, 2022), las empresas que adoptan estas tecnologías tienen mayor capacidad de cumplir con las normativas ambientales y afrontar diferentes demandas de sostenibilidad del sector.

En este orden de ideas, es indiscutible el potencial de las herramientas digitales, pues además, estudios recientes demuestran que cuando se implementan estas tecnologías correctamente, se puede llegar a mejorar significativamente la eficiencia en la gestión de proyectos, incluso en regiones alejadas o con recursos limitados (González, Ramírez & Mora, 2023).

3.5. Retos y oportunidades en la digitalización de la construcción

Como cualquier proceso de modernización, la implementación de herramientas digitales presenta diferentes retos para integrarse en la industria, dentro de los más frecuentes en el contexto nacional está la oposición al cambio, principalmente en sectores donde históricamente han prevalecido métodos tradicionales de trabajo. En casos particulares de pequeñas y medianas empresas existe cierta desconfianza en asumir costos iniciales para la implementación de nuevas tecnologías, relacionados en mayor grado con licencias y modernización de equipos, considerándose estas como las barreras predominantes.

Sin embargo, Aunque algunas universidades han incorporado a su pensum cursos sobre BIM y softwares de gestión, existe una brecha entre la formación académica y las competencias digitales requeridas en el campo laboral (Rojas & Ardila, 2022), por lo que instituciones de educación superior, como lo es la Universidad de Pamplona juegan un papel fundamental en la formación de profesionales capacitados.

Cabe resaltar que, la adopción de tecnologías promueve una cultura de transparencia y trazabilidad, al permitir que todos los profesionales involucrados en un proyecto (contratistas, supervisores, clientes, diseñadores) accedan a información actualizada y confiable. En otras palabras, implementar tecnologías digitales no es solo una mejora operativa, sino también una ventana al crecimiento estratégico y a la competitividad en nuevos mercados. La transformación digital también ofrece una oportunidad social y educativa contribuyendo al desarrollo laboral, alineado con las actuales exigencias del mercado.

Capítulo 4. Metodología

En este capítulo se especifica la metodología usada para la investigación, mediante un enfoque cualitativo y descriptivo documental, contando con una exhaustiva revisión bibliográfica y análisis de contenido. Esta perspectiva es la más adecuada para abordar el caso, teniendo en cuenta que herramientas digitales como BIM 5D, Revit, Navisworks, Synchro, Microsoft Project y Oracle Primavera están siendo adoptadas en los diferentes niveles del sector (público, privado y académico), con el fin de mejorar en variables de desempeño claves como tiempo, costo, calidad y eficiencia en los distintos proyectos.

4.1. Diseño y enfoque metodológico

La investigación se basa en un análisis cualitativo, ya que el objetivo no es operar variables, sino interpretar casos reales a partir de estudios previos, fundamentado por el análisis de distintas literaturas, abarcando artículos científicos, informes institucionales, documentos técnicos, manuales normativos y del estudio de experiencias documentadas relacionadas con la implementación de herramientas digitales en proyectos civiles.

El enfoque cualitativo permite una interpretación real de temas relacionados con la transformación digital del sector construcción, y ejemplos prácticos en el país, considerando proyectos desarrollados bajo metodologías modernas, como la gestión por fases y el uso de estructuras de descomposición del trabajo (EDT), siguiendo los indicadores a través de metodologías como curvas S, valor ganado y cronogramas integrados. El análisis bibliográfico facilita la identificación de tendencias, limitaciones y oportunidades documentadas en la literatura (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

4.2. Criterios de búsqueda y selección de información

La selección de información se realizó a través del análisis de bases de datos académicas confiables como Scopus, ScienceDirect, Redalyc, Scielo y Google Scholar; el estudio de documentación técnica y normativos tales como leyes, decretos, políticas públicas, planes sectoriales y manuales de implementación de herramientas digitales; por último se realizó una revisión de portales institucional como decretos, leyes e informes emitidos por el Ministerio de Vivienda, Departamento Nacional de Planeación, BIM Forum Colombia, Cámara Colombiana de Construcción; además de documentos académicos de la Universidad de Pamplona.

Todo esto asumiendo criterios de evaluación relevantes como la coherencia temática, o uso de tecnologías como la aplicación de la metodología BIM para la gestión de proyectos civiles. También teniendo en cuenta que los casos mencionados sean actuales y de aplicación real en el sector de la construcción, dando prioridad a aquellas fuentes que exponen una comparación entre métodos tradicionales y digitales de gestión.

4.3. Procedimiento para el análisis

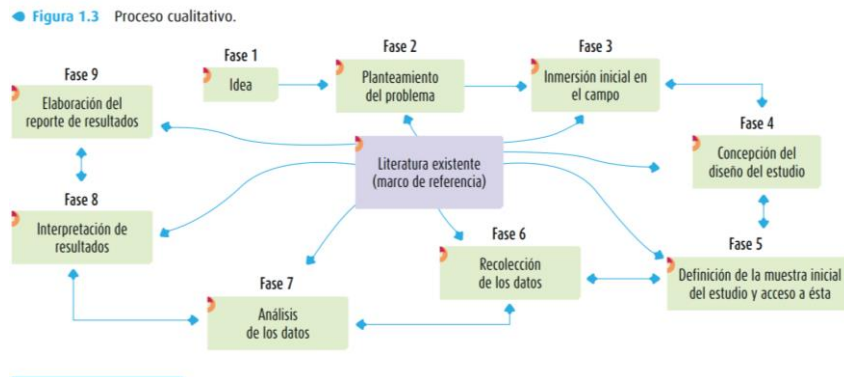
El análisis de los datos obtenidos se realizó siguiendo la metodología de investigación con enfoque cualitativo, donde el análisis del contenido sigue una serie pasos, que se basa en la recolección y análisis de datos para re formular las preguntas claves de la investigación o sustituirlas por nuevos interrogantes para perfeccionar el proceso de interpretación (Fernández y Baptista, p. 40).

Esta investigación se estructuró en tres etapas por tratarse de un proceso cualitativo, en donde se realizan de manera simultánea las siguientes fases, muestreo, donde se identifican temas de interés; recolección y organización de la información en categorías o temáticas, junto a una comparación de la información obtenida de distintas fuentes, por último, el análisis de datos donde se empiezan a formular conclusiones preliminares.

1. **Indagación y organización de fuentes.** Se realizó un análisis de fuentes confiables según el tipo de herramienta digital utilizada, el sector o sectores de aplicación, si es público, privado o académico y como influyen en el ejercicio de los indicadores de desempeño claves en la construcción.
2. **Lectura crítica y categorización.** Se clasificó la información con base en las categorías propuestas en el marco teórico y contextual. extrayendo ideas claves, definiciones relevantes, impactos cuantificados y cualitativos, así como las consideraciones a tener en cuenta según casos documentados.
3. **Síntesis interpretativa.** Se interpretaron los hallazgos con una perspectiva comparativa y crítica, para definir cómo el uso de herramientas tecnológicas aporta notablemente en el control de obras. Identificando además las diferencias entre proyectos que usan métodos actualizados y aquellos que aún aplican modelos tradicionales.

Figura 4

Características del enfoque cualitativo de investigación.



Nota. En la imagen se observan las fases que componen un enfoque cualitativo con el que se investiga un tema en particular. Tomado de (Fernández y Baptista, 2014).

4.4. Ética y transparencia investigativa

Aunque la investigación no involucró la participación directa de personas, se desarrolló bajo los principios de responsabilidad académica y honestidad intelectual. Todas las fuentes utilizadas fueron citadas correctamente según lo establecido en las normas APA séptima edición, asegurando las condiciones éticas y evitando contenido no aprobado.

Además, se garantizó que todos los documentos fueran legales, accesibles y públicos, excluyendo cualquier fuente que requiriera registro o suscripción para ser consultada. No se utilizaron cuestionarios ni algún otro método común para la recolección de datos, por lo tanto, no se requirió un proceso de consentimiento informado.

Capítulo 5. Resultados y análisis

Este capítulo presenta los resultados del análisis documental, a cerca de la implementación de herramientas digitales en la planeación y seguimiento de obras de infraestructura en Colombia, mediante un contraste entre los proyectos de los sectores públicos, privados y académico, con el fin de identificar como influye el uso de herramientas digitales en los indicadores de desempeño como tiempo, costo, calidad técnica y eficiencia general en la gestión de los proyectos.

5.1. Casos de estudio

Con el fin de visualizar con una mayor claridad cómo la digitalización se ha venido incorporando de forma progresivamente en los distintos contextos colombianos, se estudiaron algunas experiencias representativas desarrolladas en el país.

- ***Proyecto de infraestructura vial en Bogotá (sector público).*** En este proyecto se utilizó la metodología BIM durante las etapas de elaboración y seguimiento del cronograma de actividades. Según el informe técnico del (IDU, 2021), se logró reducir en un 18% los tiempos de respuesta a imprevistos en obra, permitiendo un control más riguroso de las actividades programadas frente a las ejecutadas y una mejor coordinación entre los diferentes profesionales que se involucran en el proyecto.
- ***Proyecto de edificación en Medellín (sector privado).*** En el caso del edificio “Torre Arcadia” mediante la utilización de diferentes herramientas, como son BIM, Oracle Primavera y Dashboards Visuales que facilitan la toma de decisiones en tiempo real. De acuerdo con el estudio de (Mejía et al., 2023), el uso

combinado de estas herramientas permitió, identificar actividades críticas, y reducir sobrecostos en un 12% gracias a la automatización de reportes y alertas de desviación.

- ***Universidad de Pamplona, mejoramiento de su estructura académica (Sector académico).*** La Universidad de Pamplona con la finalidad de mejorar el seguimiento y control en una de sus obras aplicó la metodología BIM. Según su informe técnico de 2022, la implementación de esta práctica al modelamiento 3D facilitó la identificación temprana de desviaciones y la comunicación entre equipos, reduciendo tiempos y reprocesos.

Con el estudio de estos casos representativos se refleja una mejora significativa en proyectos con integración digital, en los sectores público y académico el cambio reside en una mejor transparencia y control del avance físico de obra, mientras que, en el privado se ve reflejado en la reducción de sobrecostos, proporcionando así, un mejor rendimiento en el desarrollo de las actividades, además de un eficaz seguimiento de las mismas, lo que representa una mayor eficiencia administrativa.

5.2. Comparativa entre el sector público y privado

Los proyectos privados en Colombia muestran un innegable mayor avance en la implementación de herramientas digitales. Esto se debe principalmente a que por lo general cuentan con una mayor autonomía financiera, a su vez con un menor rigor impuesto por la normativa, además que su cultura organizacional tiende a la innovación. Estudios como el de (Restrepo et al., 2023) muestran que en proyectos privados la eficiencia operativa aumenta en más del 20%, debido a que suelen incorporar tecnologías

en las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto, permitiendo una planificación más predictiva y controlada.

Por su parte, los proyectos públicos enfrentan falencias estructurales como la falta de obligatoriedad en la normativa existente de la metodología BIM o cualquier otra herramienta de planificación avanzada, lo que reduce su implementación, además de la falta de formación técnica en estas herramientas en funcionarios públicos. A pesar de registrarse que, en proyectos de infraestructura ejecutados por el Invías o el IDU, la digitalización ha permitido mejorar la gestión documental, el control presupuestal y el seguimiento del cronograma (González & Romero, 2021).

Figura 5

Comparación entre los sectores de la construcción.

Aspecto	Sector público	Sector privado
Adopción tecnológica	Gradual, regulada por normativa	Rápida y estratégica
Herramientas frecuentes	BIM 3D, 5D, Microsoft Project	BIM 5D, Primavera, Revit, Synchro
Motivación principal	Transparencia, trazabilidad, control	Eficiencia, rentabilidad, calidad
Obstáculos	Escasa normativa, formación técnica	Costo inicial de implementación
Nivel de avance	Variable, depende de la entidad	Uniforme, pero depende tamaño de la empresa

Nota. Fuente. Autor.

5.3. Impacto en el cronograma (tiempos de ejecución)

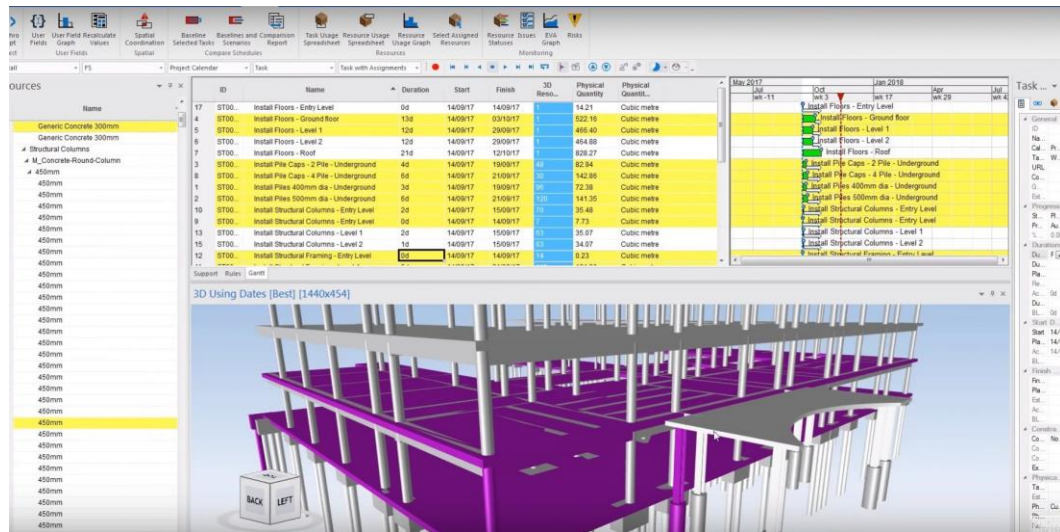
La optimización en tiempos de ejecución de un proyecto ingenieril es uno de los indicadores más críticos, el uso de herramientas digitales cambia la forma en que se gestionan los cronogramas, además de la asignación de recursos, y la detección temprana de desviaciones, para de esta manera establecer relaciones lógicas entre actividades, que en la mayoría de casos significa la reducción de tiempos muertos entre actividades.

El uso de BIM 4D (modelado en función del tiempo) y BIM 5D (tiempo y costos integrados) ha sido crucial en la mejora del seguimiento de los cronogramas, según datos de la (Empresa Metro de Bogotá, 2021), la introducción de herramientas BIM 4D proporcionó una coordinación más efectiva de los frentes de trabajo, logrando que las fases preliminares se ejecutaran dentro del tiempo estipulado, gracias a que mediante el uso de software de simulación como es Synchro, se generan animaciones 4D del avance de obra para el control del cronograma, visualizando si la ejecución avanza o no en función de los tiempos estipulados. También existen otras herramientas que inciden de forma positiva en el control del cronograma, como lo es Primavera P6 que permite generar rutas críticas que se actualizan automáticamente con los avances reales, Synchro se caracteriza por vincular informes de campo al cronograma general, y Microsoft Project que facilita la participación de los diferentes profesionales en la actualización del plan.

Sin embargo, este impacto positivo depende en gran parte del uso estratégico y colaborativo por parte de los distintos autores del proyecto a dichas herramientas, mediante un entorno de gestión organizado.

Figura 6

Gestión del cronograma con programación 4D al modelo.



Nota. Tomado de (Pedro Bustos, 2019)

5.4. Impacto en los costos del proyecto

Uno de los mayores retos en los proyectos de ingeniería civil es la gestión eficiente de los costos, las herramientas digitales brindan soluciones basadas en la metodología BIM 5D, que permite visualizar en tiempo real el comportamiento financiero del proyecto, debido a la integración del modelo tridimensional con el cronograma y el presupuesto, ofreciendo la posibilidad de simular escenarios y mantener el proyecto bajo control financiero desde las fases de diseño.

Según un estudio técnico realizado por el (SENA, 2023), se identificó que las empresas que utilizan BIM 5D, tienen una capacidad de hasta 35% más de prever sobrecostos en comparación con aquellas que usan sistemas tradicionales. De esta manera se confirma que, herramientas como BIM 5D ofrecen una visión más clara, precisa y dinámica de los recursos económicos. En la medida que el sector público y privado

adopten esta metodología y capaciten el personal, los sobrecostos podrán ser significativamente reducidos en todas las fases de un proyecto.

5.5. Impacto en la calidad y cumplimiento técnico

La calidad en los proyectos se mide en gran parte por el cumplimiento de las especificaciones técnicas implantadas por la normativa, tanto la colombiana como las internacionales, en donde se establecen estándares de sostenibilidad y seguridad. Las herramientas digitales, han demostrado ser cruciales para elevar la calidad en dichos estándares.

De esta manera, si para apoyar la gestión de proyectos se aplican metodologías BIM mediante el uso de softwares, cada componente de obra va a contener información técnica detallada como el tipo de material, las propiedades mecánicas, normativa aplicable, proveedor, y mantenimiento de ser necesario; lo cual garantiza que la construcción se adhiera estrictamente a los planos y a especificaciones técnicas.

En un estudio hecho por (Camacol, 2021), se evidenció que el uso de BIM redujo en un 32% los errores de construcción derivados de malas interpretaciones de planos o especificaciones en obras públicas. En el contexto regional se han registrado varios casos, por ejemplo, un informe técnico de la Universidad de Pamplona (2022) resalto que el uso combinado de varias plataformas permitió mejorar los procesos de seguimiento, reducir el error en obra aproximadamente un 17 %, y garantizar el cumplimiento de normas relacionadas con instalaciones eléctricas, sanitarias y estructurales en obras ingenieriles. En otro proyecto de la (Universidad de Pamplona, 2022) para la ampliación y adecuación

de su campus principal, la metodología BIM permitió identificar a tiempo una especificación errónea en el sistema eléctrico, evitando una falla de gran costo.

Adicionalmente, los sistemas digitales permiten almacenar en la nube toda la documentación técnica, planos aprobados, fichas de calidad, y certificados de cumplimiento. Esta trazabilidad asegura la validación por parte de las interventorías, entes reguladores y entes de control fiscal.

5.6. Impacto en la eficiencia para gestionar proyectos

La eficacia en la gestión de proyectos ingenieriles está relacionada directamente con la capacidad de cumplir los objetivos relacionados con tiempo, costo y calidad, mediante una planificación dinámica, la disminución de reprocesos, optimización de recursos y la correcta toma de decisiones, especialmente a través de metodologías BIM y dashboards con seguimiento de indicadores con información en la nube.

Synchro se caracteriza por ser una herramienta clave en la previsión de obras complejas, ya sea infraestructura vial o estructuras con grandes dimensiones, mientras que la implementación de tableros de control, junto a herramientas como Microsoft Project, Oracle Primavera, entre otras, permiten tener una mejor visualización de la dinámica del proyecto, es decir su avance físico con respecto al presupuesto y cronograma. Esto se refleja en la reducción de tiempos, y la claridad para implementar medidas correctivas en caso de requerirse.

Lo anterior se ratifica con publicidades realizados por el (DPN, 2021), quienes garantizan que el uso de tecnologías en proyectos públicos, brinda una notable mejora en

el cumplimiento de los lineamientos contractuales gracias a la analítica predictiva que ofrecen estas plataformas.

En conclusión, el uso de herramientas digitales ofrece una administración de obra proactiva, menos propensa a errores humanos y con mayor capacidad de adaptarse a cambios, lo que garantiza una gestión moderna y competitiva en Colombia, que destaque por la transparencia y trazabilidad en proyectos del sector público y privado.

5.7. Discusión e interpretación de resultados

Los resultados obtenidos a partir del análisis documental evidencian que la adopción de herramientas digitales como BIM 5D, Microsoft Project, Oracle Primavera, Revit, y Navisworks han revolucionado significativamente el modo de gestión, ofreciendo mejoras en el seguimiento del cronograma, los costos, la calidad técnica y la eficiencia general de la obra. Sin embargo, cabe resaltar que estos beneficios no se manifiestan de igual manera en todos los contextos del país, lo que indica la presencia de falencias estructurales, culturales y/o tecnológicas.

De acuerdo con la SCI, en proyectos con implementación de BIM (particularmente BIM 5D) se ha identificado una tendencia a la reducción en desviaciones del cronograma y presupuesto. Lo cual confirma la hipótesis que la integración de datos a un modelo, garantiza la anticipación a errores y da mayor claridad para la toma de decisiones (Sociedad Colombiana de Ingenieros, 2023).

Según el informe de Camacol (2021), solo un 18 % de las entidades públicas han implementado BIM de forma integral, frente a más del 45 % en el sector privado para proyectos de edificación vertical, esto se debe principalmente a que las entidades

públicas, presentan procesos morosos que ralentizan la implementación de tecnologías, en contraste con el sector privado que puede implementar soluciones de forma más ágil (Melo & Rincón, 2023).

Realizando una síntesis general de los resultados, se puede inferir que la adaptación a las herramientas digitales no se limita únicamente a la modernización tecnológica, sino también a una significativa transformación cultural en gestión de obras, con la que se espera, en algún punto, los diferentes plataformas junto con metodologías BIM, sea la forma en que se gestionen los proyectos en Colombia, alineados con una estrategia integral que incluya formación, normatividad, voluntad institucional y asociación entre actores del sector constructivo.

Figura 7

Grados de Dimensiones BIM.



Nota. Tomado de (Santos et al., 2020)

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones

En este último, se presentan las conclusiones luego del desarrollo de todos los capítulos, así como recomendaciones prácticas para el sector público, privado y académico, y las sugerencias consideradas para futuras investigaciones sobre la evolución digital en el sector de la construcción.

6.1. Conclusiones generales

Tras el estudio de diferentes fuentes bibliográficas, y el análisis del marco normativo y tecnológico en Colombia, se concluye que el uso de herramientas digitales en la planificación y seguimiento de proyectos civiles genera un impacto muy positivo, aunque desigual, de acuerdo al sector donde se ejecute la obra.

En el contexto colombiano, se observa un mayor nivel de adopción en el sector privado, en contraste el sector público avanza más lentamente pese a algunos esfuerzos del Gobierno como implementar la Estrategia Nacional BIM, también se presentan diferencias regionales, pues mientras las ciudades principales adoptan tecnologías avanzadas, las regiones más apartadas enfrentan limitaciones para su adopción.

La implementación de herramientas digitales ha contribuido en la reducción de retrasos, el control de sobrecostos y además a mejorar en los cumplimientos técnicos. No obstante, también se evidenció que persisten desafíos estructurales, como la baja inversión en formación, poca interoperabilidad entre plataformas y escasa interacción entre los profesionales involucrados en la gestión.

6.2. Recomendaciones para los sectores público, privado y académico

Sector público.

- Fortalecer normativas promoviendo la obligatoriedad en la implementación de metodologías BIM, entre otros sistemas digitales para proyectos de obra pública.
- Garantizar la formación continua a funcionarios del Estado, priorizando regiones con baja adopción tecnológica.
- Invertir en infraestructura digital y conectividad, priorizando zonas rurales o de difícil acceso.

Sector privado.

- Fomentar la inversión en tecnológica, priorizando la adopción de BIM 5D y herramientas de simulación 4D, que permiten prever conflictos y reducir tiempos de ejecución.
- Garantizar la integración entre documentación de diseño, control y ejecución, para de esta manera eliminar islas de información.
- Desarrollar reglamentos internos de adaptación digital, para garantizar la integración entre las áreas técnicas, administrativas y operativas de los proyectos.
- Fomentar convenios con universidades y centros de investigación para innovar en nuevas metodologías basadas en inteligencia artificial, realidad aumentada o cualquier otra tecnología digital.

Sector académico.

- Actualizar los planes curriculares del programa Ingeniería Civil, incluyendo asignaturas relacionadas con metodologías como BIM, y gestión de proyectos mediante herramientas digitales.
- Promover investigaciones que permitan validar la importancia del uso de herramientas digitales, especialmente en obras del entorno local.
- Crear clases innovadoras, donde se involucre la planificación y control de obra mediante prácticas realizadas en el ámbito profesional.

6.3. Sugerencias para futuras investigaciones

Para obtener una comprensión más profunda acerca del impacto que pueden llegar a tener las herramientas digitales en la gestión de obras civiles en Colombia, se recomienda.

- Profundizar en la interoperabilidad entre plataformas digitales, con el fin de identificar la influencia de esta relación en procesos constructivos y administrativos.
- Explorar la relación entre transformación digital y sostenibilidad, considerando los beneficios ambientales de una planificación más precisa.
- Evaluar la interacción entre inteligencia artificial y BIM, especialmente en lo relacionado con predicción de riesgos, mantenimiento predictivo y optimización de procesos constructivos.
- Estudiar casos de implementación exitosa en otros países, donde se haya efectuado el uso de todas las dimensiones BIM, con el fin de conocer sus beneficios y adaptar buenas prácticas al contexto colombiano.

Bibliografía

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)

Aray, M., & Téllez, A. (2021). Evaluación de costos y tiempos en proyectos con y sin uso de BIM. *Revista Ingeniería de Construcción*, 36(2), 45–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732021000200045>

Bosch, J., Becker, R., & Fernández, M. (2022). Digitalización en la construcción: Un enfoque estratégico para América Latina. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Digitalizacion-en-la-construccion-Un-enfoque-estrategico-para-America-Latina.pdf>

Camacho, D., Jiménez, A., & Ospina, L. (2021). Análisis de competencias digitales en ingenieros civiles colombianos frente al uso de BIM. Universidad de la Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1302&context=ing_civil

Camacol. (2021). Impacto de la digitalización en la calidad constructiva de obras públicas en Colombia. https://camacol.co/sites/default/files/informe_digitalizacion_calidad_bim2021.pdf

Cámara Colombiana de la Construcción. (2023). Transformación digital en la construcción: Retos y avances de la adopción BIM en Colombia. <https://camacol.co/sites/default/files/publicaciones/bim-colombia-informe-2023.pdf>

Cámara Colombiana de la Construcción. (s.f.). Estrategia de implementación de BIM en Colombia [Presentación]. Camacol.

<https://camacol.co/sites/default/files/LANZAMIENTO%20DE%20LA%20ESTRATEGIA%20DE%20ADOPCIÓN%20DE%20BIM%20EN%20COLOMBIA.pdf>

Colombia es líder en implementación de la metodología BIM. (21 de noviembre de 2023). Construdata. Construya. <https://construdata.com/noticias/colombia-es-lider-en-implementacion-de-la-metodologia-bim-3934>

Departamento Nacional de Planeación. (2019). Documento CONPES 3975: Política nacional de transformación digital e inteligencia artificial. <https://www.dnp.gov.co>

Departamento Nacional de Planeación. (2021). Guía para la implementación de tableros de control digital en proyectos públicos. https://www.dnp.gov.co/DNPNuevo/Documentos/guias/Tableros_control_proyectos_DNP2021.pdf

Echeverría, J. (2020). Implementación inicial de metodología BIM en proyectos arquitectónicos [Trabajo de grado, Universidad de Pamplona]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unipamplona.edu.co/handle/20.500.12744/8023>

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers (3rd ed.). Wiley.

Empresa Metro de Bogotá. (2021). Informe de avance de implementación BIM en la Fase I del Proyecto Metro. <https://metrodebogota.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-BIM-2021.pdf>

González, J., & Rodríguez, M. (2020). Adopción de tecnologías BIM en la pequeña empresa de construcción en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 51, 102–115. <https://doi.org/10.15446/rev.ing.n51.87621>

González, J., Ramírez, L., & Mora, F. (2023). Herramientas digitales como estrategia de control de costos en obras viales del noroccidente colombiano. *Revista Ingeniería e Innovación*, 11(2), 33–49. <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/iningenieria/article/download/5259/4752>

González, L., & Romero, P. (2021). Digitalización de proyectos de infraestructura en el sector público colombiano: avances y desafíos. *Revista Gestión Pública*, 12(1), 29–47. <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/gestionpublica/article/view/7721/10235>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill.

Instituto de Desarrollo Urbano. (2021). Implementación de metodología BIM en obras de infraestructura vial del IDU. <https://www.idu.gov.co/documents/20126/3817786/Informe+BIM+IDU+2021.pdf>

Mejía, F., Castaño, J., & González, M. (2023). Impacto de las herramientas digitales en la planificación y ejecución de proyectos constructivos sostenibles en

Colombia. Revista Ingeniería y Sociedad, 10(2), 45–63.

<https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieriaysociedad/article/download/39244/31352>

Melo, S., & Rincón, J. (2023). Retos institucionales para la digitalización en obras públicas de infraestructura en Colombia. Universidad del Rosario.

https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/39220/Retos_Digitalizacion_Infraestructura_UROSARIO_2023.pdf

Ministerio de Educación Nacional. (2021). Informe de gestión de infraestructura educativa 2020–2021. https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-408312_recurso_1.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2022). Guía de implementación de BIM para proyectos públicos en Colombia. <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guiabimproyectospublicos.pdf>

Muñoz, R., Pérez, J., & Vargas, A. (2022). Tecnologías digitales en la gestión de proyectos de construcción en Colombia: Un estudio comparativo de plataformas BIM y software de gestión de proyectos. Editorial Académica.

Restrepo, M., Vásquez, L., & Jiménez, C. (2023). Eficiencia digital en la gestión de proyectos de construcción en Colombia: un estudio del sector privado. Revista Colombiana de Ingeniería, 42(3), 60–78.

<https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/3722/2506>

Rojas, L., & Ardila, D. (2022). Evaluación del marco normativo para la implementación de BIM en proyectos públicos en Colombia. *Revista Ingeniería y Región*, 3(2), 45–62.

Sánchez, C., & López, J. (2021). Análisis del uso de Microsoft Project en proyectos de construcción en Antioquia. *Revista Gestión y Territorio*, 7(1), 31–47.

Sánchez Garavito, M., & Sossa-Urrego, L. E. (2022). Planificación de obras bajo los lineamientos PMI y metodología BIM en el ciclo de vida de una obra (Caso de estudio Urbanización Torre La Perla – Zaragoza, Antioquia) [Tesis de especialización, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/c2175522-e27e-4058-9ced-e07ec66d5b8e/content>

SENA. (2023). Estudio técnico sobre el uso de BIM 5D en proyectos públicos colombianos. https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/7815/BIM5D_Estudio_SENA_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sociedad Colombiana de Ingenieros. (2023). Optimización de la gestión de proyectos mediante BIM 5D en Colombia. https://www.sci.org.co/documentos/BIM_5D_eficiencia_proyectos_sci_2023.pdf

Universidad de Pamplona. (2022). Informe técnico sobre la implementación de BIM para control de calidad en obras universitarias. https://repositorio.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/8023/1/BIM_Calidad_UP_2022.pdf

Universidad del Valle. (2021). Informe de implementación de metodología BIM en el proyecto de Ciencias Exactas.

https://repositorio.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/21125/BIM_Ciencias_Exactas_Univalle.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Universidad Javeriana. (s.f.). *Integración de herramientas digitales para planeación y control de proyectos de construcción*.

<https://perfilesycapacidades.javeriana.edu.co/es/projects/integraci%C3%B3n-de-herramientas-digitales-para-planeaci%C3%B3n-y-control-d-4>

Vélez, C., & Suárez, A. (2022). Incidencia de las herramientas digitales en los tiempos de ejecución de obras urbanas en Colombia. Revista Ingeniería y Territorio, 18(1), 45–61. <https://revistas.ut.edu.co/index.php/territorio/article/download/582/500>

Vicpar S.A. (2021). *Implementación de herramientas tecnológicas para el control de proyectos de construcción*. Universidad Piloto de Colombia.

<https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/10831>