

**Análisis de la Implementación y Beneficios del uso de BIM en las Empresas Constructoras del
Centro Histórico de Tunja**

Jenaro Esteban Angarita Soto

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás

Proyecto de grado como requisito para optar por el título de:
Ingeniero Civil

Ing. Yennia Esperanza Sierra Camargo

Marzo de 2026
Tunja

Contenido

Introducción	10
Capítulo I. Planteamiento de la Investigación	11
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Justificación.....	13
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo General.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
Capítulo II. Marco Teórico y Estado del Arte	17
2.1 Conceptos básicos de BIM.....	17
2.2 Dimensiones BIM (3D, 4D, 5D, 6D, 7D)	18
2.3 Niveles de Desarrollo (LOD)	18
2.4 Plan de Ejecución BIM (BEP)	20
2.5 Roles y Perfiles BIM.....	21
2.5.1 BIM Manager.....	21
2.5.2 Coordinador BIM.....	22
2.5.3 Especialista y Modelador BIM	22
2.5.4 Roles de Apoyo	23
2.6 Gestión de la Información en Modelos BIM.....	23
2.7 Beneficios y Desafíos de la Implementación de BIM.....	25

2.8 BIM en la Gestión de Proyectos.....	28
2.9 BIM en el Análisis de Riesgos	31
2.10 BIM en la Construcción Sostenible.....	32
2.11 BIM Aplicado a Edificaciones Patrimoniales (HBIM)	34
2.12 Integración de BIM y Lean Construction.....	36
2.13 Aplicaciones Innovadoras de BIM	38
2.13.1 BIM en Infraestructura Vial	38
2.13.2 Integración de BIM y Sistemas de Información Geográfica (SIG)	39
2.13.3 BIM y Realidad Virtual (VR)	40
Capítulo III. Metodología	43
3.1 Enfoque y Tipo de Investigación.....	43
3.2 Selección y Depuración de Empresas	43
3.3 Población y muestra	49
Capítulo IV. Análisis de Resultados.....	53
4.1 Caracterización de la Muestra	53
4.2 Nivel de adopción de BIM	57
4.3 Resultados de Empresas que Utilizan BIM.....	58
4.4 Resultados de Empresas que no Usan BIM	61
4.5 Conocimiento Institucional y Normativo.....	66
Capítulo V. Discusión	70

5.1 Discusión integrada de resultados	70
5.1.1 Análisis Cualitativo	70
5.1.2 Análisis Cuantitativo	71
5.2 Integración de los Resultados del Estudio con Estudios Previos	72
5.2.1 Evaluación de los Resultados Frente a la Problemática de Adopción de BIM en el Centro Histórico de Tunja.....	72
5.2.2 Análisis Técnico de los Beneficios BIM Identificados en la Literatura	78
5.2.3 Comparación Entre la Adopción BIM en Tunja y los Referentes Nacionales	86
5.2.4 Diagnóstico de brechas técnicas y organizacionales para la implementación de BIM.....	97
5.2.5 Implicaciones operativas del uso de BIM en las empresas del Centro Histórico de Tunja	107
5.2.6 Integración de los Resultados del Estudio con Estudios Previos sobre BIM y HBIM en Contextos Patrimoniales	115
5.2.7 Persistencia de las brechas en la implementación de BIM: contraste entre estudios tempranos y resultados actuales.....	118
5.2.8 Implementación Reciente de BIM y Consolidación de Brechas Estructurales en Contextos Locales	120
5.2.9 Diagnóstico Sectorial de la Implementación BIM en Colombia y Contraste con Resultados Locales	121
5.2.10 Implementación de BIM bajo estándares internacionales y contraste con la madurez organizacional en Colombia.....	123
5.3 Plan de Adopción de BIM para Microempresas del Centro Histórico de Tunja	125

Fase 1. Organización inicial de la información del proyecto.....	125
Fase 2. Uso selectivo del modelado BIM en componentes específicos del proyecto	126
Fase 3. Capacitación práctica y focalizada del personal	126
Fase 4. Centralización y coordinación básica de la información del proyecto	127
Fase 5. Evaluación de resultados y adopción progresiva según beneficios obtenidos	127
Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones	129
Recomendaciones	131
Capítulo VII. Referencias	134
Capítulo VIII. Anexos	143
Anexo 1. Formato de Encuestas	143
Anexo 2. Resultados de Encuestas	143
Anexo 3. Mapas Relacionados	143

Lista de Figuras

Figura 1 Solicitud de Información Cámara de Comercio.....	44
Figura 2 Categorización de las empresas seleccionadas	45
Figura 3 Códigos CIIU	46
Figura 4 Consulta RUES	47
Figura 5 Lista Final de Constructoras en el Área de Estudio	48
Figura 6 Localización constructoras seleccionadas en el área de estudio	49
Figura 7 Localización de constructoras encuestadas en el área de estudio	52
Figura 8 Caracterización general de las empresas encuestadas.....	53
Figura 9 Distribución de las empresas según su actividad principal.....	54
Figura 10 Distribución de las empresas según su categoría empresarial	55
Figura 11 Cargo o rol de los encuestados dentro de la empresa.....	56
Figura 12 Nivel de adopción de la metodología BIM en las empresas	57
Figura 13 Porcentaje de empresas que utilizan BIM actualmente	57
Figura 14 Comparativo empresas que si usan BIM	59
Figura 15 Razones principales para no adoptar BIM	61
Figura 16 Distribución de razones de no adopción de BIM en las empresas.....	61
Figura 17 Obstáculos percibidos para la implementación de BIM	63
Figura 18 Obstáculos más relevantes percibidos por empresas no usuarias de BIM.....	63
Figura 19 Interés de las empresas en implementar BIM en el futuro.....	64
Figura 20 Nivel de interés en la futura adopción de BIM	65
Figura 21 Participación de empresas en proyectos con BIM obligatorio.....	66
Figura 22 Empresas que han participado en proyectos con BIM como requisito	67

Figura 23 Conocimiento de la Estrategia Nacional BIM en Colombia.....	68
Figura 24 Empresas que conocen la Estrategia Nacional BIM	68

Resumen

El presente estudio analiza la implementación y los beneficios del uso de la metodología BIM (Building Information Modeling) en las empresas constructoras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Tunja. Su objetivo es identificar el nivel de adopción de esta metodología, así como las percepciones, barreras y oportunidades que enfrentan las empresas del sector frente a la incorporación de herramientas tecnológicas para la gestión de proyectos de construcción.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo y descriptivo, mediante la combinación de revisión bibliográfica y la aplicación de encuestas aplicadas a empresas constructoras locales. Este enfoque permitió comparar las prácticas y experiencias de organizaciones que han adoptado BIM con aquellas que continúan utilizando métodos tradicionales de gestión. Evidenciando un bajo nivel de adopción de la metodología BIM en el contexto de estudio, asociado principalmente a la falta de capacitación especializada, los altos costos iniciales de implementación y la ausencia de exigencias normativas o contractuales. No obstante, las empresas que han incorporado BIM reportan beneficios significativos, como una mejor coordinación entre actores, reducción de reprocesos y mayor eficiencia en la ejecución de los proyectos.

Finalmente, el estudio plantea una serie de recomendaciones orientadas a fortalecer la adopción de BIM en el sector constructor local. Estas buscan promover una gestión de proyectos más eficiente, colaborativa y sostenible, acorde con las necesidades y capacidades del contexto urbano del centro histórico de Tunja.

Palabras clave: Building Information Modeling (BIM); madurez BIM; Plan de Ejecución BIM (BEP); gestión de la información BIM; coordinación interdisciplinaria.

Abstract

This study analyzes the implementation and benefits of the Building Information Modeling (BIM) methodology in construction companies located in the historic center of the city of Tunja. Its objective is to identify the level of adoption of this methodology, as well as the perceptions, barriers, and opportunities faced by companies in the sector regarding the incorporation of technological tools for construction project management.

The research was developed under a qualitative and descriptive approach, combining a literature review with the application of surveys conducted with local construction companies. This approach made it possible to compare the practices and experiences of organizations that have adopted BIM with those that continue to use traditional management methods. The results reveal a low level of BIM adoption in the study context, mainly associated with the lack of specialized training, high initial implementation costs, and the absence of regulatory or contractual requirements. Nevertheless, companies that have incorporated BIM report significant benefits, such as improved coordination among stakeholders, reduction of rework, and greater efficiency in project execution.

Finally, the study proposes a set of recommendations aimed at strengthening BIM adoption in the local construction sector, promoting more efficient, collaborative, and sustainable project management practices, in line with the needs and capacities of the urban context of the historic center of Tunja.

Keywords: Building Information Modeling (BIM); BIM maturity; BIM Execution Plan (BEP); BIM information management; interdisciplinary coordination.

Introducción

El sector de la construcción atraviesa una transformación marcada por la incorporación de herramientas digitales orientadas a mejorar la planificación, la eficiencia y la sostenibilidad de los proyectos. En este contexto, la metodología Building Information Modeling (BIM) ha adquirido relevancia como herramienta para mejorar la gestión de la información y la coordinación en los proyectos de construcción.

A pesar de su crecimiento en el ámbito internacional, en Colombia la adopción de BIM aún presenta desafíos, especialmente en ciudades intermedias como Tunja, donde muchas empresas continúan utilizando métodos tradicionales de gestión. Esta situación evidencia la necesidad de comprender las ventajas y las limitaciones de su aplicación en contextos locales.

El presente proyecto tiene como propósito analizar la implementación y los beneficios del uso de la metodología BIM en las empresas constructoras del centro histórico de Tunja. Para ello se realiza una revisión de antecedentes, un análisis de experiencias locales y la aplicación de encuestas. A partir de este enfoque se busca identificar los factores que favorecen o limitan su adopción y generar insumos que permitan orientar un esquema estratégico básico de incorporación de BIM adaptado a las capacidades de las microempresas del sector.

Capítulo I. Planteamiento de la Investigación

1.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial, el sector de la construcción es responsable de un porcentaje significativo de producción de residuos. De acuerdo con datos del Ministerio de Ambiente, el sector es responsable de entre el 35% y el 40% de todos los desechos producidos en el país, lo que equivale aproximadamente a 22 millones de toneladas anuales de residuos de construcción y demolición (RCD). De esta cantidad, Bogotá contribuye con cerca de 12 millones de toneladas, Medellín con aproximadamente 2 millones y Cali con alrededor de 720.000 toneladas (Construcción Latinoamericana, 2024). Estos porcentajes reflejan ineficiencias en la ejecución y planificación de proyectos, generando costos adicionales y un impacto ambiental negativo. Gracias a la planificación y evaluación temprana de necesidades en los proyectos, gracias a su capacidad para mejorar la planificación y la gestión de la información del proyecto, la metodología BIM permite optimizar el uso de materiales y reducir la generación de desperdicios durante el proceso constructivo (Won & Cheng, 2017). Por tal motivo, la implementación de BIM podría ser una herramienta eficaz para reducir la generación de RCD, ya que facilita una planificación más precisa y una gestión eficiente de los materiales. Sin embargo, su adopción en Colombia enfrenta desafíos, incluyendo la falta de capacitación y concienciación en el sector de la construcción sobre los beneficios de esta tecnología (Eje 21, 2024).

En Colombia, los proyectos de construcción enfrentan desafíos significativos debido a imprevistos, que se reflejan en sobrecostos, retrasos y dificultades en la ejecución de estos. En el país, aproximadamente el 17% de los sobrecostos en proyectos se atribuyen a errores o incumplimientos por parte de los contratistas, mientras que el 15% se deben a decisiones o factores relacionados con los clientes, como cambios en los diseños o atrasos en los pagos

(Universidad Católica de Colombia, 2021). Además, factores externos como las condiciones climáticas y la falta de coordinación entre las partes interesadas también contribuyen a estos imprevistos.

Por otra parte, los retrasos son la causa principal de las desviaciones presupuestarias y de cronograma en proyectos de infraestructura en el país. Este estudio encontró que más del 30% de los proyectos presentan tiempos de ejecución que superan los límites establecidos inicialmente, afectando la entrega oportuna y generando costos adicionales para los propietarios y contratistas (Universidad de los Andes, 2017). Estos datos subrayan la necesidad de mejorar la gestión de riesgos y la planificación en el sector de la construcción en Colombia para mitigar los impactos negativos de los imprevistos en los proyectos.

Esta situación se presenta con mayor intensidad en contextos urbanos con valor patrimonial, donde las edificaciones suelen haber atravesado diferentes etapas constructivas y están sujetas a mayores restricciones normativas. Diversos estudios sobre patrimonio arquitectónico señalan que la falta de información técnica clara y debidamente documentada representa un factor de riesgo durante los procesos de conservación, restauración y mantenimiento, ya que puede dar lugar a errores de intervención y afectar la integridad del bien patrimonial (Ferreira et al., 2023). Asimismo, se ha identificado que una gestión deficiente de la información en edificaciones históricas dificulta la toma de decisiones técnicas y la adecuada planificación de los proyectos, especialmente en bienes con alto valor cultural (López et al., 2024). En el caso del Centro Histórico de Tunja, caracterizado por la presencia de edificaciones con valor histórico y un marco normativo orientado a su protección, estas dificultades adquieren una relevancia particular, lo que justifica la necesidad de analizar las prácticas actuales de planificación y gestión de los proyectos de construcción desarrollados en este sector.

La metodología BIM se identifica como una herramienta que permite integrar y optimizar en tiempo real etapas de diseño y construcción de obras civiles, mejorando la coordinación, reduciendo errores y desperdicios generados debido a estas actividades (Osmani et al., 2018).

Este enfoque proactivo facilita una planificación más precisa y una ejecución eficiente, mejorando tanto la sostenibilidad como la rentabilidad de los proyectos. A través del tiempo, los proyectos de construcción se han realizado mediante métodos convencionales los cuales en algunos casos generaran altos costos en obra debido a los cambios o imprevistos que se puedan presentar, rendimientos bajos, poca eficiencia, factores que representan una problemática a nivel nacional. Por tal motivo, este estudio se enfoca en la ciudad de Tunja, específicamente en sector del Centro Histórico comprendido desde la Plaza de Las Nieves hasta la Plaza de Bolívar, lugar en el que actualmente no se encuentra un diagnóstico que permita conocer el grado de implementación de BIM y sus beneficios para las constructoras localizadas en esta zona.

A nivel mundial determinadas constructoras han optado por adaptarse a modelo de trabajo BIM, la cual impulsa a la innovación con los modelos de obras civiles, esto ha generado que algunos constructores emigren a la implementación de nuevas herramientas y softwares necesarios para proyectar estructuras y/o edificaciones en 3D con una organización y secuencia en el proceso constructivo.

1.2 Justificación

El propósito de esta monografía es dar a conocer algunos beneficios que tendría la implementación de BIM en constructoras y demás compañías que se dediquen al sector de la construcción, brindando una mayor eficiencia en la productividad de las diferentes etapas que componen el desarrollo de una obra civil. Reconocer estos atributos son de gran importancia para el crecimiento de las diferentes constructoras interesadas en llevar sus proyectos a niveles de

gran escala, generando un gran beneficio económico para estas empresas. Por tal motivo se realizó un estudio a diferentes fuentes bibliográficas, en diferentes bases de datos, recopilando las investigaciones más relevantes que resalten la importancia de la adopción de BIM en los procesos constructivos en contextos mundiales, regionales y locales, en los cuales se identifican los siguientes usos de esta metodología:

Sostenibilidad Ambiental: BIM permite realizar análisis de diseño que consideran factores de sostenibilidad desde el inicio del proyecto. Incluyendo la simulación de rendimiento energético y ambiental para diseñar edificios que consuman menos energía y recursos, identificando y optimizando estrategias de diseño que reduzcan el uso de energía y las emisiones de CO₂. Por otra parte, facilita la selección de materiales con bajo impacto ambiental al proporcionar información detallada sobre sus características y el ciclo de vida, promoviendo la reutilización y reciclaje (Fonseca Arenas & Shafique, 2023).

Eficiencia en tiempos: El uso de la metodología BIM facilita la identificación de conflictos entre diferentes sistemas y componentes antes de que se inicie la construcción, resolviendo problemas en la etapa de diseño, en lugar de durante la construcción, reduce significativamente los tiempos de retrabajo y las demoras asociadas. Al mismo tiempo BIM al aportar una automatización en flujos de trabajo sintetiza tareas como la generación de listas de materiales, seguimiento de progreso y gestión de cambios, lo cual agiliza el proceso de construcción y reduce tiempos ineficientes (Wang & Chen, 2023).

Modelación y Render: El modelado preciso, así como el renderizado de alta calidad impacta directamente en el entendimiento y visualización de espacios de edificios complejos, subrayando así la importancia de las técnicas avanzadas de modelado y renderizado BIM en el campo de la visión por computadora (Ying et al., 2023).

Innovación en el Proceso de Gerencia de Proyectos: La metodología BIM es reconocida como un catalizador clave para la innovación en la gestión de proyectos dentro de la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC). Su capacidad para facilitar la colaboración y mejorar el intercambio de información entre los equipos de trabajo contribuye a la optimización del rendimiento de los proyectos. Uno de los principales beneficios asociados con BIM es la mejora en la colaboración entre los equipos de trabajo, lo que favorece el intercambio de información y contribuye al aumento del rendimiento de los proyectos mediante redes de construcción basadas en BIM (Gharaibeh et al., 2024).

Impacto Económico: El uso de BIM en los proyectos de construcción contribuye a enfrentar desafíos relacionados con cambios en el diseño, fluctuaciones en la cadena de suministro y variaciones en los costos laborales. Esto permite mejorar la precisión y la disponibilidad en tiempo real de las predicciones de costos en la construcción de edificios inteligentes. Asimismo, facilita la optimización de los costos del proyecto con un mayor nivel de exactitud (Zhang & Mo, 2024).

A partir de la ejecución de este proyecto se espera proporcionar un panorama sobre el nivel de implementación de BIM en la ciudad de Tunja, permitiendo a la población interesada contar con información que facilite la toma de decisiones respecto a la adopción o fortalecimiento del uso de esta metodología. Asimismo, se busca analizar sus beneficios y limitaciones en el contexto local, con el fin de identificar oportunidades para su adaptación a nuevas tecnologías. De igual manera, el estudio permitirá reconocer la situación actual del uso de BIM en Tunja y su posible aporte a la mejora en la planificación y ejecución de proyectos, promoviendo un uso más eficiente de los materiales y la reducción de residuos en la construcción. Con más profesionales capacitados en esta tecnología, se puede generar un

mercado laboral más competitivo y especializado, beneficiando tanto a los trabajadores del sector como a las empresas. Por tal motivo, este proyecto no solo busca diagnosticar la implementación de BIM en Tunja, sino también generar conocimiento que pueda ser utilizado para mejorar la eficiencia, sostenibilidad y planificación de la construcción en la ciudad. La comunidad tunjana se beneficiará directamente al contar con información relevante que impulsa el desarrollo urbano de manera más ordenada, eficiente y sostenible.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar los beneficios y la implementación de BIM en las constructoras situadas en la zona del Centro Histórico de Tunja, comprendida por el sector de Las Nieves hasta la Plaza de Bolívar.

1.3.2 Objetivos Específicos

Caracterizar los benéficos que la adopción de la metodología BIM ha aportado a las constructoras que lo han adoptado en sus procesos.

Identificar los beneficios y ajustes necesarios para maximizar el aprovechamiento de las herramientas de organización y modelado ofrecidos por los modelos BIM.

Comparar los beneficios identificados en la literatura sobre la implementación de BIM con las prácticas actuales en las constructoras del Centro Histórico de Tunja, para proponer posibles mejoras en su aplicación.

Capítulo II. Marco Teórico y Estado del Arte

2.1 Conceptos básicos de BIM

El Modelado de Información para la Construcción, conocido como BIM (Building Information Modeling), es una metodología que transforma la manera en que se planifican, diseñan y gestionan los proyectos de infraestructura, basándose en la creación de un modelo digital compartido que reúne toda la información relevante de un proyecto, permitiendo a los equipos involucrados colaborar de manera más efectiva, agilizando procesos de diseño, construcción y operación, proporcionando una base sólida para tomar decisiones informadas a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto (Ministerio de Transporte, 2023). Al centralizar los datos en un entorno digital, BIM fomenta la comunicación entre arquitectos, ingenieros, constructores y otros actores, logrando que la información fluya de manera clara y organizada (CAMACOL, 2019).

En este sentido, es importante precisar que la metodología BIM no se limita únicamente a la representación tridimensional del proyecto ni a la coordinación gráfica entre disciplinas. A través del modelo BIM es posible integrar y gestionar diferentes tipos de información asociada a los elementos que conforman el proyecto, tales como propiedades de materiales, cantidades de obra, especificaciones técnicas, programación de actividades y estimaciones de costos, entre otros datos relevantes para su desarrollo. La incorporación de esta información permite que el modelo funcione como un soporte para la planificación, la coordinación entre los diferentes actores involucrados y el seguimiento del proyecto, facilitando así la toma de decisiones durante las distintas etapas de su ciclo de vida (Eastman et al., 2011).

2.2 Dimensiones BIM (3D, 4D, 5D, 6D, 7D)

BIM incorpora dimensiones adicionales a la modelación 3D que amplían las capacidades de operación los procesos pertenecientes a un proceso constructivo. Estas dimensiones incluyen la integración de tiempo y programación de proyectos (4D) permitiendo anticipar problemas y ajustar la secuencia de actividades antes de que se ejecuten, reduciendo el riesgo de retrasos y sobrecostos (Sampaio et al., 2024). Por su parte, la dimensión 5D se enfoca en la gestión financiera, facilitando cálculos automáticos de costos y cantidades. Gracias a esta herramienta, los equipos pueden obtener estimaciones más exactas, reducir errores y un óptimo control presupuestal (Elhusseiny et al., 2021).

La incorporación de información sobre la sostenibilidad (6D) evalúa el comportamiento energético de los edificios, además de optimizar el uso de recursos, realiza el análisis de impacto ambiental y gestión del ciclo de vida del activo. Finalmente, la dimensión 7D se centra en la gestión a largo plazo, incluyendo el mantenimiento y la operación de las instalaciones. Mediante sistemas de monitoreo y bases de datos actualizadas, los responsables pueden programar mantenimientos preventivos, prolongar la vida útil de los activos y reducir costos operativos (Sanchez & Calderon, 2021).

La integración efectiva de estas dimensiones anteriormente mencionadas garantiza la calidad de los modelos y reducen los reprocesos, facilitando un flujo de información eficiente.

2.3 Niveles de Desarrollo (LOD)

Los Niveles de Desarrollo, o LOD por sus siglas en inglés, permiten definir el grado de detalle y precisión de los modelos digitales en cada etapa de un proyecto. Estos niveles actúan como una guía que ayuda a los equipos a entender qué tan desarrollada está la información en un

modelo, asegurando que todos trabajen con datos confiables y adecuados para cada fase, desde el diseño inicial hasta el mantenimiento de la infraestructura.

De acuerdo con (CAMACOL, 2019) los niveles de desarrollo están definidos de la siguiente manera:

El LOD 100 representa el punto de partida, donde el modelo es conceptual y muestra formas básicas, como volúmenes generales, sin detalles específicos. Es útil para esbozar ideas iniciales y explorar posibilidades.

Por otra parte, LOD 200 avanza hacia un modelado más aproximado, incluyendo elementos genéricos con dimensiones estimadas y datos básicos, lo que permite empezar a planificar con mayor claridad.

A medida que el proyecto progresa, el LOD 300 ofrece un nivel de precisión mucho mayor, con geometrías bien definidas, especificaciones técnicas claras y cantidades verificables. Este nivel es esencial para coordinar disciplinas y preparar la construcción.

El LOD 400 va un paso más allá, al incorporar detalles constructivos, como instrucciones para el ensamblaje o la fabricación de componentes, lo que lo hace ideal para la ejecución en obra.

Finalmente, el LOD 500 refleja el estado real de la infraestructura una vez finalizada, incorporando información completa y actualizada que resulta fundamental para las actividades de operación y mantenimiento a largo plazo.

Al establecer estos niveles, la metodología BIM permite que los modelos sean cada vez más precisos y útiles, reduciendo errores y facilitando la colaboración entre los diferentes equipos de trabajo.

2.4 Plan de Ejecución BIM (BEP)

El Plan de Ejecución BIM (BEP) es un documento clave dentro de la metodología BIM, cuyo propósito es establecer lineamientos, estrategias y procesos para la implementación y gestión de BIM en un proyecto de construcción. Su función principal es definir cómo se implementará BIM en un proyecto determinado (BuildingSMART, 2021). Este plan debe incluir elementos como la identificación de responsables, estrategias de entrega y federación de modelos, matriz de responsabilidades, procedimientos de producción y gestión de la información, estándares, infraestructura tecnológica y software requerido. De esta manera, el BEP actúa como una hoja de ruta que permite que los equipos trabajen de forma coordinada (BuildingSMART, 2021).

La correcta implementación de este plan se fundamenta en la asignación clara de responsabilidades dentro del equipo de trabajo. Entre los roles más relevantes se encuentran el BIM Manager, el Coordinador BIM, los Modeladores BIM y el Gestor de Información, quienes desempeñan funciones específicas dentro del proceso de gestión y desarrollo de los modelos digitales. Cada uno de estos actores desempeña un papel esencial para lograr una implementación eficiente y alineada con los objetivos del proyecto (CAMACOL et al., 2020).

Adicionalmente el BEP debe alinearse con normativas internacionales como la serie ISO 19650, la cual establece principios y requisitos para la gestión de la información en entornos BIM (BuildingSMART, 2021). Adoptar estas normas no solo mejora la eficiencia, sino que también facilita la colaboración en proyectos complejos y fortalece la competitividad de las

empresas al estandarizar prácticas a nivel global. Un BEP bien ejecutado optimiza el tiempo, reduce costos y asegura que el proyecto cumpla con los estándares de calidad y sostenibilidad (CAMACOL et al., 2020).

La implementación de BIM sin una planificación adecuada puede generar inconsistencias en la gestión de la información, por lo que el BEP se vuelve indispensable para asegurar una correcta coordinación. Su importancia recae en la optimización del tiempo y los recursos, permitiendo que cada fase del proyecto esté alineada con los objetivos de eficiencia y sostenibilidad (CAMACOL et al., 2020). A nivel organizacional, el BEP ayuda a mejorar la comunicación entre los equipos de trabajo, evitando errores y redundancias en el manejo de datos. También establece criterios de calidad, facilitando la evaluación de avances y el cumplimiento de los requisitos normativos aplicables (BuildingSMART, 2021).

2.5 Roles y Perfiles BIM

El desarrollo de proyectos bajo la metodología BIM requiere una estructuración clara de los roles y perfiles de los profesionales involucrados, garantizando una gestión efectiva y estructurada de las responsabilidades y competencias necesarias para cada función en un ecosistema BIM.

De acuerdo con (CAMACOL, 2020), los roles BIM se organizan en cuatro niveles fundamentales:

2.5.1 BIM Manager

El BIM Manager es el líder estratégico del proyecto, encargado de planificar y supervisar la implementación de BIM. Este profesional combina un conocimiento profundo de la metodología con habilidades de gestión, coordinando a los diferentes equipos para asegurar que

el proyecto avance sin problemas. Entre sus tareas están elaborar el BEP, realizar auditorías para mejorar procesos, evaluar herramientas tecnológicas y garantizar que los modelos sean interoperables. Su visión global es clave para alinear los esfuerzos del equipo con los objetivos del proyecto.

2.5.2 Coordinador BIM

Es aquel quien define el alcance del trabajo que desarrollan los roles de producción BIM y audita la calidad de los entregables. Su responsabilidad recae en ser el garante del seguimiento de los lineamientos definidos por el BIM Manager y gestionar los procesos de interoperabilidad entre plataformas de los modelos desarrollados.

2.5.3 Especialista y Modelador BIM

Los especialista y modeladores BIM enfocan sus tareas en la creación y revisión de modelos digitales. El Especialista BIM debe verificar la información de los modelos, evaluando y corrigiendo errores en estos para garantizar la coherencia y compatibilidad entre disciplinas, así como coordinar la información y verificar la precisión del modelo digital en su especialidad. Este debe contar con conocimientos avanzados en software de modelado y análisis, así como en construcción y normativa aplicable.

Por otra parte, el Modelador BIM debe ser experto en el uso del software elegido para el modelado, además de tener conocimientos en estándares de creación de contenido y normativas de construcción, con el fin de modelar elementos arquitectónicos, estructurales y de instalaciones con base en las especificaciones técnicas del proyecto, teniendo la capacidad de exportar y presentar modelos en diferentes formatos según los requerimientos del proyecto.

2.5.4 Roles de Apoyo

Los roles de apoyo en la metodología BIM incluyen aquellas funciones complementarias que garantizan la correcta gestión y operación del entorno digital del proyecto, tales como soporte tecnológico, administración de contratos BIM y gestión documental. Este perfil incluye profesionales en la administración de la información, tecnología aplicada a la construcción y conocimiento de normativas y gestión contractual.

2.6 Gestión de la Información en Modelos BIM

La estandarización en la gestión de información dentro de los modelos BIM ha sido impulsada por normativas internacionales que garantizan la interoperabilidad y calidad de los datos. Por ejemplo, la norma “NTC – ISO 19650” define los principios para la gestión de información en proyectos BIM, destacando la implementación de un Entorno Común de Datos (CDE), el cual se define como “la fuente de información consensuada para cualquier proyecto o activo, diseñada para recopilar, gestionar y difundir cada contenedor de información mediante un proceso estructurado” (Ministerio de Transporte, 2023), para garantizar la colaboración y el acceso eficiente de información entre todos los agentes involucrados en los proyectos. Además, en esta norma se clasifica la información en estados de trabajo, compartida y publicada, exigiendo procesos de validación y aprobación antes de avanzar a etapas posteriores, estableciendo pilares de organización y digitalización de información en el campo de la construcción (BuildingSMART, 2021).

Continuando con los métodos existentes para la gestión efectiva de la información para la construcción, buscando garantizar que los atributos de los objetos digitales en BIM sean precisos, estructurados y reutilizables, la normativa ISO 23386 presenta un proceso detallado para la creación y mantenimiento de diccionarios de datos, permitiendo la estructuración

uniforme de los atributos de los objetos en BIM, facilitando su integración en diferentes plataformas digitales y asegurando la coherencia de la información, facilitando la automatización en la generación de informes y análisis dentro de BIM, asegurando que cada objeto contenga datos estructurados que puedan ser utilizados en distintas fases del proyecto, desde el diseño hasta el mantenimiento. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también permite la integración con otras normativas y bases de datos globales, promoviendo la estandarización y la compatibilidad de información en la industria de la construcción (Cortés, 2022).

Complementando las estrategias de administración de información para la construcción propuestos en las normativas anteriormente mencionadas, se encuentra vigente la ISO 23387, la cual proporciona una estructura estándar para la creación de plantillas de datos de objetos de construcción, conocidas como “Data Templates” que permiten que cada objeto digital dentro de un modelo BIM contenga información precisa sobre sus características técnicas y desempeño esperado. Por ejemplo, en el caso de un muro prefabricado, la plantilla podría incluir información sobre su resistencia estructural, coeficiente térmico, propiedades acústicas y mantenimiento requerido. Esta estandarización facilita la comparación entre productos y materiales, asegurando que los modelos BIM sean coherentes y funcionales en diferentes software y sistemas de construcción digital. Además, al estandarizar los datos de productos y componentes constructivos, los fabricantes pueden integrar sus catálogos digitales en modelos BIM, asegurando que los elementos seleccionados sean compatibles con los requisitos del proyecto. Por otra parte, estas plantillas permiten que los equipos de mantenimiento pueden acceder fácilmente a especificaciones técnicas, manuales de uso y recomendaciones de sustitución para cada componente del edificio. Esto permite optimizar los ciclos de

mantenimiento, reducir costos operativos y prolongar la vida útil de las infraestructuras (Cortés, 2022).

2.7 Beneficios y Desafíos de la Implementación de BIM

BIM se ha consolidado como la metodología clave para optimizar los procesos constructivos, mejorar la calidad de los proyectos y fortalecer la colaboración entre los diferentes actores involucrados, generando ahorros de tiempo y costos durante las fases de diseño y construcción, además de aportar beneficios operacionales significativos, especialmente en la planificación del mantenimiento y la eficiencia energética. Gharaibeh et al. (2024) destacan que la adopción de BIM puede mejorar la eficiencia operativa en un 25 %, gracias a la optimización del uso de recursos y la reducción de pérdidas por errores de diseño y construcción. Además, en proyectos de gran escala, la integración de BIM ha permitido ahorros de hasta un 12 % en costos operativos a lo largo del ciclo de vida de la infraestructura. Por otra parte, se han desarrollado metodologías para cuantificar los beneficios de BIM en términos de reducción de retrabajos y eficiencia operativa, mostrando retornos de inversión que pueden alcanzar hasta un 476 % en algunos casos. De la misma manera, el impacto de BIM en la detección temprana de errores ha permitido reducir en un 30% los tiempos de respuesta ante conflictos en obra, mejorando la calidad del producto final y reduciendo el desperdicio de materiales (Lee & Lee, 2020). Además, Wang et al. (2022) destacan que la implementación de plataformas colaborativas en entornos BIM ha tenido un impacto significativo en la productividad de los equipos de trabajo. A través de un estudio aplicado a 273 profesionales BIM en China, se evidencia que el uso de herramientas digitales colaborativas no solo reduce la duplicidad de tareas, sino que también mejora la coordinación y comunicación entre los diferentes actores del proyecto. Esta mejora se traduce en un incremento del 20 % en la productividad general del equipo, gracias a una mayor disposición

a colaborar y una reducción notable de conflictos y reprocesos. El estudio validó sus hipótesis utilizando regresión logística binaria y redes neuronales artificiales, concluyendo que factores como el conocimiento profesional, las habilidades técnicas y blandas, la capacitación y la inversión en herramientas BIM son determinantes para fomentar la colaboración efectiva. En particular, el conocimiento profesional fue identificado como el factor más influyente, aumentando hasta 3,8 veces la probabilidad de colaboración en proyectos BIM.

Sin embargo, la adopción de BIM enfrenta desafíos que dificultan su correcta implementación. (Echeverri & Obando, 2024) resaltan que la adopción de BIM en la construcción de viviendas ha mejorado la planificación, ejecución y reducción de costos de proyectos. En proyectos específicos, han identificado reducciones en tiempos de obra de hasta un 15 % y ahorros en costos de materiales cercanos al 10 %, principalmente por la mejor planificación y optimización en los cortes de material. Sin embargo, resaltan la necesidad de fortalecer la capacitación del talento humano y modernizar las herramientas tecnológicas para facilitar su adopción generalizada. De la misma manera, los altos costos iniciales asociados a la adquisición de software, capacitación del personal y reestructuración de procesos internos limitan la implementación y expansión de esta metodología (Gharaibeh et al., 2024). Razones como la resistencia al cambio por parte de profesionales y empresas que están habituados a metodologías tradicionales limitan la aplicación correcta de BIM en el sector de la construcción (Zapata, 2020).

En Colombia, la Policía Nacional ha sido una de las entidades públicas que ha explorado la implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura, específicamente en la construcción de estaciones de policía, Centros de Atención Inmediata (CAI) y sedes administrativas en Bogotá y Cundinamarca. Según (Echeverri & Obando, 2024), estos casos

sirvieron como una experiencia aplicada para observar las capacidades institucionales frente al uso de BIM. Durante el desarrollo de estos proyectos, se evidencia que el uso de BIM permitió mejorar la programación de actividades, anticipar interferencias y optimizar tanto los recursos humanos como los materiales, al contar con modelos que ofrecían mayor claridad técnica desde la etapa de diseño. Sin embargo, el análisis también mostró que, aunque la institución cuenta con una base técnica para iniciar procesos de modelado, la ausencia de políticas claras de apoyo institucional y la falta de una estrategia de formación continua limitan la consolidación de esta metodología en el tiempo. Este ejercicio permitió concluir que, para que entidades como la Policía Nacional avancen hacia una adopción integral del BIM, es necesario fortalecer las políticas públicas que respalden su uso y desarrollar mecanismos que garanticen la capacitación permanente del personal, así como la integración de estas herramientas en los procesos de contratación y ejecución de obras. De igual manera se identificó que, si bien existen capacidades básicas para adoptar BIM, es fundamental contar con políticas claras de apoyo institucional y procesos de capacitación continua para asegurar la consolidación de esta metodología. La implementación de BIM en proyectos de infraestructura pública no solo optimizaría los recursos estatales, sino que también podría contribuir a mejorar la transparencia y el seguimiento de las obras (Giraldo, 2019).

Además, (Zapata, 2020) destaca que ámbito académico existe una desconexión entre la formación que reciben los futuros profesionales y las demandas reales del sector constructor. Muchas universidades en Colombia aún no han incorporado de manera integral las competencias BIM en sus programas académicos, lo que genera una brecha en la preparación de los egresados para enfrentar los retos de la industria. No obstante, el autor también señala que, en instituciones como la Universidad de Antioquia, se han implementado cursos especializados y diplomados en

BIM, los cuales han permitido que algunos estudiantes adquirieran conocimientos aplicables en proyectos reales. Sin embargo, estas iniciativas son aún aisladas y no se han integrado de manera uniforme en los planes de estudio de las facultades de ingeniería y arquitectura.

Por otra parte, los altos costos iniciales representan una barrera significativa, ya que la adquisición de software y hardware, así como la capacitación del personal, pueden superar los 100 millones de pesos colombianos en una empresa mediana (Zapata, 2020). La falta de regulación clara y la heterogeneidad en la aplicación de normas como la ISO 19650 dificultan la implementación uniforme de BIM en el sector de la construcción (CAMACOL, 2019). Además, la resistencia al cambio dentro de las empresas sigue siendo un factor determinante en la lenta adopción de BIM. Profesionales con experiencia en metodologías tradicionales pueden mostrarse reacios a modificar sus flujos de trabajo y adoptar nuevas tecnologías.

En Colombia, más del 60 % de las empresas constructoras aún operan bajo sistemas convencionales, lo que limita la masificación de BIM. Asimismo, señala que la medición de los beneficios intangibles de BIM sigue siendo un reto, ya que aspectos como la mejora en la comunicación y la optimización en la toma de decisiones no siempre pueden traducirse en valores cuantificables. Este factor complica la evaluación del retorno de inversión y dificulta que se apueste por su implementación (Zapata, 2020).

2.8 BIM en la Gestión de Proyectos

En el ámbito internacional, BIM se ha consolidado como una metodología que mejora la colaboración entre los diferentes actores involucrados en un proyecto, facilitando la integración de datos sobre diseño, tiempos, costos y recursos en un entorno digital compartido (Sampaio et al., 2024). La simulación visual del proceso constructivo en 4D permite anticipar problemas y ajustar la secuencia de actividades antes de que se ejecuten, reduciendo el riesgo de retrasos y

sobrecostos. Esta programación es vital para secuenciar cada tarea y facilitar la logística en obra, reduciendo el riesgo de imprevistos y mejorando la seguridad. En cuanto a la gestión de costos, BIM 5D posibilita la generación automática de cantidades y cálculos financieros más precisos, disminuyendo errores humanos y permitiendo un mejor control presupuestal. Esta dimensión también facilita la identificación de desviaciones en el presupuesto en tiempo real, permitiendo ajustes oportunos para mantener la rentabilidad del proyecto (Sampaio et al., 2024)

Asimismo, el uso de BIM se ha mostrado eficaz en la mitigación de riesgos asociados a retrasos y sobrecostos. En un estudio sobre proyectos en Egipto, (Elhusseiny et al., 2021) desarrollaron un complemento de software para evaluar el impacto de las causas de retraso sobre la duración y costos de los proyectos, encontrando que BIM facilita la identificación temprana de problemas y permite la implementación oportuna de medidas correctivas. El estudio identifica que el uso de BIM para mitigar retrasos permitió reducir en un 25 % los tiempos de entrega en comparación con proyectos que no utilizaron esta metodología.

En Colombia, la implementación de BIM ha cobrado importancia en los últimos años, especialmente en proyectos de infraestructura. Galvis (2022) señala que la adopción de BIM en proyectos públicos ha permitido centralizar la información, mejorando la productividad y generando mayor confianza entre los financiadores. En este contexto, el gobierno colombiano ha promovido la Estrategia Nacional BIM 2020-2026 como una hoja de ruta para la estandarización y difusión de la metodología en el sector impulsando la modernización del sector al exigir la incorporación de esta metodología en proyectos estatales de infraestructura, permitiendo una mayor trazabilidad en los procesos y garantizando mejores resultados en la gestión de costos y tiempos de obra, debido a que según (Camacol, 2019), la implementación de BIM en Colombia ha estado limitada por la falta de formación, resistencia al cambio y ausencia de normativas

específicas. Para superar estos obstáculos, la estrategia plantea una adopción progresiva de BIM en diferentes fases del ciclo de vida de los proyectos.

En el caso del Centro Cívico Universitario de la Universidad de los Andes en Bogotá, la implementación de la metodología BIM permitió mejorar la integración entre las diferentes especialidades técnicas, como la arquitectura, las estructuras y las instalaciones, al ser desarrollados mediante modelos digitales en 3D que facilitan la detección temprana de conflictos entre disciplinas. Según (Quintero, 2022), esta metodología optimizó el seguimiento de obra, la planificación y la estimación de costos, y permitió una mayor trazabilidad de los cambios durante el proceso constructivo. En la primera fase del proyecto, aunque no se contaba con un BEP formal ni con anexos contractuales específicos para BIM, se aplicaron buenas prácticas por parte del grupo INGECO para integrar los modelos provenientes de distintas fuentes, incluso traduciendo planos en CAD al entorno BIM. Esta ausencia de lineamientos generó reprocesos y complejidades en la coordinación, pero el uso del modelo permitió ejecutar tareas que no habrían sido posibles con metodologías tradicionales. En la fase constructiva, el modelo BIM fue utilizado por la empresa constructora ARPRO para realizar estimaciones de costos y seguimiento del avance de obra, permitiendo determinar cantidades ejecutadas y revisar proyecciones, lo cual redujo riesgos de reprocesos y facilitó la toma de decisiones basadas en información actualizada. Además, se aplican usos BIM como la coordinación 3D, la planificación de fases y el modelado récord, contribuyendo a una gestión más eficiente y estructurada del proyecto.

Además, (Díaz, 2022) desarrolló un estudio sobre la implementación de BIM en la gerencia del proyecto para la construcción de viviendas rurales en el municipio de Villeta, Cundinamarca. Evidenciando que el uso de BIM permitió mejorar la planeación y el control de costos en proyectos de pequeña escala y en zonas rurales, optimizando recursos humanos,

materiales y logísticos. Su estudio resalta que BIM facilitó la gestión de suministros en contextos de difícil acceso, permitiendo prever problemas de transporte y disponibilidad de materiales, lo que resultó en una reducción del 15 % en sobrecostos imprevistos.

2.9 BIM en el Análisis de Riesgos

BIM ha revolucionado el enfoque tradicional del análisis de riesgos en la construcción. Permite identificar, evaluar y mitigar riesgos desde las fases iniciales del proyecto mediante simulaciones y visualizaciones en entornos virtuales. (Takyi-Annan & Zhang, 2023) resaltan que la integración de BIM durante todo el ciclo de vida del proyecto contribuye a la mitigación de riesgos asociados con la mala planificación y la falta de coordinación entre los actores involucrados. La posibilidad de simular secuencias constructivas en 4D reduce incertidumbres y permite anticipar situaciones de peligro. Con esto se pueden identificar parámetros críticos en la ejecución y planeación de un proyecto de construcción. Un ejemplo destacado es el uso de BIM en la detección de conflictos entre instalaciones, lo que minimiza riesgos durante la ejecución del proyecto. En este sentido, BIM facilita la identificación temprana de interferencias, evitando improvisaciones que suelen generar accidentes laborales, de la misma manera la integración de BIM con tecnologías como la realidad aumentada favorece la capacitación de los trabajadores en temas de seguridad, simulando escenarios reales y entrenándolos en procedimientos de emergencia (Sampaio et al., 2024).

(Martínez, 2024) destaca que la aplicación de modelos digitales en proyectos públicos ha permitido anticipar situaciones críticas desde las etapas tempranas, lo que a su vez ha facilitado la planificación de estrategias de mitigación efectivas. Esta capacidad predictiva ha contribuido significativamente a mejorar las condiciones de seguridad en las obras, al permitir una mayor preparación frente a posibles riesgos durante la ejecución. Gracias a estas herramientas, se ha

logrado reducir imprevistos y ejercer un mayor control sobre las fases constructivas, mejorando la toma de decisiones con base en información actualizada y detallada del proyecto. A pesar de los beneficios potenciales, la implementación de BIM en Colombia enfrenta barreras como la falta de capacitación y recursos financieros. (Martínez, 2024) señala que muchos proyectos aún limitan el uso de BIM a las fases de diseño, sin aprovechar sus ventajas en la etapa de construcción y operación. Asimismo, la resistencia al cambio por parte de algunas empresas constructoras dificulta la adopción plena de esta metodología, esto se refleja en un 8,38% de implementación de BIM en la ejecución de proyectos públicos, contrastado con el 60% y 75% esperado por el Gobierno Nacional para el año 2024, lo que refleja un déficit del 51,62 % respecto a los objetivos planteados, evidenciando así la falta de capacitación, recursos financieros y la resistencia al cambio como factores limitantes en el avance de BIM en el país.

2.10 BIM en la Construcción Sostenible

A nivel global, BIM la integración de BIM con herramientas de simulación permite evaluar el desempeño de edificios verdes en términos de seguridad, iluminación, condiciones térmicas, sonido y viento”. En China, la evaluación del desempeño de edificios verdes mediante BIM permitió identificar áreas prioritarias para optimizar el ahorro energético y mejorar la calidad ambiental interior. Los resultados mostraron que se logró una reducción del consumo energético del 20 % en algunos proyectos gracias a la integración de BIM en las decisiones de diseño y operación (Liu et al., 2024). BIM permite la construcción de estructuras inteligentes y sostenibles mediante la optimización del uso de energía, la adaptación al cambio climático y el monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales. Los autores afirman que “BIM ha emergido como una herramienta innovadora para abordar los riesgos ambientales y mejorar el rendimiento de las estructuras sostenibles” (Liu et al., 2024). En proyectos internacionales, la

aplicación de BIM ha permitido alcanzar reducciones en el desperdicio de materiales de hasta el 15 % y mejoras en la eficiencia energética superiores al 25 % (Hajj et al., 2024).

De igual manera, la implementación de BIM se ha relacionado con la economía circular en la construcción. (Charef ,2022) introduce el concepto de BIM 8D, el cual se enfoca en las actividades del final del ciclo de vida de la edificación, incluyendo la deconstrucción y la reutilización de materiales con el fin de reducir el desperdicio y promover el aprovechamiento de recursos en nuevos proyectos.

En Colombia, la implementación de BIM en proyectos sostenibles se encuentra en proceso de consolidación. Esta metodología facilita la reducción de residuos en proyectos de infraestructura vial, además de mejorar la planificación, optimizar el uso de recursos y contribuir a la prevención de riesgos ambientales (Bermúdez & Quintero, 2022).

En el proyecto residencial Bosa 601 en la ciudad de Bogotá se comparó la metodología tradicional con BIM. Los resultados mostraron que el uso de esta metodología optimizó la utilización de recursos y redujo el desperdicio de materiales, generando un impacto positivo en la sostenibilidad del proyecto. Específicamente, se registró una reducción del 12 % en el desperdicio de concreto y una optimización en el uso de acero que permitió disminuir los costos en un 8 %. Estos resultados evidencian que BIM contribuye directamente a mejorar la eficiencia en el uso de los recursos (Loaiza & Ramírez, 2022). Además, se evidenció que la metodología BIM permitió reducir tiempos de ejecución, aumentar la precisión de presupuestos preliminares y prever errores durante la fase de diseño, gracias al uso de un modelo digital tridimensional que integra información geométrica, cantidades, costos y tiempos. El uso del entorno virtual permitió simular la construcción del proyecto, identificar interferencias, coordinar actividades entre especialidades y evitar reprocesos. También se destaca que esta metodología centralizó la

información del proyecto, facilitando su acceso a todos los actores involucrados y mejorando la comunicación, lo que contribuyó a una mayor eficiencia en la gestión del tiempo y los recursos del proyecto (Loaiza & Ramírez, 2022).

Por otro lado, (Naranjo, 2021) afirma que la implementación de BIM mejora la coordinación y reduce los reprocesos en obra, lo cual contribuye indirectamente a la sostenibilidad al minimizar el consumo de materiales y energía. La implementación de BIM en Colombia ha generado ahorros significativos en costos y tiempo, lo que a su vez contribuye a reducir el impacto ambiental. En proyectos desarrollados en Bogotá se ha evidenciado que la reducción de reprocesos mediante BIM ha permitido disminuir el uso de materiales en aproximadamente un 10 % y optimizar el consumo energético durante la ejecución en cerca del 15 %.

2.11 BIM Aplicado a Edificaciones Patrimoniales (HBIM)

La aplicación del Modelado de Información para la Construcción (BIM) en edificaciones patrimoniales ha requerido adaptaciones conceptuales y metodológicas frente a su uso tradicional en proyectos de obra nueva. Las edificaciones con valor histórico presentan condiciones específicas, sistemas constructivos tradicionales con configuraciones propias, transformaciones acumuladas a lo largo del tiempo y una alta carga de información histórica y documental, lo que demanda un enfoque específico para la gestión de la información asociada a este tipo de bienes (López et al., 2024).

En este contexto surge el enfoque conocido como Heritage Building Information Modeling (HBIM), orientado a la documentación, gestión y análisis de edificaciones con valor histórico o patrimonial. De acuerdo con López et al. (2024), el HBIM se concibe como una extensión del BIM convencional que permite integrar información geométrica, constructiva y

documental. Su objetivo es apoyar procesos asociados a la conservación, restauración y mantenimiento del patrimonio arquitectónico. Este enfoque responde a la necesidad de contar con modelos de información ajustados a las particularidades de las edificaciones históricas, en las cuales, aunque es posible identificar técnicas constructivas tradicionales propias de su época, la información específica sobre su configuración estructural, materiales originales y transformaciones posteriores suele ser incompleta, dispersa o de difícil acceso.

Diversos estudios señalan que uno de los principales aportes del enfoque HBIM radica en su capacidad para centralizar datos heterogéneos dentro de un entorno digital estructurado, lo que facilita una comprensión integral del bien patrimonial. En este sentido, Ferreyra et al. (2023) destacan que la digitalización del patrimonio arquitectónico mediante modelos de información contribuye a fortalecer la gestión de la conservación de las edificaciones históricas.. Esto resulta especialmente relevante en escenarios donde la toma de decisiones requiere un alto grado de precisión y control para evitar afectaciones al valor patrimonial del inmueble.

En el ámbito académico colombiano, el enfoque HBIM ha sido abordado principalmente mediante estudios exploratorios y trabajos de grado, lo que evidencia un interés creciente por su aplicación en bienes de interés cultural. El trabajo desarrollado por Maya (2019) propone un proceso estructurado para la gestión de la información en el diagnóstico de edificaciones patrimoniales. Este estudio resalta el potencial del HBIM como herramienta de apoyo para la organización y el análisis de información técnica y documental. Estos antecedentes permiten reconocer que, aunque su aplicación práctica aún es limitada en el contexto nacional, existe una base conceptual que respalda la pertinencia del HBIM en escenarios patrimoniales.

La revisión del enfoque Heritage Building Information Modeling (HBIM) permite evidenciar su relevancia como herramienta para la gestión integral del patrimonio arquitectónico,

particularmente en lo relacionado con los procesos de conservación, mantenimiento y toma de decisiones técnicas en edificaciones históricas. La literatura señala que la integración de información geométrica, constructiva e histórica en un entorno digital estructurado contribuye a mejorar la comprensión del estado del inmueble y a apoyar estrategias de intervención más controladas y coherentes con su valor patrimonial (Ferreyra et al., 2023; López et al., 2024). En este sentido, el enfoque HBIM se consolida como un referente conceptual clave para el análisis del uso del BIM en contextos patrimoniales, especialmente en centros históricos donde la adecuada gestión de la información resulta fundamental para la sostenibilidad del patrimonio construido.

2.12 Integración de BIM y Lean Construction

Lean Construction es una filosofía de gestión orientada a mejorar los procesos constructivos mediante la eliminación de desperdicios y la búsqueda constante de eficiencia, todo esto con un enfoque claro hacia la sostenibilidad. Su aplicación permite reducir el uso innecesario de materiales, disminuir las emisiones de carbono y optimizar el aprovechamiento de los recursos naturales en las obras.

Uno de los principales beneficios de implementar Lean Construction es el aumento de la eficiencia operativa, ya que ayuda a minimizar las pérdidas relacionadas con la sobreproducción, los tiempos de espera y otras fuentes de desperdicio en la obra (Morán & Pinilla, 2022). Entre sus herramientas clave se encuentra el Last Planner System (LPS), que complementa la planificación tradicional al enfocarse en lo que realmente se puede ejecutar, promoviendo compromisos entre los responsables directos de las tareas. De esta forma, Lean Construction con LPS mejora la confiabilidad de la programación, reduce la variabilidad y evita interrupciones en

la obra, eliminando actividades que no generan valor y fortaleciendo la coordinación y el trabajo colaborativo entre los equipos.

De acuerdo con el análisis realizado por Morán y Pinilla (2022), la combinación de un sistema de gestión basado en Lean Construction con herramientas digitales como BIM permite optimizar los procesos constructivos, mejorar la colaboración entre los equipos y reducir considerablemente los desperdicios.

La integración entre BIM y Lean Construction crea un entorno digital que facilita la planificación, la toma de decisiones y el control del proyecto en todas sus fases. BIM permite visualizar modelos tridimensionales, detectar posibles interferencias antes de que ocurran en la obra y reducir los tiempos muertos. De esta manera se refuerzan los principios de la filosofía Lean. Como señalan los autores, “el uso combinado de BIM y Lean Construction permite identificar y resolver conflictos antes de que se presenten en obra, reduciendo tiempos de espera y reprocesos” (Morán & Pinilla, 2022).

Además, esta sinergia contribuye a una construcción más sostenible, ya que permite optimizar el uso de materiales, reducir los residuos y planificar con mayor precisión, lo que disminuye el impacto ambiental. La utilización conjunta de estas metodologías facilita también la trazabilidad de los materiales, lo que se traduce en un control más eficiente del desperdicio en obra.

En resumen, la articulación entre Lean Construction, BIM y los principios de sostenibilidad representa una oportunidad para transformar la industria de la construcción. Juntas, estas herramientas promueven edificaciones más eficientes, responsables con el entorno y económicamente sostenibles (Morán & Pinilla, 2022).

2.13 Aplicaciones Innovadoras de BIM

2.13.1 BIM en Infraestructura Vial

La implementación de BIM en infraestructura vial ha permitido optimizar la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de carreteras y otras infraestructuras de transporte. Esta metodología proporciona modelos digitales detallados que permiten realizar análisis más precisos del terreno, evaluar interferencias y reducir incertidumbres antes de la ejecución de una obra. Según (Limas, 2019), "la aplicación de BIM en infraestructura vial ha permitido reducir un 30% los sobrecostos y disminuir en un 20% los tiempos de ejecución de los proyectos".

El uso de drones y escáneres láser en proyectos viales permite recopilar datos de alta precisión sobre el terreno y el avance de la obra en tiempo real. Los drones pueden capturar imágenes aéreas detalladas y generar modelos tridimensionales, proporcionando información esencial para la toma de decisiones y el control de calidad (Autodesk, 2020). Por otro lado, los escáneres láser permiten obtener nubes de puntos con precisión milimétrica, facilitando la detección de irregularidades y el monitoreo de estructuras ya construidas, lo que contribuye a mejorar la seguridad y el cumplimiento de normativas en la construcción vial (Autodesk, 2020).

En la fase de operación y mantenimiento, BIM facilita la gestión de activos viales a través de modelos digitales que contienen información detallada sobre el estado de la infraestructura. Esto permite programar inspecciones, planificar mantenimientos preventivos y realizar análisis de deterioro en tiempo real. La integración con tecnologías como sensores LOT y sistemas GIS mejora la capacidad de predicción de fallas y optimiza la asignación de recursos para la conservación de carreteras. Los sensores LOT, instalados en pavimentos y estructuras, recopilan datos en tiempo real sobre vibraciones, cargas de tráfico y condiciones ambientales, lo

que permite anticipar fallas estructurales y priorizar reparaciones de manera eficiente (Autodesk, 2020). Los sistemas GIS, al integrarse con BIM, permiten una mejor gestión de infraestructuras viales a gran escala, proporcionando un análisis geoespacial preciso para optimizar la distribución de recursos y mejorar la planificación territorial. Esta combinación de tecnologías permite visualizar en mapas interactivos las condiciones de carreteras y puentes, facilitando la toma de decisiones en términos de rehabilitación y expansión de la red vial (Autodesk, 2020).

La adopción de BIM en infraestructura vial está transformando la industria del transporte, promoviendo una planificación más sostenible y eficiente. Países como Reino Unido y Noruega han implementado estándares BIM obligatorios en proyectos viales, lo que ha llevado a una mayor digitalización del sector y a mejoras significativas en la gestión de proyectos (Autodesk, 2020).

2.13.2 Integración de BIM y Sistemas de Información Geográfica (SIG)

La integración de BIM y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) está transformando la planificación y gestión de infraestructuras al combinar datos espaciales con modelado paramétrico. Según Autodesk (2020), la fusión de BIM y SIG proporciona un modelo sólido del contexto real, combinando información geográfica con datos de diseño de infraestructura. Esta sinergia facilita la visualización tridimensional del entorno, permitiendo la evaluación de impactos ambientales, la optimización del uso del suelo y la mejora en la gestión del territorio.

Además, la interoperabilidad entre BIM y SIG posibilita la toma de decisiones basada en datos en tiempo real, favoreciendo la integración de infraestructuras con su entorno natural y urbano. Esta metodología es clave en el diseño de proyectos de transporte, gestión de aguas y

planificación urbana, donde se requiere un análisis detallado de la topografía, redes de servicios y usos del suelo (Autodesk, 2020).

Un aspecto clave en esta integración es la capacidad de SIG para gestionar grandes volúmenes de información geoespacial, proporcionando una visión detallada de los entornos en los que se implementan proyectos BIM. Esto facilita la planificación de infraestructuras en relación con factores como riesgos naturales, accesibilidad, zonificación y distribución de servicios públicos. Como señala Autodesk (2020), “la capacidad de visualizar y analizar datos espaciales en conjunto con modelos BIM permite tomar decisiones más informadas y reducir los errores durante la fase de diseño y construcción”.

Otro beneficio de la integración de BIM y SIG es su aplicación en la gestión de activos urbanos e infraestructuras inteligentes. La combinación de ambas tecnologías permite la creación de gemelos digitales de ciudades, que representan entornos urbanos con datos en tiempo real, mejorando la planificación y optimización de recursos. Esto se traduce en una mayor eficiencia en la gestión de infraestructuras como redes de transporte, alcantarillado y distribución de energía, permitiendo un mantenimiento más preciso y una respuesta más rápida ante incidentes (Autodesk, 2020).

2.13.3 BIM y Realidad Virtual (VR)

La integración de BIM con tecnologías inmersivas, como la Realidad Virtual (VR), está revolucionando la forma en que los profesionales de la construcción visualizan, diseñan y gestionan proyectos. La VR permite a arquitectos, ingenieros y clientes explorar modelos BIM en un entorno tridimensional interactivo, mejorando la comprensión del diseño y facilitando la detección de problemas antes de la fase de construcción. Según (Prabhakaran et al., 2022a), “la combinación de BIM y VR posibilita la inmersión total en los modelos digitales, permitiendo la

simulación de escenarios constructivos y la evaluación detallada del espacio antes de su ejecución".

Uno de los principales beneficios de la VR en BIM es la capacidad de realizar recorridos virtuales en tiempo real, lo que permite a los equipos de trabajo identificar errores de diseño y evaluar soluciones alternativas sin incurrir en costos adicionales. Además, la VR mejora la comunicación entre las partes interesadas, ya que proporciona una representación visual más clara y precisa del proyecto, reduciendo la posibilidad de malentendidos y asegurando que todos los involucrados compartan la misma visión del diseño final (Prabhakaran et al., 2022b).

Otro aspecto innovador de la VR aplicada a BIM es su uso en la formación y capacitación de trabajadores en la industria de la construcción. A través de simulaciones inmersivas, los operarios pueden practicar procedimientos de seguridad, optimizar técnicas de construcción y mejorar su familiarización con entornos complejos sin exponerse a riesgos reales. Esto no solo incrementa la eficiencia en la obra, sino que también contribuye a la reducción de accidentes laborales y al desarrollo de habilidades especializadas en un entorno controlado (Prabhakaran et al., 2022c).

Además, la integración de BIM y VR está permitiendo nuevas aplicaciones en la fase de operación y mantenimiento de edificaciones. Mediante el uso de modelos digitales interactivos, los administradores de edificios pueden visualizar la infraestructura en detalle, acceder a información en tiempo real sobre sistemas de climatización, electricidad y fontanería, y realizar inspecciones virtuales sin necesidad de desplazarse físicamente al sitio. Esto optimiza la gestión de activos y reduce significativamente los costos de mantenimiento y reparación a lo largo del ciclo de vida del edificio (Autodesk, 2020).

En términos de desarrollo tecnológico, la integración de BIM con VR se ve potenciada por el uso de dispositivos como gafas de realidad virtual (Oculus Rift, HTC Vive, Microsoft HoloLens), que ofrecen una experiencia inmersiva altamente realista. Asimismo, el avance en software de visualización como Enscape, Twinmotion y Unreal Engine ha permitido mejorar la calidad de las representaciones virtuales y la interacción con los modelos BIM en tiempo real, facilitando la toma de decisiones en cada fase del proyecto (Autodesk, 2020).

Capítulo III. Metodología

3.1 Enfoque y Tipo de Investigación

De acuerdo con Sampieri (2014), se define el enfoque cuantitativo-descriptivo como aquel que combina la recolección de datos numéricos con el análisis estadístico, buscando verificar y reconocer las propiedades y características de la temática estudiada. En esta investigación, se emplearon fuentes de información científica, como artículos académicos y estudios previos, para fundamentar el análisis teórico, complementándolos con datos obtenidos mediante encuestas realizadas a las constructoras con proyectos en el Centro Histórico de Tunja cuyo formato se presenta en el Anexo 1. Este enfoque mixto permite una mejor comprensión de los factores asociados al uso de Modelos de Información para la Construcción (BIM).

La investigación se encierra dentro de la categoría exploratorio-descriptivo. (Sampieri, 2014) define este tipo de investigación como aquella que busca estudiar una temática o problemática que no se ha abarcado en gran cantidad en el pasado y presenta un bajo nivel novedoso, de la misma manera pretende especificar aquellas características propias del fenómeno a estudiar. El estudio pretende identificar y evaluar la adaptación de BIM en el marco local especificado. Por otra parte, se establece una investigación descriptiva, debido a que se busca precisar la metodología de implementación de estos modelos en las constructoras de la ciudad de Tunja, identificando los cambios generados y los beneficios obtenidos.

3.2 Selección y Depuración de Empresas

El primer paso metodológico fundamental en este estudio consistió en delimitar con precisión la población objetivo, garantizando que las unidades de análisis correspondieran efectivamente al tipo de empresa que se desea caracterizar. Para ello, se solicitó a la Cámara de Comercio un listado de entidades vinculadas al sector de la construcción en la ciudad de Tunja. A

partir de esta base inicial, se aplicaron criterios de depuración que permitieron seleccionar exclusivamente aquellas empresas formalmente constituidas como personas jurídicas, con matrícula mercantil vigente, cuya actividad principal estuviera asociada a la construcción, y cuya sede se encontrara dentro de los límites geográficos del centro histórico. Este proceso fue clave para reducir la heterogeneidad de la muestra y asegurar la validez del estudio, permitiendo avanzar con una población claramente definida y ajustada al objetivo de investigación.

El 8 de mayo de 2025 se solicitó a la Cámara de Comercio un listado de empresas ubicadas en la zona centro de la ciudad, cuya actividad económica principal estuviera relacionada con el sector de la construcción. Esta información fue requerida con el propósito de conformar una base de datos que permitiera identificar y cuantificar las empresas constructoras activas en dicha área geográfica, como insumo fundamental para definir la población objetivo del estudio y avanzar con el proceso de aplicación de encuestas.

Figura 1

Solicitud de información Cámara de Comercio

SOLICITUD	
Ubicación	Municipios: TUNJA
Tamaño	Micro, Pequeña, Mediana, Grande
Tipo Empresas	Personas Naturales, Personas Jurídicas, Establecimientos, ESAL
Actividades Económicas	
Detalles	Estén activas actualmente según matrícula mercantil. Estén registradas bajo una actividad económica correspondiente al sector de la construcción (por ejemplo, CIIU F: Construcción de edificios, obras civiles, etc.). Se encuentren ubicadas dentro del Centro Histórico de la ciudad de Tunja (zona comprendida aproximadamente entre Las Nieves y la Plaza de Bolívar).
Fines trabajo de grado	

Nota: Elaboración propia

El jueves 22 de mayo se recibió, por parte de la entidad solicitada, la información correspondiente al listado de empresas constructoras. En total, se identificaron 72 empresas, las cuales fueron clasificadas según su ubicación y naturaleza jurídica; aquellas que operan dentro de los límites del centro histórico de Tunja (zona de estudio) se identificaron en color verde; las

que se encuentran por fuera de estos límites, en color rojo; y las personas naturales vinculadas al sector, en color azul.

Figura 2.

Categorización de las empresas seleccionadas

RAZON SOCIAL	NIT	DIR-COMERCIAL
CIA INGENIERIA S.A.S	9003227573	CALLE 24NRO.10-11 OFICINA 401
PROYECTOS ESCALA S.A.S	9003227580	CR 10 16 84
METRO CUBICO URBANO SAS	9003727283	CALLE 24 10 26
INVERSIONES LA VILLA REAL S.A.S	9005675894	CARRERA 11 NO 60 43
CONSTRUCTORA G Y T S.A.S.	9005896604	CALLE 20 11-64 OFICINA 309
HDR ARQUITECTURA E INGENIERIA SAS	9006152517	CRA 7 21-59 BL 8 APTO 101
JRD CONSTRUCTORES SAS	9006943250	CL 20 12 84OF 239CC PLAZA REAL
CORONEL VASQUEZ HERMES HERNANDO	71616130	CARRERA 9 NRO 17 - 59 APTO 305
CONSTRUCIVIL JM S.A.S.	9007542229	CR 14 20 14 308B
H & H CONSTRUCTORES INGENIERIA S.A.S.	9008511724	CALLE 24 NUMERO 10 16 INTERIOR 103
CONSTRUCTORA GOMEZ CORREA S.A.S.	9010188391	CALLE 10 20 50 OFICINA 201
PRAC OBRAS DE INGENIERIA S.A.S.	9010232978	CARRERA 11 17 23
DISEÑO Y CONSTRUCCION PJC S.A.S.	9010578855	CALLE 17 NO 11 53
CONSTRUCTORA INMOBILIARIA AMADO AVILA S.A.S.	9011040038	CR 13A 22-33
CONSTRUCTORA PIN-NAH S.A.S.	9011246319	CALLE 21 9-17 OFICINA 201
VIVIENDA Y TRANSPORTES DE SAMACA S.A.S	9011304940	CARRERA 2 3 A 73
CONSTRUCTORA RESERVAS S.A.S.	9011354778	CALLE 24A NO 6B-10
SOFA INGENIERIA S.A.S	9012090624	CALLE 21 10 - 32 OFICINA 401
RICARDO A. SUAREZ S.A.S	9012837601	CL 20 10 35 OF 305
BOYACA CONSTRUCTORES S.A.S.	9013126229	CLL 16 NRO. 9-87 OF 202
BIOESPACIOS PROYECTOS INMOBILIARIOS S.A.S	9013701067	CALLE 16 NO. 9-87 EDIFICIO ARISTA BUSSINES OFC 204
LC CONSTRUCCIONES & PROYECTOS S.A.S	9014114685	CR 7 5 21 I N T 1
LITE EN BIENES RAICES INMOBILIARIA Y CONSTRUCTO	9014440147	CL 15 16 25 OF 305 CC LA CALLEJA
MAS ARQUITECTURA & DISEÑO S.A.S	9014704623	CALLE 21 9 - 93
ACERO CONSTRUCCIONES E INVERSIONES INMOBILIARIAS		CARRERA 9 17 36 OFICINA 210 CENTRO COMERCIAL 450 AROS
INCONCRET CONSTRUCCIONES SAS	9014750164	CARRERA 10 NRO. 21-42 OF. 207 CC EL PINAL
SANDI CONSTRUCTORA S.A.S	9014775250	CARRERA 8 17 - 77
MUNDIAL DE CONSTRUCTORES R & M S.A.S	9014929217	CALLE 20 12- 84 OFICINA 215 A
IDC BUILDIN S.A.S.	9014957547	CARRERA 8 17 - 60
CIMENTARO S.A.S.	9015180802	CARRERA 8 21 67
BUTECHCO SAS	9015301903	CALLE 21 10 - 32 OFICINA 401
CONINOC S.A.S	9015358831	CARRERA 17 A 6 63
GP ENGINEERING GROUP S.A.S	9015899951	CL 22 11-81 OF 302 ED PARALELO 22
VIACON DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.S	9016030734	CL 17 11 53 OF 508 ED NOVO CENTER
PROYECTOS CONACON S.A.S	9016152069	CR 10 17 66 P 4
ACR INGENIEROS Y ABOGADOS ASOCIADOS S.A.S	9016349811	CL 18 9 49 OF 302
DIMENSIO 7 GRUPO CONSTRUCTOR S.A.S	9016428245	CALLE 17 11 53 OFICINA 514
GONZALEZ TORRES JORGE ISAIAS	67591972	CL 18 11 22 OF 305 ED BANCO DEL ESTADO
ATIBA MOXSA S.A.S	9016706520	CR 14 21 07 AP 203
SIAM CONSTRUCCIONES S.A.S	9016927161	CALLE 22 8 11
ACABADOS ARQUITECTONICOS SOTO S.A.S	9016957165	CR 6 18 11
SEDIMCO INGENIEROS SAS	8260034859	CRA 12 NO. 16-38 OF 201
ARODISAING S.A.S.	9017303567	CALLE 17 No. 11-51
AVANCAMOS INGENIERIA BOYACA S.A.S.	9017456194	CL 20 10 64 OF 201
VIVA CONSULTORIA Y ASESORIA EN BIENES RAICES	9017681350	CALLE 23 9 41
LAGOVAL INGENIERIA SAS	9006120420	CRA 12 N 18 33 OFICINA 309
A.M. PROYECTOS DE INGENIERIA S.A.S.	9017996433	CARRERA 10 NRO. 17-22 OFICINA 201
ANUBIS INGENIERIA Y SUMINISTROS S.A.S.	9018470953	CALLE 20 13 10. OFICINA 205 PLAZA REAL
LUALCONT INGENIERIA S.A.S	9018502311	CR 8 171 ED EL CONQUISTADOR AP 102
BALANCE & INGENIERIA S.A.S	9018592310	AV. UNIVERSITARIA NRO 39 - 77
BC CONSTRUCTORA SUCURSAL BOGOTA SAS	9018653646	CALLE 16 9 87 OFICINA 202
CONCEPTOS Y AMBIENTES ARQUITECTURA S.A.S	9019080741	CALLE 22 9 44 LOCAL 14
PARRA GUTIERREZ KAREN TATIANA	10496406383	CARRERA 8 19 42
GONZALEZ NIEVES SERGIO FABIAN	11017594213	CL 16 9 103 OF 310 ED ARISTA
SUBGEO INNOVACIONES		CL 16 9 103 OF 310 ED ARISTA
GRUPO MONTELAGO CONSTRUCCIONES S.A.S.	9019292762	CR 14 20 14 PLAZA REAL OF 308 B
CONSTRU ORIENTE JM S.A.S	9019321812	CALLE 20 10 36 OFICINA 404
C&R CONSTRUCCIONES Y REMODELACIONES S.A.S	9019436960	CARRERA 14 20 17
DRONNA KAPITAL S.A.S.	8002430510	CALLE 21A 10-90 PISO 11 EDIFICIO CENTRO CIVICO HUNZA
CONSTRUCCIONES HIDRAULICAS LIMITADA	8200021177	CLLE 21 NO 10 32 OFICINA 901
MUÑOZ MELO Y CIA S. EN C.	8200024838	CALLE 20 10-64 OFICINA 309
ARIAL INVERSIONES Y CONSTRUCCIONES COMPAÑIA	8200044622	CALLE 21 N 10 32 OFC 701
CIVING SAS	8200054412	CLL 98 8A 52
CONVALQUI SAS	8200055481	CL 22 11 81 OF 301
MUÑOZ CARVAJAL Y CIA S EN C	9000898185	CALLE 20 10-64 OFICINA 309
RVICIOS ESPECIALIZADOS PROFESIONALES INTEGRAL	9000537522	CARRERA 12 20 34 OF 302 EDIFICIO MIGUEL ANDRES
EMVIROTEC S.A.S.	9001341521	CARRERA 13 19 94 APTO 202
INGENIERIA Y GERENCIA DE OBRAS SAS	9002015428	CALLE 17 NO 11 - 53 OF 403
LIGOCONST INGENIERIA LTDA	9002231071	CALLE 18 8-46 APTO 201A

Nota: Elaboración propia

Dado que la población objetivo del estudio se centra en las empresas constructoras formalmente constituidas, es decir, personas jurídicas, se opta por excluir del análisis a las personas naturales, ya que estas no garantizan la misma capacidad operativa, estructura

organizacional ni trayectoria empresarial requerida para evaluar de manera representativa el uso de metodologías como BIM en el sector. Asimismo, se descartan aquellas empresas cuya sede principal se encuentra por fuera del perímetro definido como el centro histórico de la ciudad, ya que el estudio se delimita geográficamente a esta zona como unidad de análisis. Adicionalmente, se seleccionaron únicamente aquellas constructoras que presentan registros activos, descartando las que se encuentran en estado de liquidación, suspensión o con matrícula no renovada, y que cuenten con códigos CIIU correspondientes a actividades directamente relacionadas con obras de construcción, ingeniería civil y edificaciones.

A partir de un análisis detallado, se identificaron como pertinentes aquellos códigos que corresponden a actividades directamente relacionadas con la construcción de obras civiles, edificaciones, ingeniería y otras actividades complementarias del sector. Estos códigos fueron utilizados como criterio adicional de depuración para asegurar que las empresas seleccionadas tuvieran como actividad principal la construcción. A continuación, se presenta la tabla con los códigos CIIU considerados relevantes para este estudio.

Figura 3

Códigos CIIU

Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU)	
Código	Actividad
F4220	Construcción de proyectos de servicio público
F4111	Construcción de edificios residenciales
F4390	Otras actividades especializadas para la construcción de edificios y obras de ingeniería civil
F4290	Construcción de otras obras de ingeniería civil
F4112	Construcción de edificios residenciales

Nota: Elaboración propia

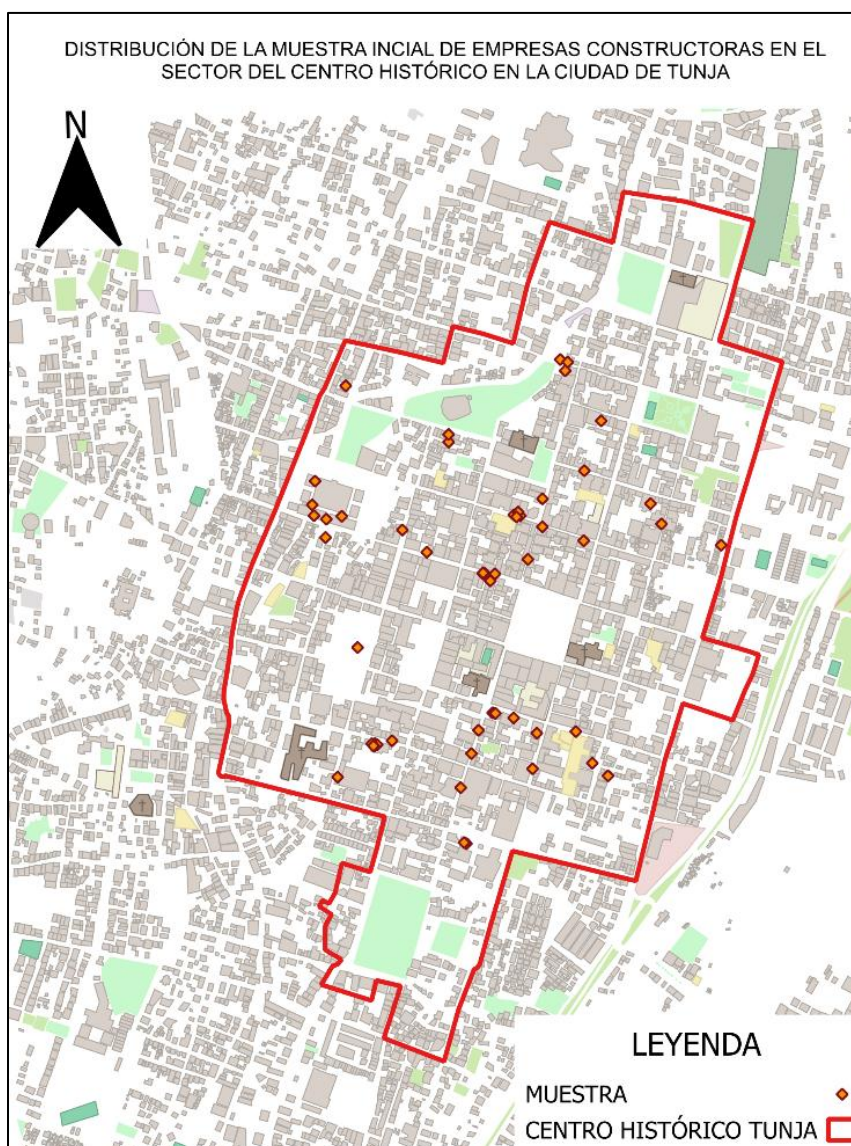
Adicionalmente, se realizó la consulta manual en el Registro Único Empresarial y Social (RUES) para verificar el estado actual de cada una de las empresas identificadas en el listado preliminar. Esta verificación tuvo como finalidad asegurar que únicamente se incluyeran en el

Figura 5*Lista final de constructoras en el área de estudio*

No	RAZON SOCIAL	NIT	DIR-COMERCIAL	CIU	ESTADO
1	CIA INGENIERIA S.A.S	9003227573	CALLE 24NRO.10-11 OFICINA 401	F4220	ACTIVA
2	PROYECTOS ESCALA S.A.S	9003227580	CR 10 16 84	F4111	ACTIVA
3	METRO CUBICO URBANO SAS	9003727283	CALLE 24 10 26	F4111	ACTIVA
4	CONSTRUCTORA G Y T S.A.S.	9005896604	CALLE 20 11-64 OFICINA 309	F4111	ACTIVA
5	HDR ARQUITECTURA E INGENIERIA SAS	9006152517	CRA 7 21-59 BL B APTO 101	F4390	ACTIVA
6	JRD CONSTRUCTORES SAS	9006943250	CL 20 12 84OF 239CC PLAZA REAL	F4111	ACTIVA
7	CONSTRUCIVIL JM S.A.S.	9007542229	CR 14 20 14 308B	F4290	ACTIVA
8	H & H CONSTRUCTORES INGENIERIA S.A.S.	9008511724	CALLE 24 NUMERO 10 16 INTERIOR 103	F4290	ACTIVA
9	CONSTRUCTORA GOMEZ CORREA S.A.S.	9010188391	CALLE 10 20 50 OFICINA 201	F4111	ACTIVA
10	PRAC OBRAS DE INGENIERIA S.A.S.	9010232978	CARRERA 11 17 23	F4220	ACTIVA
11	DISEÑO Y CONSTRUCCION PJC S.A.S.	9010578855	CALLE 17 NO 11 53	F4111	ACTIVA
12	CONSTRUCTORA INMOBILIARIA AMADO AVILA S.A.S.	9011040038	CR 13A 22-33	F4111	ACTIVA
13	CONSTRUCTORA PIN-NAH S.A.S.	9011246319	CALLE 21 9-17 OFICINA 201	F4111	ACTIVA
14	SOFA INGENIERIA S.A.S	9012090624	CALLE 21 10 - 32 OFICINA 401	F4290	ACTIVA
15	RICARDO A. SUAREZ S.A.S	9012837601	CL 20 10 35 OF 305	F4290	ACTIVA
16	BOYACA CONSTRUCTORES S.A.S.	9013126229	CLL 16 NRO. 9-87 OF 202	F4111	ACTIVA
17	BIOESPACIOS PROYECTOS INMOBILIARIOS S.A.S	9013701067	CALLE 16 NO. 9 -87 EDIFICIO ARISTA BUSSINES OFC 204	F4111	ACTIVA
18	MAS ARQUITECTURA & DISEÑO S.A.S	9014704623	CALLE 21 9 - 93	F4290	ACTIVA
19	INCONCRET CONSTRUCCIONES SAS	9014750164	CARRERA 10 NRO. 21-42 OF. 207 CC EL PINAL	F4111	ACTIVA
20	SANDI CONSTRUCTORA S.A.S	9014775250	CARRERA 8 17 - 77	F4111	ACTIVA
21	MUNDIAL DE CONSTRUCTORES R & M S.A.S	9014929217	CALLE 20 12- 84 OFICINA 215 A	F4290	ACTIVA
22	IDC BUILDIN S.A.S.	9014957547	CARRERA 8 17 - 60	F4290	ACTIVA
23	CIMENTARQ S.A.S.	9015180802	CARRERA 8 21 67	F4111	ACTIVA
24	BUTECHO SAS	9015301903	CALLE 21 10 - 32 OFICINA 401	F4290	ACTIVA
25	GP ENGINEERING GROUP S.A.S	9015899951	CL 22 11-81 OF 302 ED PARALELO 22	F4112	ACTIVA
26	VIACON DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.S	9016030734	CL 17 11 53 OF 508 ED NOVO CENTER	F4290	ACTIVA
27	PROYECTOS CONACON S.A.S	9016152069	CR 10 17 66 P 4	F4220	ACTIVA
28	ACR INGENIEROS Y ABOGADOS ASOCIADOS S.A.S.	9016349811	CL 18 9 49 OF 302	F4290	ACTIVA
29	DIMENSIO 7 GRUPO CONSTRUCTOR S.A.S	9016428245	CALLE 17 11 53 OFICINA 514	F4111	ACTIVA
30	SIAM CONSTRUCCIONES S.A.S	9016927161	CALLE 22 8 11	F4111	ACTIVA
31	SEDIMCO INGENIEROS SAS	8260034859	CRA 12 NO. 16-38 OF 201	F4290	ACTIVA
32	ARQDISAING S.A.S.	9017303567	CALLE 17 No. 11-51	F4290	ACTIVA
33	AVANCEMOS INGENIERIA BOYACA S.A.S.	9017456194	CL 20 10 64 OF 201	F4290	ACTIVA
34	TIERRA VIVA CONSULTORIA Y ASESORIA EN BIENES RAÍCES S.A.S.	9017681350	CALLE 23 9 41	F4220	ACTIVA
35	LAGOVAL INGENIERIA SAS	9006120420	CRA 12 N 18 33 OFICINA 309	F4290	ACTIVA
36	A.M. PROYECTOS DE INGENIERIA S.A.S.	9017996433	CARRERA 10 NRO. 17-22 OFICINA 201	F4290	ACTIVA
37	ANUBIS INGENIERIA Y SUMINISTROS S.A.S.	9018470953	CALLE 20 13 10. OFICINA 205 PLAZA REAL	F4290	ACTIVA
38	LUALCONT INGENIERIA S.A.S	9018502311	CR 8 171 ED EL CONQUISTADOR AP 102	F4111	ACTIVA
39	BC CONSTRUCTORA SUCURSAL BOGOTA SAS	9018653646	CALLE 16 9 87. OFICINA 202	F4111	ACTIVA
40	CONCEPTOS Y AMBIENTES ARQUITECTURA S.A.S	9019080741	CALLE 22 9 44 LOCAL 14	F4111	ACTIVA
41	GRUPO MONTELAGO CONSTRUCCIONES S.A.S.	9019292762	CR 14 20 14 PLAZA REAL OF 308 B	F4290	ACTIVA
42	CONSTRU ORIENTE JM S.A.S	9019321812	CALLE 20 10 36 OFICINA 404	F4290	ACTIVA
43	CONSTRUCCIONES HIDRAULICAS LIMITADA	8200021177	CLLE 21 NO 10 32 OFICINA 901	F4290	ACTIVA
44	MUÑOZ MELO Y CIA S. EN C.	8200024838	CALLE 20 10-64 OFICINA 309	F4290	ACTIVA
45	GRUPO EMPRESARIAL INVERSIONES Y CONSTRUCCIONES COMPAÑIA S.A.S INCO S.A.S	8200044622	CALLE 21 N 10 32 OFC 701	F4290	ACTIVA
46	CONVIALQUI SAS	8200055481	CL 22 11 81 OF 301	F4112	ACTIVA
47	SEPI LTDA SERVICIOS ESPECIALIZADOS PROFESIONALES INTEGRALES LIMITADA	9000537522	CARRERA 12 20 34 OF 302 EDIFICIO MIGUEL ANDRES	F4290	ACTIVA
48	EMVIROTEC S.A.S.	9001341521	CARRERA 13 19 94 APTO 202	F4290	ACTIVA
49	INGENIERIA Y GERENCIA DE OBRAS SAS	9002015428	CALLE 17 NO 11 - 53 OF403	F4220	ACTIVA
50	LIGOCONST INGENIERIA LTDA	9002231071	CALLE 18 8-46 APTO 201A	F4111	ACTIVA

Nota: Elaboración propia

Una vez finalizado el proceso de selección de las empresas constructoras, se procede a georreferenciarlas en un mapa con el fin de facilitar su interpretación espacial y ubicación geográfica dentro del área de estudio.

Figura 6*Localización de constructoras seleccionadas en el área de estudio*

Nota: Elaboración propia

3.3 Población y muestra

Una vez finalizado el proceso de depuración del listado de empresas constructoras, se identificó una población objetivo, compuesta por 50 empresas que cumplen con los requisitos establecidos en el capítulo anterior.

Para la recolección de información, se evaluó la posibilidad de aplicar un censo sobre la totalidad de la población. Sin embargo, considerando las restricciones logísticas y de tiempo, se optó por aplicar un muestreo probabilístico aleatorio simple, garantizando representatividad estadística en los resultados.

El tamaño de muestra requerido se calculó con base en la fórmula para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

- $N=50N$ (tamaño de la población)
- $Z=1,96$ (valor Z para un nivel de confianza del 95%)
- $p=0,5$ (probabilidad de éxito)
- $q=1-p$
- $e=0,11$ (margen de error aceptado: 11%)

Sustituyendo se tiene que:

$$n = \frac{50 \cdot (1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{(49) \cdot (0,11)^2 + (1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5} \approx 40,1$$

Por lo tanto, se definió un tamaño de muestra de 40 empresas, considerado suficiente para mantener un equilibrio entre la precisión estadística y la factibilidad operativa del estudio. Este tamaño permite obtener resultados con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 11%, adecuados para una investigación de tipo exploratorio-descriptivo como la presente.

Es importante aclarar que, en estudios de carácter aplicado con población empresarial, es común enfrentar situaciones de no respuesta, ya sea por negativa a participar o desinterés por parte de algunas empresas. Por ello, se previó una tasa de no respuesta estimada del 10%, y se planificó contactar un número mayor de empresas del listado inicial con el fin de alcanzar las 40 encuestas válidas requeridas.

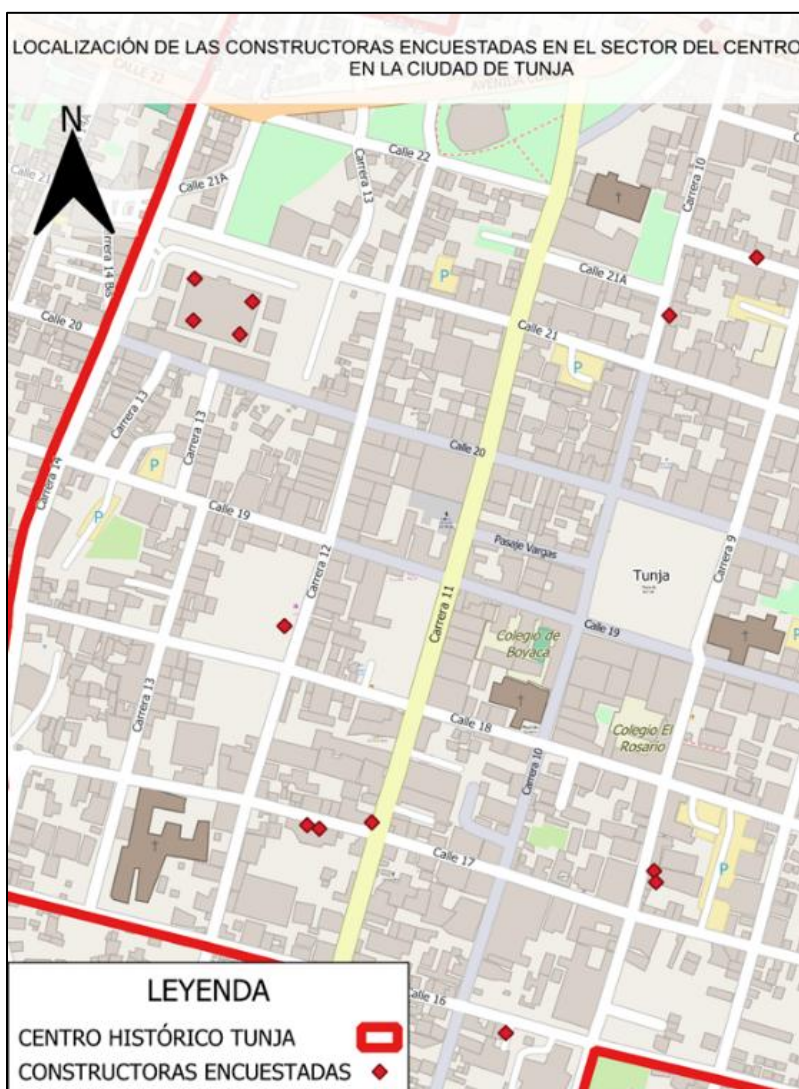
Durante la fase de diseño metodológico del estudio se estimó un tamaño de muestra de cuarenta (40) empresas, con el propósito de contar con una mayor representatividad del sector constructor en el Centro Histórico de Tunja. Sin embargo, durante el desarrollo del trabajo de campo, el proceso de aplicación de las encuestas evidenció las condiciones reales de acceso y participación de las empresas en este tipo de estudios.

En particular, la recolección de información se vio condicionada por la disponibilidad de tiempo de los responsables de las empresas, la carga operativa propia de las micro y pequeñas organizaciones que predominan en el área de estudio y, en algunos casos, la decisión de no suministrar información relacionada con sus prácticas internas de gestión y adopción tecnológica. Como resultado de estas condiciones, se aplicó un total de quince (15) encuestas a empresas que aceptaron participar de manera voluntaria y que cumplieron con los criterios de inclusión.

Desde este contexto, la diferencia entre el tamaño de muestra inicialmente estimado y la muestra finalmente alcanzada se entiende como una condición propia del desarrollo del estudio y del entorno empresarial analizado. Esta condición es coherente con el enfoque exploratorio y diagnóstico bajo el cual se desarrolló la investigación. La información recopilada permitió identificar patrones, barreras y dinámicas relevantes en relación con la adopción de la metodología BIM, ofreciendo un análisis coherente y alineado con la realidad local del sector.

Figura 7

Localización de constructoras encuestadas en el área de estudio



Nota: Elaboración propia

Capítulo IV. Análisis de Resultados

4.1 Caracterización de la Muestra

En sección se presentan las características generales de las empresas participantes en el estudio, con el fin de contextualizar la información posterior sobre la adopción de BIM. Se describen aspectos como el tipo de empresa, su categoría empresarial y el perfil de los encuestados, lo cual permite comprender la composición de la muestra y reconocer factores que pueden influir en la implementación de nuevas metodologías en el sector constructor del Centro Histórico de Tunja.

Figura 8

Caracterización general de las empresas encuestadas

CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA			
VARIABLE	CATEGORIA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Tipo de Empresa	Construcción	10	67%
	Consultoría /Diseño	3	20%
	Interventoría	3	20%
	Promoción Inmobiliaria	1	7%
Tamaño de la Empresa	Microempresa	9	60%
	Pequeña Empresa	5	33%
	Mediana Empresa	1	7%
Rol del Encuestado	Gerente / Director	8	53%
	Ingeniero Residente	4	27%
	Coordinador Técnico	3	20%

Nota: Elaboración propia

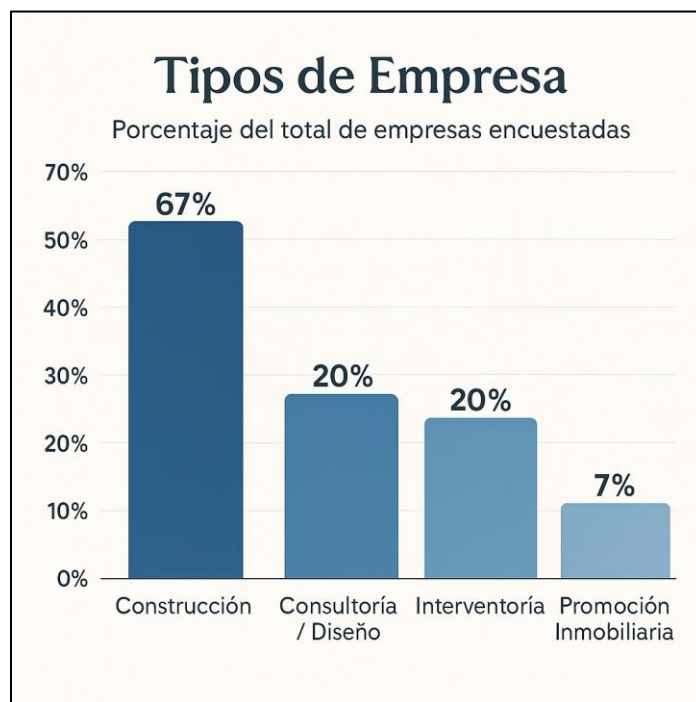
La caracterización general de la muestra permite identificar que el sector constructor en el Centro Histórico de Tunja está conformado mayoritariamente por micro y pequeñas empresas, las cuales representan el 93 % del total de las empresas encuestadas. Esta composición empresarial resulta determinante para interpretar los resultados del estudio, ya que este tipo de organizaciones suele operar con estructuras administrativas reducidas, recursos económicos

limitados y una alta concentración de funciones en pocos cargos. En este contexto, la adopción de metodologías como BIM no depende únicamente del interés técnico, sino de la capacidad real de las empresas para asumir procesos de capacitación, reorganización interna e inversión inicial, lo que explica que el costo y la disponibilidad de personal capacitado aparezcan posteriormente como barreras predominantes.

Asimismo, el hecho de que la mayoría de los encuestados ocupen cargos directivos o técnicos con responsabilidades operativas directas sugiere que las respuestas obtenidas reflejan percepciones basadas en la experiencia práctica y en la toma de decisiones cotidianas de las empresas, lo cual refuerza la validez de los resultados para comprender las condiciones reales de adopción de BIM en este contexto específico.

Figura 9

Distribución de las empresas según su actividad principal.

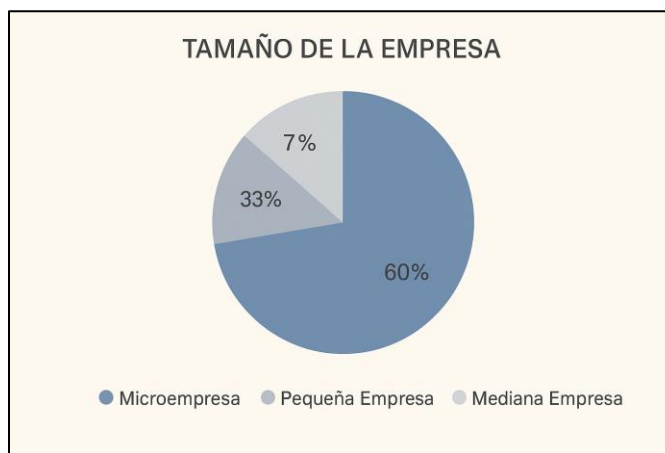


Nota: Elaboración propia

La predominancia de empresas dedicadas directamente a la construcción, que representan el 67 % de la muestra, indica que los resultados del estudio recogen principalmente la perspectiva de actores involucrados en la ejecución material de los proyectos. Esta característica es relevante, ya que este tipo de empresas enfrenta de manera directa las implicaciones prácticas de la adopción de BIM, especialmente en términos de costos operativos, tiempos de obra y coordinación técnica. En contraste, la menor participación de empresas orientadas a la consultoría, la interventoría o la promoción inmobiliaria sugiere que el análisis se centra en organizaciones cuyo interés por BIM está condicionado por su impacto inmediato en la productividad y la gestión del proyecto, más que por enfoques estratégicos o normativos.

Figura 10

Distribución de las empresas según su categoría empresarial



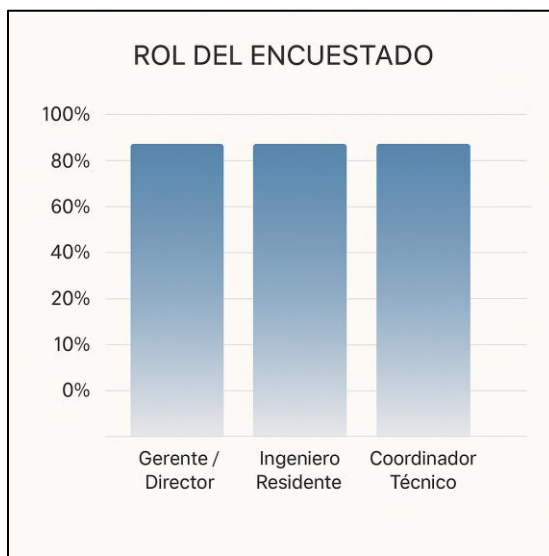
Nota: Elaboración propia

La distribución de las empresas según su tamaño confirma que el tejido empresarial del sector constructor en el Centro Histórico de Tunja está conformado mayoritariamente por micro y pequeñas empresas. Esta estructura empresarial condiciona de manera directa la capacidad de adopción de BIM, dado que este tipo de organizaciones suele priorizar la sostenibilidad operativa de corto plazo sobre procesos de innovación que implican costos iniciales, reorganización interna o dedicación de tiempo a la capacitación. En este contexto, la baja presencia de empresas

medianas limita la existencia de referentes locales con mayor madurez tecnológica, lo que refuerza un entorno en el que la adopción de BIM se percibe como un riesgo más que como una inversión estratégica.

Figura 11

Cargo o rol de los encuestados dentro de la empresa



Nota: Elaboración propia

La participación mayoritaria de encuestados que ocupan cargos directivos o técnicos con responsabilidad directa en la gestión de proyectos permite interpretar los resultados desde una perspectiva informada y cercana a la toma de decisiones. En el contexto de empresas predominantemente pequeñas y micro, estos roles suelen concentrar tanto funciones estratégicas como operativas, lo que implica que las percepciones expresadas sobre la adopción de BIM están directamente influenciadas por las condiciones reales de ejecución de los proyectos. Esta característica refuerza la pertinencia de los resultados obtenidos, al reflejar criterios basados en la experiencia práctica y en las limitaciones cotidianas que enfrentan las empresas del sector.

4.2 Nivel de adopción de BIM

A continuación, se analizan se registran los resultados obtenidos respecto a la adopción actual de la metodología BIM en las empresas encuestadas. Esta parte busca identificar el grado de penetración de la herramienta en el contexto local, expresado en términos de cuántas compañías la utilizan y cuántas no, con el fin de establecer un panorama inicial sobre la madurez de BIM en el área de estudio.

Figura 12

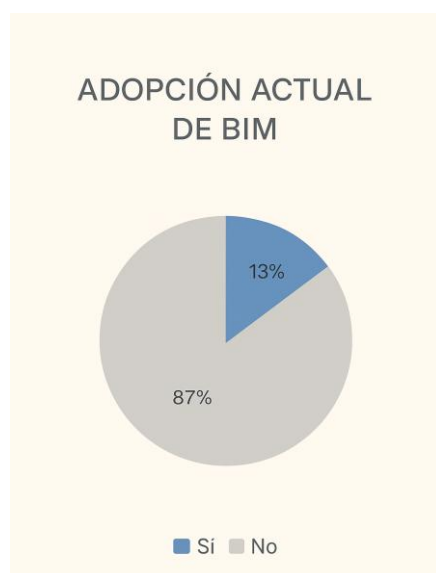
Nivel de adopción de la metodología BIM en las empresas

ADOPCIÓN ACTUAL DE BIM		
VARIABLE	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	2	13%
NO	13	87%

Nota: Elaboración propia

Figura 13

Porcentaje de empresas que utilizan BIM actualmente



Nota: Elaboración propia

El bajo porcentaje de empresas que reportan utilizar actualmente la metodología BIM, correspondiente al 13 % de la muestra, evidencia que su adopción en el Centro Histórico de Tunja es aún incipiente y limitada a casos puntuales. Este resultado no puede interpretarse como una falta de interés por parte del sector, sino como una consecuencia directa de las características estructurales identificadas previamente, en particular el predominio de micro y pequeñas empresas con capacidades técnicas y financieras restringidas. En este contexto, la no adopción de BIM responde más a limitaciones prácticas que a una resistencia conceptual frente a la metodología.

Asimismo, la amplia mayoría de empresas que no utiliza BIM refuerza la existencia de una brecha entre los lineamientos nacionales que promueven su implementación y las condiciones reales de operación de las empresas locales. Esta situación sugiere que la adopción de BIM en el área de estudio no ha logrado consolidarse como una práctica transversal, sino que permanece asociada a iniciativas aisladas, lo cual limita su impacto en la mejora de los procesos de diseño, planificación y gestión de proyectos en el contexto analizado.

4.3 Resultados de Empresas que Utilizan BIM

Para efectos de este análisis, del total de quince encuestas aplicadas únicamente dos empresas manifestaron utilizar actualmente la metodología BIM en sus proyectos. Con el fin de preservar la confidencialidad de la información suministrada y dar cumplimiento a lo establecido en la normativa de protección de datos personales, estas compañías se denominarán en adelante Empresa A y Empresa B. La presentación de los resultados bajo esta clasificación permite comparar sus prácticas y percepciones sin exponer datos sensibles, asegurando un tratamiento ético y académico de la información recolectada.

Figura 14*Comparativo empresas que si usan BIM*

USO DE BIM		
VARIABLE	EMPRESA A	EMPRESA B
Uso BEP	Ocasional	Sí, formal
Roles BIM	No cuenta	No cuenta
Finalidades BIM	Modelado 3D, detección de interferencias, estimación de cantidades y costos (5D)	Modelado 3D, estimación de cantidades y costos (5D)
Colaboración con otras empresas	Sí	No
Uso de Entorno Común de Datos (CDE)	Google Drive	No aplica
Software BIM empleado	Revit, Archicad, Navisworks	Revit
Fases del proyecto en que aplican BIM	Diseño	Diseño y construcción
Proporción de proyectos con BIM	0–25 %	0–25 %
Nivel de capacitación del equipo (escala 1–5)	3 (medio)	2 (bajo)
Beneficios percibidos	Mayor precisión en el diseño, mejor coordinación, reducción de reprocesos	Mayor precisión en el diseño, mejor coordinación, reducción de reprocesos
Ejemplo de beneficio reportado	Proyecto de estructura deportiva	Proyecto “REDERS”
Principales obstáculos identificados	Falta de personal capacitado, resistencia al cambio	Costos iniciales y recurrentes
Obstáculo considerado más crítico	Capacitación y operabilidad entre ramas	Deficiencia en capacitación
Apoyo requerido para fortalecer BIM	Capacitación	Capacitación
Sugerencias para fomentar BIM en Tunja/Boyacá	Foros o eventos de difusión	Mayor inclusión en planes académicos universitarios

Nota: Elaboración propia

De las 15 empresas encuestadas, únicamente el 13,3 % (2 empresas) reportaron implementar la metodología BIM en sus proyectos. En este grupo reducido, se observa que el 50 % utiliza de manera formal un Plan de Ejecución BIM (BEP), mientras que la otra lo aplica solo de manera ocasional. Ninguna de las dos empresas cuenta con roles BIM definidos como BIM

Manager o Coordinador, lo cual refleja una debilidad organizacional frente a la gestión estructurada de la metodología.

En cuanto a los usos específicos de BIM, ambas empresas manifestaron emplearlo principalmente para modelado tridimensional (3D) y estimación de cantidades y costos (5D), mientras que solo una de ellas lo complementa con detección de interferencias (4D). Respecto a la colaboración, apenas el 50 % afirmó compartir modelos con otras empresas, y únicamente una indicó el uso de un Entorno Común de Datos (CDE), en este caso a través de una plataforma básica como Google Drive.

El alcance de la metodología se encuentra en un desarrollo temprano: en ambos casos BIM se aplica en un máximo del 25 % de los proyectos vigentes, concentrándose en las fases de diseño y, de manera parcial, en la de construcción. Además, la capacitación recibida por el personal fue valorada en niveles bajos a medios (2 y 3 sobre 5), sustentada principalmente en cursos básicos, capacitaciones internas y autoaprendizaje, sin registros de certificaciones oficiales.

Los beneficios más destacados fueron la mayor precisión en el diseño, la reducción de reprocesos y la mejora en la coordinación entre actores. No obstante, los obstáculos señalados coinciden con lo descrito en la literatura: altos costos iniciales de implementación, falta de personal capacitado y ausencia de requerimientos contractuales que impulsen el uso de BIM. Ambas empresas coincidieron en que el principal apoyo necesario para fortalecer la metodología es la capacitación.

4.4 Resultados de Empresas que no Usan BIM

Esta sección expone los hallazgos relacionados con las empresas que afirmaron no utilizar BIM. Se analizan las razones que explican la no adopción, los beneficios potenciales que los encuestados reconocen en la metodología, los principales obstáculos percibidos y el interés manifestado en implementarla en el futuro. Con este análisis se busca comprender las barreras estructurales y las oportunidades latentes que podrían facilitar la introducción de BIM en estas compañías.

Figura 15

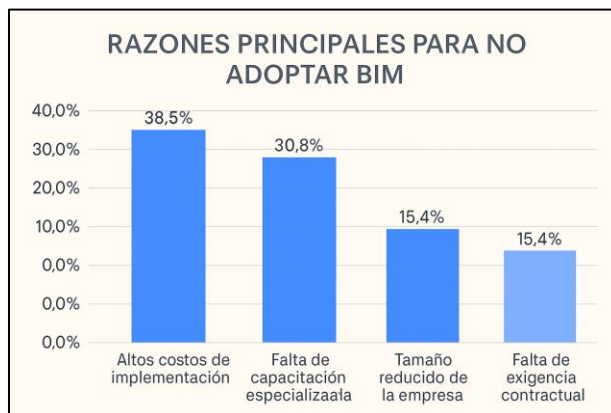
Razones principales para no adoptar BIM

Razones principales para no adoptar BIM		
Razón de no adopción	Frecuencia	Porcentaje
Altos costos de implementación	5	38,5%
Falta de capacitación especializada	4	30,8%
Tamaño reducido de la empresa	2	15,4%
Falta de exigencia contractual	2	15,4%

Nota: Elaboración propia

Figura 16

Distribución de razones de no adopción de BIM en las empresas



Nota: Elaboración propia

Los resultados evidencian que la no adopción de BIM en la mayoría de las empresas encuestadas responde principalmente a factores económicos y formativos, más que a una percepción negativa de la metodología. La identificación de los costos de implementación como la razón más frecuente pone de manifiesto que, para las empresas del contexto analizado, la inversión inicial asociada a software, capacitación y adecuación de procesos representa una barrera difícil de asumir dentro de estructuras empresariales de pequeña escala.

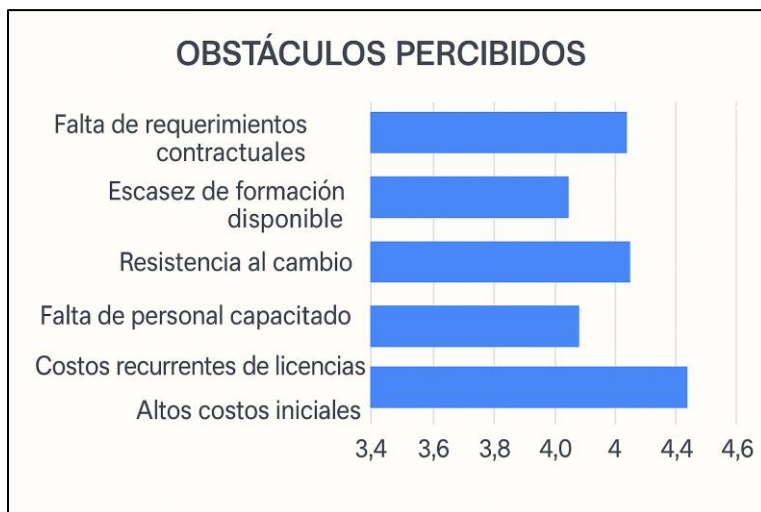
De manera complementaria, la falta de capacitación especializada se consolida como un obstáculo relevante, lo cual sugiere que la ausencia de conocimientos técnicos no solo limita la adopción de BIM, sino que también refuerza la percepción de riesgo frente a su implementación. Esta situación se ve acentuada por el tamaño reducido de las empresas, donde la especialización de funciones es limitada y la formación continua suele quedar subordinada a las necesidades operativas inmediatas.

Asimismo, la baja incidencia de factores como la falta de exigencia contractual indica que, en el contexto local, la adopción de BIM no está siendo impulsada de manera externa por clientes o entidades contratantes, lo que reduce los incentivos para que las empresas asuman procesos de cambio organizacional. En conjunto, estos resultados permiten interpretar que la no adopción de BIM no responde a una falta de reconocimiento de sus beneficios, sino a un entorno económico y organizacional que dificulta su incorporación bajo las condiciones actuales.

Figura 17*Obstáculos percibidos para la implementación de BIM*

OBSTÁCULOS PERCIBIDOS	
Obstáculo	Promedio (1-5)
Altos costos iniciales	4,5
Costos recurrentes de licencias	4
Falta de personal capacitado	4,2
Resistencia al cambio	3,8
Escasez de formación disponible	3,9
Falta de requerimientos contractuales	4

Nota: Elaboración propia

Figura 18*Obstáculos más relevantes percibidos por empresas no usuarias de BIM*

Nota: Elaboración propia

La valoración de los obstáculos percibidos para la implementación de BIM confirma que las principales dificultades identificadas por las empresas no usuarias se concentran en aspectos estructurales más que operativos. Los altos costos iniciales y la falta de personal capacitado aparecen como los factores más críticos, lo cual refuerza la idea de que la adopción de BIM exige condiciones mínimas de inversión y capital humano que resultan difíciles de alcanzar para empresas de pequeña escala. Estos resultados sugieren que la decisión de no adoptar la metodología no obedece a una evaluación negativa de sus beneficios, sino a la imposibilidad práctica de asumir los requerimientos asociados a su implementación.

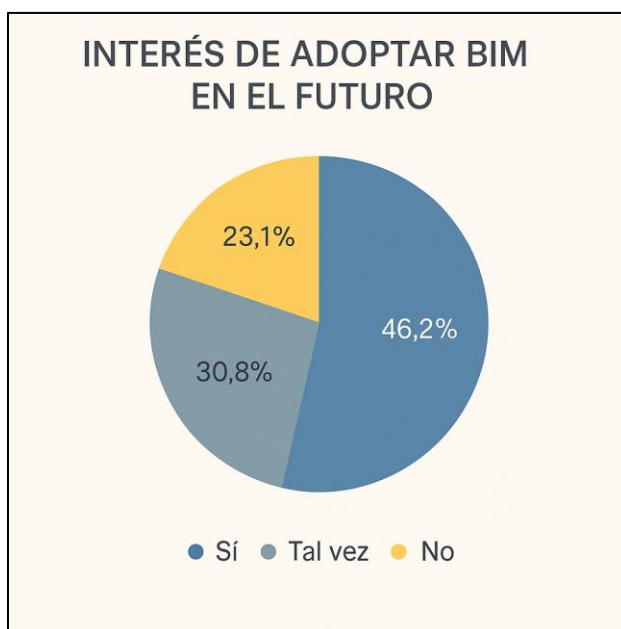
De manera complementaria, la relevancia asignada a la ausencia de requerimientos contractuales asociados al uso de BIM y a la resistencia al cambio indica que, en ausencia de incentivos externos claros, las empresas tienden a mantener esquemas de trabajo tradicionales que les resultan más previsibles en términos de costos y organización. En este sentido, los obstáculos identificados no solo explican la baja adopción actual de BIM, sino que evidencian la necesidad de estrategias de implementación progresiva que se ajusten a las capacidades reales del tejido empresarial del Centro Histórico de Tunja.

Figura 19

Interés de las empresas en implementar BIM en el futuro

INTERÉS EN ADOPTAR BIM EN EL FUTURO		
Variable	Frecuencia	Porcentaje
Sí	6	46,2%
Tal vez	4	30,8%
No	3	23,1%

Nota: Elaboración propia

Figura 20*Nivel de interés en la futura adopción de BIM*

Nota: Elaboración propia

A pesar de la baja adopción actual de la metodología BIM, los resultados muestran una disposición significativa de las empresas hacia su implementación futura. El 46,2 % de los encuestados manifestó un interés claro en adoptar BIM, mientras que un 30,8 % indicó que podría hacerlo bajo ciertas condiciones, lo que en conjunto representa más del 75 % de la muestra. Este resultado sugiere que la resistencia a BIM no es generalizada y que existe un interés latente condicionado por factores externos más que por una oposición conceptual a la metodología.

Por otra parte, el 23,1 % de las empresas que no manifiestan interés en adoptar BIM en el futuro refleja un grupo que percibe mayores riesgos o limitaciones frente a los beneficios esperados. Sin embargo, al contrastar este resultado con los obstáculos previamente identificados, se observa que el interés futuro está estrechamente relacionado con la posibilidad

de superar barreras como los costos iniciales, la falta de capacitación y la ausencia de exigencias contractuales. En este sentido, los niveles de interés evidencian un escenario favorable para la adopción progresiva de BIM, siempre que se implementen estrategias ajustadas a las capacidades reales de las empresas del contexto analizado.

4.5 Conocimiento Institucional y Normativo

En este capítulo se presentan los resultados vinculados con el conocimiento de las empresas sobre la Estrategia Nacional BIM en Colombia y su participación en proyectos donde la implementación de esta metodología fue un requisito obligatorio. El propósito es identificar el grado de articulación existente entre las políticas públicas de adopción de BIM y la realidad de las empresas constructoras del Centro Histórico de Tunja, señalando posibles brechas entre el marco institucional y la práctica local.

Figura 21

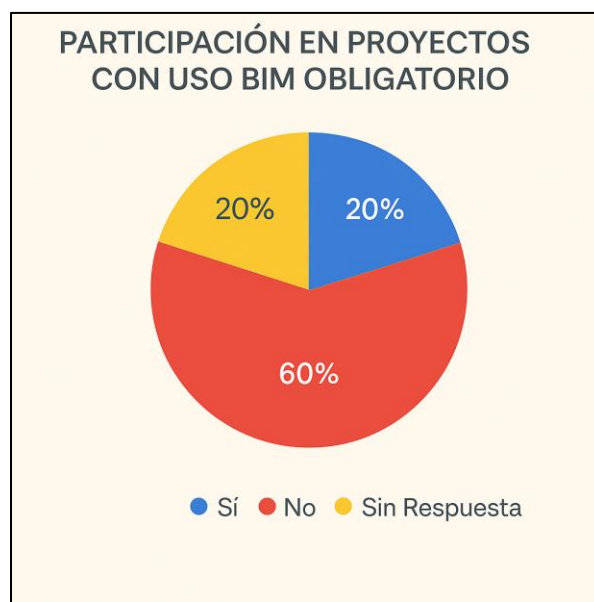
Participación de empresas en proyectos con BIM obligatorio

Participación en proyectos con BIM obligatorio		
Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Sí	3	20%
No	9	60%
Sin Respuesta	3	20%

Nota: Elaboración propia

Figura 22

Empresas que han participado en proyectos con BIM como requisito



Nota: Elaboración propia

Los resultados evidencian una participación limitada de las empresas del Centro Histórico de Tunja en proyectos donde el uso de BIM ha sido un requisito obligatorio. Únicamente el 20 % de las empresas encuestadas manifestó haber participado en este tipo de proyectos, mientras que el 60 % indicó no haber tenido dicha experiencia y un 20 % no respondió. Esta baja participación sugiere que, en el contexto local, la exigencia formal de BIM por parte de entidades contratantes o clientes aún no se ha consolidado como una práctica recurrente.

La escasa presencia de proyectos con BIM obligatorio contribuye a explicar la baja adopción de la metodología en las empresas analizadas, ya que la ausencia de requerimientos institucionales reduce los incentivos para invertir en capacitación, licencias o ajustes organizacionales. En este sentido, los resultados ponen de manifiesto una brecha entre los lineamientos nacionales que promueven la adopción de BIM y su aplicación efectiva en

contextos locales como el Centro Histórico de Tunja, donde las dinámicas del mercado y la escala de los proyectos no han generado aún una presión suficiente para su implementación sistemática.

Figura 23

Conocimiento de la Estrategia Nacional BIM en Colombia

Conocimiento de la Estrategia Nacional BIM		
Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Sí	3	20%
No	9	60%
Sin Respuesta	3	20%

Nota: Elaboración propia

Figura 24

Empresas que conocen la Estrategia Nacional BIM



Nota: Elaboración propia

Los resultados evidencian un bajo nivel de conocimiento de la Estrategia Nacional BIM entre las empresas encuestadas. Solo el 20 % manifestó conocer esta política, mientras que el 60 % indicó no tener conocimiento de esta y un 20 % no respondió. Esta distribución pone de manifiesto una limitada difusión y apropiación de los lineamientos institucionales en el contexto local, particularmente entre las empresas que operan en el Centro Histórico de Tunja.

La falta de conocimiento de la Estrategia Nacional BIM contribuye a explicar la escasa participación de las empresas en proyectos donde la metodología es un requisito y refuerza la brecha identificada entre el marco normativo y la práctica empresarial. En ausencia de información clara sobre los objetivos, alcances y beneficios asociados a la política nacional, las empresas tienden a percibir BIM como una iniciativa aislada o de carácter opcional, más que como una herramienta estratégica vinculada a procesos de modernización del sector. En este sentido, los resultados sugieren que la baja adopción de BIM no solo responde a barreras económicas y técnicas, sino también a debilidades en los procesos de divulgación y articulación institucional a nivel local.

Capítulo V. Discusión

5.1 Discusión integrada de resultados

5.1.1 *Análisis Cualitativo*

Los datos recolectados permiten afirmar que la adopción de BIM en el Centro Histórico de Tunja es aún muy limitada. Solo el 13,3 % de las empresas encuestadas reportó implementarla, lo que refleja un uso marginal frente al total de la muestra. Incluso entre las que sí la aplican, el alcance es reducido: se limita a un máximo del 25 % de los proyectos y se concentra en la fase de diseño. Ninguna de estas empresas cuenta con roles BIM definidos y apenas la mitad utiliza de forma estructurada un Plan de Ejecución BIM.

Por el contrario, el 86,7 % de las empresas no hace uso de BIM. Las razones cuantificadas para explicar esta situación giran principalmente en torno a los altos costos de implementación (38,5 %) y la falta de capacitación especializada (30,8 %), seguidas por el tamaño reducido de las empresas y la ausencia de exigencias contractuales. Los obstáculos medidos refuerzan este panorama, los costos iniciales, la falta de personal capacitado y la ausencia de requerimientos normativos obtuvieron las valoraciones más altas.

No obstante, los números también revelan un aspecto positivo: cerca de la mitad de las empresas no usuarias (46,2%) manifestó interés en implementar BIM en el futuro y otro 30,8% respondió que lo consideraría bajo ciertas condiciones. Solo un 23,1% cerró la puerta a esta posibilidad. Esto sugiere que, más que una negativa tajante, existe un interés latente que podría materializarse si se reducen las barreras identificadas y se ofrecen incentivos claros.

Finalmente, en materia normativa, solo el 20% de las empresas ha participado en proyectos donde BIM fue obligatorio y un porcentaje igual manifestó conocer la Estrategia

Nacional BIM 2020–2026. La mayoría (60 %) desconoce estas iniciativas, lo que confirma la desarticulación entre las políticas públicas nacionales y la práctica empresarial local.

5.1.2 Análisis Cuantitativo

Más allá de los números, las respuestas abiertas permiten comprender cómo perciben las empresas la metodología. El tema más reiterado es la capacitación: las compañías sienten que no cuentan con las herramientas ni con el conocimiento suficiente para dar el paso hacia BIM. Sus palabras reflejan no tanto un rechazo, sino una necesidad, quieren aprender, pero requieren cursos accesibles, certificaciones y acompañamiento para hacerlo viable.

Otro punto destacado es la demanda de apoyo institucional y académico, en la medida en que varias empresas señalaron que la ausencia de lineamientos claros o de entidades contratantes que exijan BIM en sus proyectos desincentiva la inversión en su adopción. Asimismo, piden que las universidades incorporen esta metodología en sus programas, con el fin de formar desde la base a los profesionales del sector. Este reclamo muestra que las compañías no esperan resolverlo solas: ven necesario un esfuerzo colectivo para consolidar la adopción.

Las empresas también solicitaron espacios de promoción y difusión, como foros, concursos y encuentros sectoriales. Detrás de esta petición está la necesidad de conocer casos reales de éxito y de compartir experiencias con otros actores, lo que puede generar confianza en la utilidad práctica de BIM.

Por último, las dos empresas que ya utilizan la metodología aportaron testimonios que confirman beneficios concretos: mayor precisión en los diseños, reducción de reprocesos y mejor coordinación entre equipos. Estos relatos demuestran que, incluso en un contexto con baja madurez, BIM ofrece mejoras tangibles en la gestión de proyectos.

Por tal motivo, el análisis cualitativo muestra un sector que sí reconoce el valor de BIM, pero que se enfrenta a limitaciones estructurales y organizativas. Las respuestas revelan interés, expectativas y voluntad de cambio, aunque acompañadas de la conciencia de que necesitan formación, incentivos y apoyo externo para dar el salto hacia la transformación digital.

5.2 Integración de los Resultados del Estudio con Estudios Previos

El presente apartado tiene como finalidad articular los resultados obtenidos en esta investigación con los hallazgos reportados en estudios previos relacionados con la implementación de la metodología BIM en el sector de la construcción. Este ejercicio permite situar los resultados del estudio dentro de un marco de referencia más amplio, identificando convergencias y divergencias con investigaciones desarrolladas en distintos contextos, y contribuyendo a complementar el estado del arte sobre la adopción de BIM. Asimismo, esta articulación fortalece la interpretación de los resultados y aporta elementos para su análisis crítico en relación con las dinámicas actuales del sector.

5.2.1 Evaluación de los Resultados Frente a la Problemática de Adopción de BIM en el Centro Histórico de Tunja

Los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a las empresas constructoras del Centro Histórico de Tunja revelan un panorama ampliamente representativo de las condiciones de madurez digital del sector en esta zona de la ciudad. La evidencia cuantitativa muestra que únicamente el 13,3% de las empresas encuestadas utiliza algún componente de la metodología Building Information Modeling (BIM), mientras que el 86,7 % continúa operando bajo métodos tradicionales. Esta cifra no solo refleja un nivel bajo de adopción, sino que también expone la existencia de un rezago estructural que limita la competitividad, la productividad y la capacidad de innovación del sector en comparación con las tendencias nacionales e internacionales.

Esta baja adopción resulta especialmente problemática si se considera que Colombia ha venido avanzando hacia la implementación progresiva de BIM en los proyectos públicos, en línea con los objetivos planteados en la Estrategia Nacional BIM 2020–2026, la cual establece que la transformación digital es indispensable para elevar los niveles de eficiencia en el diseño, la construcción y la operación de infraestructura y edificaciones. Mientras entidades nacionales como el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), el Departamento Nacional de Planeación (DNP), el Ministerio de Vivienda y la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) han promovido activamente el uso de BIM en sus procesos, el sector constructor de Tunja permanece anclado en prácticas tradicionales que ya no responden a los retos contemporáneos del mercado.

Los resultados obtenidos en el presente estudio pueden contrastarse con los hallazgos reportados por Castro y Rodríguez (2021) en su análisis sobre la implementación y los beneficios del uso de BIM en empresas constructoras del centro histórico de Tunja. Por otra parte, el presente trabajo evidencia una adopción limitada de BIM en proyectos de edificación pública, caracterizada por el uso predominante de herramientas tradicionales y una aplicación incipiente de metodologías digitales, el estudio desarrollado en el sector privado identifica un mayor nivel de conocimiento y aproximación inicial a BIM, aunque aún con importantes restricciones. En particular, Castro y Rodríguez (2021) reportan que aproximadamente el 50 % de las empresas encuestadas manifiestan conocer la metodología BIM, sin embargo, solo una fracción reducida la implementa de manera sistemática dentro de sus procesos productivos.

Desde el punto de vista operativo, el estudio del centro histórico de Tunja señala que las empresas que han incorporado BIM reportan beneficios asociados principalmente a la reducción de interferencias en obra, la mejora en la coordinación de especialidades y una mayor precisión en las cantidades de obra, mientras que los impactos sobre el control de costos y tiempos aún son

percibidos como limitados debido a la aplicación parcial de la metodología. Este comportamiento resulta consistente con los resultados obtenidos en la presente investigación, donde se evidencia que la ausencia de una implementación integral de BIM, particularmente de las dimensiones 4D y 5D, restringe su potencial para fortalecer la planificación y el control de proyectos. La presente comparación sugiere que, incluso dentro de un mismo contexto urbano, el nivel de adopción de BIM varía según el tipo de actor y el alcance de los proyectos, pero mantiene como rasgo común una brecha de madurez que limita la consolidación de beneficios estratégicos, tanto en el sector público como en el privado.

El uso predominante de CAD 2D entre las empresas encuestadas el 83 % depende exclusivamente de planos bidimensionales evidencia que la modelación digital tridimensional ha sido prácticamente inexistente en la ciudad. Esta circunstancia implica limitaciones considerables en la detección anticipada de interferencias, la coordinación interdisciplinaria, la precisión en cantidades y la generación de documentación técnica. A diferencia de los modelos 3D que permiten una comprensión integral de la geometría del proyecto, los planos 2D requieren interpretación constante, elevan el riesgo de errores humanos, y dificultan la visualización del diseño para actores no especializados.

De manera consistente, el 92 % de las empresas encuestadas indicó que realiza cuantificaciones manuales, lo cual expone los proyectos a variaciones presupuestales significativas, errores acumulativos, duplicidades o inconsistencias entre planos. En un contexto donde la competitividad depende de la capacidad de generar estimaciones precisas, rastrear cambios y controlar desviaciones, este hallazgo demuestra una clara brecha en la adopción de herramientas de gestión digital como BIM 5D.

Otro elemento crítico es la falta de estandarización. Ninguna empresa encuestada reportó el uso de estándares de modelación, nomenclaturas, niveles de desarrollo (LOD) o Planes de Ejecución BIM (BEP). La ausencia de estas estructuras metodológicas significa que los equipos no cuentan con procesos definidos para crear, coordinar, revisar y aprobar modelos o documentos. En comparación, los principales proyectos nacionales han implementado marcos estandarizados que permiten garantizar trazabilidad, coherencia y calidad en la información generada.

La resistencia a BIM no proviene únicamente de una falta de conocimiento técnico, sino también de factores organizacionales y culturales. El 38,5 % de las empresas encuestadas identifica los costos de implementación como el principal obstáculo, mientras que el 30,8 % señala la falta de capacitación. Esto evidencia que la adopción digital no se percibe como inversión estratégica, sino como gasto. Esta percepción es común en pequeñas y medianas empresas, donde la visión a corto plazo tiende a prevalecer y los recursos disponibles son limitados. Sin embargo, la literatura especializada demuestra que BIM, lejos de ser un gasto adicional, permite reducir costos operativos, minimizar retrabajos, mejorar la precisión y garantizar una mayor eficiencia en fases posteriores del proyecto.

Finalmente, el hecho de que solo el 20 % de las empresas encuestadas conozca la Estrategia Nacional BIM indica una desconexión entre las dinámicas locales y las políticas de transformación digital promovidas a nivel nacional. Esta falta de alineación institucional implica que Tunja se encuentra rezagada en la transición hacia la digitalización de procesos constructivos, limitando la competitividad del sector frente a mercados que ya adoptaron estándares BIM de forma regular.

Por otra parte, los resultados obtenidos en el presente estudio se alinean con los hallazgos expuestos por Botero et al. (2015) quienes evidencian que la adopción de la metodología BIM, tanto en el ámbito académico como profesional, presenta una brecha significativa entre su potencial teórico y su nivel real de implementación. A nivel internacional, los autores citan el *SmartMarket Report* de McGraw Hill Construction, el cual señala que en Norteamérica el uso de BIM pasó del 28 % en 2007 al 48 % en 2009, lo que representa un crecimiento del 71 % en apenas dos años. Sin embargo, pese a este aumento, solo un 3 % de los usuarios declara utilizar BIM en toda su capacidad, mientras que el 48 % reconoce un uso parcial de sus funcionalidades, particularmente limitado a etapas de diseño y generación de planos.

Este comportamiento es consistente con los resultados observados en las empresas constructoras del Centro Histórico de Tunja, donde si bien se evidencia un reconocimiento generalizado de los beneficios de BIM, su aplicación se concentra principalmente en la visualización tridimensional y extracción básica de cantidades, sin una integración efectiva en dimensiones avanzadas como la programación (4D) o el control de costos (5D). En el estudio de Sánchez Botero et al. (2015), se reporta que las fases donde BIM genera mayor valor son la documentación técnica (55 %) y el desarrollo del diseño (54 %), mientras que su aprovechamiento en construcción, operación y mantenimiento es considerablemente menor, situación que guarda una relación directa con los resultados empíricos obtenidos en el contexto local analizado.

Adicionalmente, el artículo resalta que en Europa occidental cerca del 36 % de las empresas implementaban BIM para 2010, frente a un 49 % en Norteamérica, y que casi la mitad de los usuarios europeos (≈ 0 %) que midieron el retorno de inversión (ROI) reportaron beneficios superiores al 25 %. Este dato contrasta de manera significativa con la realidad de las

empresas constructoras estudiadas en Tunja, donde no se evidencian mediciones formales de retorno económico asociadas a la implementación de BIM, lo cual limita la toma de decisiones estratégicas basadas en indicadores financieros y refuerza la percepción de BIM como una herramienta de apoyo gráfico más que como una metodología integral de gestión de proyectos.

En el ámbito académico, Botero et al. (2015) señalan que solo el 9 % de 119 universidades encuestadas incorporan BIM en sus cursos, y menos del 1 % lo ofrece como asignatura independiente, identificando como principales barreras la falta de espacio curricular (82 %) y la insuficiente capacitación docente (86,7 %). Estos resultados permiten contextualizar los hallazgos del presente proyecto, en el cual se evidencia que la limitada formación formal en BIM de los profesionales locales influye directamente en el bajo nivel de adopción organizacional y en la resistencia al cambio tecnológico observada en las empresas constructoras del Centro Histórico de Tunja.

En conjunto, la relación entre los resultados de este estudio y la evidencia presentada por Sánchez Botero et al. (2015) permite concluir que la problemática identificada no es exclusiva del contexto local, sino que responde a una tendencia estructural en países en vías de desarrollo, donde la implementación de BIM se presenta de manera fragmentada, sin una articulación efectiva entre la academia, la industria y el sector público. No obstante, los beneficios cuantificados a nivel internacional refuerzan la pertinencia de promover estrategias de adopción progresiva de BIM en las empresas constructoras de Tunja, orientadas no solo al diseño, sino al control integral de costos, tiempos y recursos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

El nivel de implementación identificado en las empresas constructoras del centro histórico de Tunja guarda similitudes con lo reportado en otros estudios desarrollados en contextos empresariales de escala similar. Naranjo Bejarano (2021) señala que la adopción de

BIM en pequeñas y medianas empresas constructoras suele realizarse de forma progresiva y limitada, concentrándose principalmente en actividades de modelado y apoyo al diseño, sin una integración completa a los procesos de planeación, costos o control de obra. Esta tendencia permite contextualizar los resultados del presente estudio, en la medida en que el uso de BIM observado responde más a una incorporación funcional puntual que a una transformación integral de los procesos constructivos.

5.2.2 Análisis Técnico de los Beneficios BIM Identificados en la Literatura

La literatura académica y técnica coincide en señalar que BIM representa una transformación profunda en los procesos constructivos, ya que modifica la forma en que la información es generada, gestionada, compartida y utilizada a lo largo del ciclo de vida de un proyecto. Eastman et al. (2011) destacan que BIM permite integrar dimensiones que van más allá de la geometría tridimensional (3D), incorporando el tiempo (4D), los costos (5D), la sostenibilidad (6D) y la operación del activo (7D). Esta centralización y multidimensionalidad de la información es clave para comprender su poder disruptivo.

Los beneficios identificados en este estudio coinciden parcialmente con los planteamientos desarrollados en la literatura especializada, en la cual se reconoce a BIM como una herramienta que mejora la visualización del proyecto y facilita la detección temprana de inconsistencias. No obstante, Morán y Pinilla (2022) advierten que dichos beneficios dependen del nivel de integración de la metodología dentro de los procesos organizacionales, señalando que, cuando BIM se aplica de manera limitada, su impacto suele concentrarse en aspectos técnicos del diseño sin generar mejoras sustanciales en costos o tiempos. Esta apreciación resulta coherente con los hallazgos obtenidos, donde los beneficios observados se manifiestan de forma localizada y no como una transformación integral de la gestión del proyecto.

Uno de los beneficios más importantes que se desprende de la literatura es la coordinación interdisciplinaria. Los métodos tradicionales generan documentación fragmentada: los arquitectos producen planos, por un lado, los estructurales por otro y los especialistas en MEP por otro, lo que provoca inconsistencias que solo se detectan cuando los planos se superponen manualmente o, peor aún, en obra. BIM, por el contrario, permite consolidar toda la información en un modelo federado, lo que facilita identificar interferencias, revisar compatibilidades geométricas y coordinar decisiones antes de construir.

Este beneficio se evidencia claramente en proyectos como Torre Atrio, donde las revisiones semanales realizadas en Navisworks Manage permitieron detectar el 100 % de las interferencias críticas antes de iniciar obra (Autodesk, 2022). Este resultado no solo evitó sobrecostos y retrasos, sino que también permitió garantizar la seguridad estructural y operativa de una de las torres más altas y complejas del país. Comparado con Tunja donde ninguna empresa encuestada emplea modelación 3D coordinada, ni herramientas para detección de interferencias, ni revisión digital interdisciplinaria la brecha metodológica es amplia y profunda.

Otro beneficio ampliamente documentado es el impacto en la reducción de tiempos de diseño y revisión. El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) reporta disminuciones de hasta el 25 % en tiempos de diseño gracias a la coordinación en plataforma digital. En el caso VIS Cartagena, la capacidad de anticipar cuellos de botella mediante simulación de secuencias constructivas (4D) permitió optimizar el cronograma y reducir desviaciones.

Además, el análisis de la literatura revela que BIM mejora la gestión del cambio, aspecto fundamental en cualquier proyecto constructivo. En los métodos tradicionales, un cambio en una parte del diseño requiere actualizar manualmente múltiples planos, lo que aumenta el riesgo de

inconsistencias. En BIM, los cambios se actualizan automáticamente en todas las vistas y disciplinas. Esto reduce los riesgos de errores y mejora la trazabilidad.

En el estudio de Gómez-Sánchez et al. (2019), la implementación de BIM en un proyecto residencial de 25 pisos, con tres sótanos y 281 unidades habitacionales, permitió demostrar beneficios operativos significativos que son especialmente relevantes para el contexto colombiano. Según los autores, la integración de los modelos arquitectónico, estructural y MEP en un entorno federado facilitó la detección previa de interferencias, lo que redujo la aparición de conflictos en obra y disminuyó la necesidad de retrabajos. Este hallazgo es fundamental para el contexto de Tunja, donde la mayoría de las empresas aún trabaja con planos 2D y métodos manuales. Tal como destacan Gómez-Sánchez et al. (2019), la anticipación de incompatibilidades no solo mejora la calidad de diseño, sino que también contribuye a la eficiencia global del proyecto desde sus fases tempranas.

Este mismo estudio evidencia que la aplicación de simulaciones 4D generó mejoras sustanciales en la planificación y en la comunicación entre los equipos de obra. Los autores explican que las simulaciones temporales permitieron al equipo visualizar secuencias constructivas, anticipar restricciones logísticas y mejorar la comprensión del proyecto entre los diferentes actores. Gómez-Sánchez et al. (2019) señalan que esta herramienta se convirtió en un “lenguaje común” que facilitó la toma de decisiones y redujo la incertidumbre. Para las empresas de Tunja, donde no se emplean herramientas asociadas al 4D, este beneficio representa una oportunidad clara para optimizar procesos y reducir variaciones en obra.

Los autores también destacan beneficios financieros derivados de la integración de BIM 5D, particularmente en la reducción de errores en cuantificación y en la coherencia entre metrados y presupuestos. Gómez-Sánchez et al. (2019) describen cómo la extracción automática

de cantidades desde el modelo digital permitió disminuir el tiempo destinado a actividades repetitivas y mejorar la precisión en los análisis de costos. Este punto es especialmente relevante para Tunja, donde el 92 % de las empresas encuestadas realizan cuantificaciones manuales. Como demuestran los autores, la transición hacia modelos paramétricos no requiere inversiones excesivas, sino la adopción progresiva de estructuras de información que mejoren la trazabilidad y la exactitud presupuestal.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son coherentes con la evidencia reportada a nivel nacional por Fernández Arias (2022), quien analizó la aplicación de la metodología BIM en procesos de interventoría de obras civiles en Colombia. A partir de encuestas aplicadas a profesionales del sector, el autor identifica que únicamente el 18 % de los encuestados utiliza BIM de manera frecuente, mientras que la mayoría de los actores presenta un uso inexistente o esporádico de la metodología, principalmente asociado al desconocimiento de sus alcances y a la falta de formación especializada. Este bajo nivel de adopción confirma que BIM aún no se encuentra integrado de forma estructural en los procesos de control, supervisión y toma de decisiones en proyectos de obra pública.

Adicionalmente, el estudio evidencia que, incluso entre los usuarios que emplean BIM, su aplicación se concentra mayoritariamente en el modelado tridimensional (3D), sin una implementación sistemática de dimensiones avanzadas como 4D (programación) y 5D (control de costos), las cuales son claves para fortalecer las labores de interventoría. Esta limitación tiene implicaciones directas en la capacidad de anticipar desviaciones de cronograma, controlar sobrecostos y reducir reprocesos, aspectos que continúan gestionándose mediante procedimientos manuales. En este sentido, los hallazgos nacionales refuerzan que el bajo impacto de BIM en la gestión de proyectos no responde a la inexistencia de la metodología, sino

a una brecha de madurez, caracterizada por adopción parcial, insuficiente capacitación y ausencia de lineamientos institucionales, situación que coincide con lo observado en los proyectos analizados en Tunja.

La evidencia empírica presentada por Salazar y Galindo (2018) permite dimensionar de forma cuantitativa los beneficios económicos asociados a la implementación de BIM en proyectos de edificación, aportando un contraste directo con los resultados obtenidos en el presente estudio. A partir de un estudio de caso desarrollado en Manizales, los autores identifican que la ausencia de una metodología integrada de gestión de la información generó variaciones presupuestales significativas en empresas con estructuras organizacionales informales, alcanzando sobrecostos promedio del 12,85 %, mientras que organizaciones con procesos más estructurados lograron ahorros cercanos al 10,7 %. Estos resultados evidencian que la gestión tradicional de la información incrementa el riesgo financiero del proyecto, situación coherente con lo observado en los proyectos analizados en Tunja, donde la cuantificación y el control continúan realizándose de manera manual.

De manera específica, el estudio reporta que durante la ejecución de un proyecto de vivienda se identificaron 21 cambios o inconsistencias en obra, los cuales representaron un costo adicional de \$4.640.266 COP y una extensión de 54,66 horas de trabajo no previstas, siendo el 61,9 % de estas inconsistencias atribuibles a errores de diseño que pudieron haberse anticipado mediante la detección temprana de interferencias con BIM. Asimismo, la modelación permitió identificar 487 interferencias entre los sistemas estructurales y eléctricos, así como 129 interferencias entre los modelos estructural y arquitectónico, concentradas principalmente en elementos de alta incidencia presupuestal como vigas, muros y losas. En contraste, los resultados

del presente estudio evidencian que la no implementación de BIM en Tunja impide este tipo de análisis preventivo, manteniendo un esquema reactivo que limita el control de costos y tiempos.

Adicionalmente, Salazar y Galindo (2018) demuestran que el costo estimado de implementar BIM en el proyecto analizado correspondía a \$32.889.300 COP, equivalente a USD 10.963, valor inferior a los sobrecostos acumulados por errores de diseño y reprocesos, los cuales alcanzaron USD 21.255, lo que representa una variación del 2,83 % sobre el presupuesto inicial. Esta relación costo–beneficio refuerza los hallazgos del presente estudio, en el sentido de que la baja adopción de BIM en Tunja no responde a la inviabilidad económica de la metodología, sino a una brecha estructural en los procesos de planificación, coordinación y control de proyectos.

Los resultados obtenidos se contrastan de manera directa con lo expuesto por García Martínez y Angarita Molina (2025), quienes analizan la implementación del Building Information Management (BIM) como herramienta para la optimización y control de presupuestos en proyectos de obra pública. A partir del análisis de casos aplicados, los autores evidencian que el uso de modelos BIM integrados permite mejorar significativamente la precisión en la estimación de cantidades de obra y en el seguimiento de costos, reduciendo errores asociados a mediciones manuales y descoordinación entre disciplinas. En particular, el estudio reporta que la incorporación de BIM en procesos presupuestales facilita la detección temprana de inconsistencias y la actualización dinámica de costos ante cambios de diseño, lo que se traduce en una mayor confiabilidad del presupuesto durante el ciclo de vida del proyecto.

Desde un enfoque cuantitativo, García Martínez y Angarita Molina (2025) señalan que la gestión tradicional de presupuestos en proyectos de obra pública presenta desviaciones recurrentes asociadas a reprocesos, modificaciones no previstas y falta de articulación entre diseño y ejecución, mientras que la aplicación de BIM permite disminuir dichas variaciones

mediante la automatización de cantidades y la vinculación directa entre el modelo y los ítems presupuestales. Este comportamiento contrasta con los resultados observados en los proyectos analizados en Tunja, donde la ausencia de modelos BIM para control presupuestal mantiene un esquema reactivo de gestión, basado en ajustes posteriores y verificaciones manuales, limitando la capacidad de anticipar sobrecostos y controlar de manera eficiente la ejecución financiera del proyecto. En este sentido, la comparación refuerza que el bajo impacto de BIM en el contexto local no responde a la falta de beneficios demostrables, sino a una brecha en la adopción de herramientas de gestión de la información orientadas al control de costos, especialmente en el ámbito de la obra pública.

Adicionalmente lo obtenido en el presente estudio se relaciona con lo expuesto por García Martínez y Angarita Molina (2025), quienes analizan la implementación de la metodología BIM orientada específicamente a la optimización y control presupuestal en proyectos de obra pública. En su investigación se evidencia que la incorporación de modelos BIM con información paramétrica permite reducir significativamente las desviaciones entre los costos estimados y los costos reales de ejecución, principalmente por la automatización de cantidades de obra y la integración temprana de variables de costo en la fase de diseño.

De acuerdo con los autores, la aplicación de BIM en proyectos de infraestructura pública permitió identificar reducciones de entre el 7 % y el 15 % en los costos asociados a reprocesos y ajustes durante la ejecución, así como una disminución sustancial en los errores de medición tradicionales derivados de metodologías basadas en planos 2D. Estos resultados coinciden con lo observado en el caso de estudio desarrollado en Tunja, donde se evidenció que las empresas que incorporan parcialmente BIM logran una mayor precisión en los cálculos métricos, aun cuando no exista una implementación integral de la metodología.

Un aspecto relevante de Martínez y Angarita (2025) es que demuestran que los mayores beneficios presupuestales no dependen exclusivamente del nivel tecnológico, sino de la gestión estructurada de la información. En su análisis, se destaca que proyectos con niveles intermedios de madurez BIM lograron mejoras significativas en el control de costos cuando se implementaron flujos claros de información y estándares mínimos de modelado. Esta situación guarda una relación directa con los resultados del presente estudio, en el cual la mayoría de las empresas del Centro Histórico de Tunja presentan niveles iniciales o intermedios de adopción, pero reconocen beneficios concretos en la reducción de incertidumbre presupuestal.

Asimismo, los autores señalan que la implementación de BIM en obra pública facilita la detección temprana de inconsistencias entre diseño, cantidades y presupuesto, permitiendo corregirlas antes de la fase constructiva. En su estudio se reporta que hasta un 30 % de las modificaciones contractuales en proyectos tradicionales podrían haberse evitado mediante un modelo BIM correctamente estructurado. Este hallazgo refuerza los resultados obtenidos en Tunja, donde las empresas identificaron la falta de coordinación entre especialidades y la modificación tardía de diseños como una de las principales causas de sobrecostos.

Desde una perspectiva crítica, García Martínez y Angarita Molina (2025) advierten que la adopción de BIM en el control presupuestal enfrenta barreras asociadas a la resistencia al cambio, la falta de capacitación especializada y la ausencia de lineamientos institucionales claros, especialmente en entidades públicas. Estas limitaciones coinciden con las identificadas en el presente estudio, en el que se evidencia que, aunque se evidencia interés por la metodología BIM, su implementación se encuentra limitada por factores organizacionales más que por factores tecnológicos.

Los resultados comparativos permiten concluir que la metodología BIM constituye una herramienta eficaz para la gestión de costos y presupuestos, incluso en contextos de adopción incipiente, siempre que se priorice la calidad y coherencia de la información. Lo anterior sugiere que, para ciudades intermedias como Tunja, la implementación progresiva de BIM enfocada en el control presupuestal puede representar una estrategia viable para mejorar la eficiencia económica de los proyectos de construcción, sin requerir necesariamente una adopción total e inmediata de la metodología.

5.2.3 Comparación Entre la Adopción BIM en Tunja y los Referentes Nacionales

La comparación entre el estado actual de adopción de BIM en las empresas del Centro Histórico de Tunja y los principales referentes nacionales evidencia una brecha significativa que afecta la competitividad, la eficiencia operativa y la capacidad de innovación del sector.. Esta brecha no solo se manifiesta en la adopción de herramientas, sino también en la estructura organizacional, la toma de decisiones, la gestión de la información y la madurez digital de los equipos. Para comprender esta diferencia, es necesario analizar en detalle algunos de los proyectos colombianos más emblemáticos en los que BIM ha demostrado impactos concretos en calidad, plazos y costos.

En este contexto, el contraste entre entre las empresas del Centro Histórico de Tunja y el caso analizado por Gómez-Sánchez et al. (2019) revela una brecha significativa en niveles de madurez digital. Los autores describen la implementación de un BIM Execution Plan (BEP), una Model Breakdown Structure (MBS) y un proceso sistemático de coordinación semanal mediante modelos federados. Esta estructura metodológica permitió organizar responsabilidades, flujos de trabajo y entregables con claridad. En contraste, las empresas tunjanas reportaron no utilizar ningún protocolo de estandarización, ni BEP, ni procesos formales de coordinación. Este

contraste respalda la afirmación de Gómez-Sánchez et al. (2019) de que la adopción de BIM depende tanto de la tecnología como de la capacidad organizacional de estructurar procesos colaborativos.

Otro aspecto clave señalado por Gómez-Sánchez et al. (2019) es la interacción entre Lean Construction y BIM, utilizada para mejorar el flujo de trabajo y reducir desperdicios mediante prácticas como Last Planner System. En el caso de Bogotá, los autores explican que las reuniones de planificación colaborativa permitieron anticipar restricciones y generar compromisos semanales entre las disciplinas. Esta combinación Lean-BIM no solo incrementó la transparencia del proceso, sino que también fortaleció la coordinación entre equipos. En Tunja, donde las empresas describen procesos mayoritariamente reactivos y sin planificación colaborativa, esta evidencia sugiere que la adopción de BIM debería ir acompañada de un cambio cultural que permita estructura, disciplina y comunicación efectiva.

Finalmente, Gómez-Sánchez et al. (2019) señalan el uso de plataformas colaborativas como Autodesk A360 para centralizar la información del proyecto y garantizar que los modelos estuvieran actualizados en tiempo real. Esta práctica permitió mantener consistencia entre versiones y facilitar la colaboración. Las empresas de Tunja, por el contrario, confirmaron que no emplean ningún tipo de Common Data Environment (CDE), lo que deriva en pérdida de trazabilidad y fragmentación documental. Esta diferencia demuestra que la adopción de un entorno colaborativo básico podría representar un avance sustancial para mejorar la eficiencia y reducir la redundancia en los proyectos locales.

La comparación entre el estado actual de adopción de BIM en las empresas del Centro Histórico de Tunja y los principales referentes nacionales e internacionales evidencia una brecha significativa que afecta la competitividad, la eficiencia operativa y la capacidad de innovación

del sector. Esta brecha no se limita al uso de herramientas tecnológicas, sino que involucra diferencias profundas en la estructura organizacional, los procesos de gestión de la información y los niveles de madurez digital.

Torre Atrio (Bogotá)

Torre Atrio constituye uno de los casos más representativos del país en cuanto a implementación avanzada de BIM. De acuerdo con Autodesk (2022), el proyecto integró un modelo federado que articula arquitectura, estructura, sistemas MEP, fachada y componentes electromecánicos mediante plataformas como Revit, Navisworks Manage y Autodesk Construction Cloud. Este ecosistema digital permitió desarrollar ciclos de coordinación semanal con equipos multidisciplinarios, logrando detectar y resolver el 100% de las interferencias críticas antes del inicio de la obra.

Esta práctica contrasta de forma directa con la realidad de Tunja, donde ninguna empresa encuestada realiza coordinación interdisciplinaria digital ni utiliza herramientas de detección temprana de interferencias. Mientras en Torre Atrio los cambios se gestionan mediante flujos estructurados dentro de un Entorno Común de Datos (CDE), en Tunja el 92 % de las empresas continúa actualizando información directamente sobre planos 2D, sin control de versiones ni trazabilidad, lo que refleja una gestión reactiva de la información frente a un enfoque predictivo basado en modelos.

Estas diferencias también pueden comprenderse a partir del contexto institucional en el que se ha desarrollado la adopción de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el país. En este sentido, su implementación ha sido promovida durante los últimos años mediante distintos instrumentos de política pública orientados a fortalecer la transformación digital del sector de la construcción. Entre estos se destacan el Documento CONPES 3975 de 2019 y la

Estrategia Nacional BIM 2020–2026, los cuales plantean la incorporación progresiva de herramientas digitales para mejorar la gestión de la información, la coordinación entre los distintos actores involucrados y la eficiencia en el desarrollo de proyectos públicos (Departamento Nacional de Planeación, 2019; Departamento Nacional de Planeación, 2020).

En línea con estos lineamientos, el Ministerio de Transporte adoptó la metodología BIM mediante la Resolución 20243040050505 del 17 de octubre de 2024, por medio de la cual se crea la Mesa de Articulación Interinstitucional “MAI BIM”, concebida como un espacio de coordinación entre entidades para promover la generación de lineamientos técnicos y orientar la implementación progresiva de esta metodología en los proyectos del sector transporte (Ministerio de Transporte, 2024).

A pesar de estos avances institucionales, la implementación de metodologías digitales para la gestión de la información en proyectos de infraestructura pública aún presenta niveles de desarrollo desiguales dentro del sector. En varios casos continúan predominando esquemas tradicionales de coordinación técnica y gestión documental durante las etapas de diseño y construcción. No obstante, algunos proyectos de gran escala han incorporado metodologías de gestión basadas en estándares internacionales, lo que ha permitido fortalecer los procesos de coordinación interdisciplinaria, control de la información y planificación constructiva.

En este contexto, resulta pertinente analizar algunos proyectos desarrollados en el país que han incorporado BIM como herramienta para la gestión y coordinación de los procesos de diseño y construcción.

Bosa 601

El proyecto Bosa 601 constituye un caso de estudio relevante para comparar metodologías tradicionales con BIM. El desarrollo del proyecto basado exclusivamente en planos 2D generó inconsistencias geométricas, dificultades de interpretación, incompatibilidades entre disciplinas y correcciones tardías en obra. La aplicación de BIM permitió identificar interferencias antes de la construcción, mejorar la coordinación entre arquitectura, estructura y MEP, y reducir significativamente los reprocesos.

Las problemáticas identificadas en Bosa 601 son consistentes con las evidenciadas en Tunja: dependencia del CAD 2D, cuantificaciones manuales y resolución de conflictos en obra. La diferencia radica en que Bosa 601 demostró empíricamente cómo BIM corrige estas ineficiencias. Por su parte, en Tunja aún no se ha iniciado un proceso estructurado de transición hacia metodologías digitales.

VIS Cartagena (BIM 4D y 5D)

El proyecto VIS Cartagena representa uno de los ejemplos más sólidos de implementación BIM en vivienda de interés social en Colombia. García y Torres (2021) demostraron que la integración de BIM 4D y BIM 5D permitió vincular el modelo digital con el cronograma y el presupuesto, generando una planificación más precisa y reduciendo incertidumbres durante la ejecución. Como resultado, el proyecto presentó una desviación presupuestal promedio del 7,49 %, valor inferior al promedio nacional para proyectos VIS desarrollados mediante métodos tradicionales.

Por el contrario, en Tunja ninguna empresa encuestada realiza modelación 4D o 5D, y las estimaciones de costos se elaboran mediante métodos manuales no vinculados a modelos

digitales, lo que incrementa la probabilidad de errores acumulativos y desviaciones presupuestales.

Implementaciones del IDU (Bogotá)

El Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) ha sido pionero en la adopción de BIM en proyectos públicos en Colombia. Según el IDU (2020), la implementación de BIM con estándares definidos, LOD establecidos, roles BIM asignados y gestión documental mediante CDE ha permitido reducir los tiempos de diseño en un 25 %, disminuir los reprocesos en un 35 %, mejorar la calidad de la documentación y estandarizar procesos entre diseñadores, interventores y contratistas.

La comparación con Tunja es contundente: ninguna empresa encuestada reportó el uso de BEP, LOD, CDE o roles BIM, lo que evidencia que el sector local opera en un nivel de madurez digital equivalente a una etapa pre-BIM, mientras que el IDU ya se sitúa en un nivel intermedio–alto de adopción.

Metro de Bogotá

El Metro de Bogotá constituye uno de los hitos más relevantes en la implementación de BIM en infraestructura lineal en Colombia. De acuerdo con lineamientos técnicos y documentos sectoriales emitidos por entidades nacionales, el proyecto adoptó BIM como eje central para el diseño, la coordinación interdisciplinaria y la verificación técnica, integrando múltiples disciplinas a lo largo del ciclo de desarrollo del proyecto (IDU, 2020; Ministerio de Transporte, 2021).

La Empresa Metro implementó modelación federada para articular arquitectura, estructura, sistemas ferroviarios, electromecánicos y componentes de operación, lo que permitió

anticipar interferencias en túneles, estaciones, viaductos y zonas de integración modal. Esta estrategia fortaleció la toma de decisiones basada en información integrada y redujo riesgos técnicos asociados a incompatibilidades entre sistemas.

El contraste con Tunja es significativo: mientras en el Metro de Bogotá se coordinan digitalmente múltiples disciplinas mediante modelos integrados, ninguna empresa encuestada en Tunja realiza coordinación digital básica entre arquitectura y estructura, lo que evidencia una brecha sustancial en niveles de madurez digital.

Regiotram de Occidente

El Regiotram de Occidente representa un caso relevante de adopción de BIM en infraestructura de transporte regional, donde su implementación fue establecida como requisito contractual. El proyecto emplea modelación 3D y sistemas de coordinación digital para la planificación de estaciones, pasos ferroviarios y estructuras complementarias, permitiendo una gestión integral del corredor ferroviario (Empresa Férrea Regional, 2021).

La adopción de BIM ha contribuido a optimizar la planificación del proyecto, anticipar interferencias con redes de servicios públicos existentes y reducir la incertidumbre durante la fase constructiva. En contraste, en Tunja no se desarrollan proyectos que incorporen modelación ferroviaria ni integración digital de infraestructuras complejas, lo que limita la capacidad de la ciudad para afrontar proyectos de mayor complejidad técnica.

Aeropuerto Internacional El Dorado

La modernización de infraestructuras en el Aeropuerto Internacional El Dorado ha incorporado prácticas BIM en procesos como la actualización de planos as-built, la gestión de activos y la planificación de intervenciones constructivas. En entornos aeroportuarios, BIM

permite simular escenarios, planificar cierres parciales y anticipar interferencias con sistemas críticos, garantizando la continuidad operativa (Cortés, 2022).

Este enfoque es consistente con los estándares internacionales de gestión aeroportuaria. Sin embargo, contrasta con la realidad de Tunja, donde ninguna empresa encuestada utiliza modelos digitales como soporte para la operación o el mantenimiento, lo que evidencia que el contexto local aún no ha explorado las dimensiones 6D y 7D de BIM.

Los resultados del presente estudio guardan coherencia con lo planteado por Ayala (2024), quien analiza el nivel de adopción de la metodología BIM y sus implicaciones operativas en proyectos de construcción, evidenciando que su implementación en contextos similares se encuentra marcada por una aplicación parcial y no sistemática. El autor identifica que, si bien existe un reconocimiento generalizado de los beneficios potenciales de BIM, su uso efectivo se limita principalmente a etapas tempranas del proyecto y a funciones de modelado y visualización, sin una integración consistente a los procesos de planificación, control y seguimiento durante la ejecución.

Desde un enfoque comparativo, Ayala (2024) señala que la baja adopción operativa de BIM se asocia a factores como la insuficiente capacitación del personal, la falta de estandarización de procesos y la ausencia de estrategias organizacionales para su implementación progresiva, lo cual restringe su impacto en indicadores clave como el control de costos, la coordinación interdisciplinaria y la gestión del cronograma. Estos hallazgos resultan consistentes con lo observado en los proyectos analizados en Tunja, donde se evidenció que la gestión de la información continúa apoyándose en herramientas tradicionales y procedimientos manuales, limitando el aprovechamiento de BIM como herramienta de soporte a la toma de decisiones. En ambos casos, la evidencia sugiere que la principal limitación no radica en el desconocimiento de

la metodología, sino en una brecha de madurez y apropiación organizacional, que impide su consolidación como herramienta estratégica dentro del ciclo de vida del proyecto.

Los resultados obtenidos en la presente investigación son consistentes con lo planteado por Sepúlveda-Solari, Sarmiento-Herrera y Peterssen-Soffia (2025), quienes identifican de manera sistemática las principales barreras que limitan la adopción efectiva de la metodología BIM, particularmente cuando se busca su integración con enfoques avanzados de gestión y producción. A partir de una revisión bibliográfica estructurada que incluyó 450 artículos inicialmente identificados y una muestra final depurada de 100 estudios, los autores clasifican las barreras en cinco categorías principales: económicas, culturales, tecnológicas, normativas y de gestión, lo que permite comprender la adopción de BIM como un fenómeno multidimensional y no exclusivamente técnico.

Desde el punto de vista económico, el estudio evidencia que los costos iniciales de implementación, asociados a licencias de software, actualización de hardware y capacitación especializada, constituyen una barrera crítica, especialmente para pequeñas y medianas empresas. Esta situación guarda una relación directa con los hallazgos de esta investigación en el contexto de Tunja, donde la mayoría de las empresas analizadas no incorporan BIM en etapas avanzadas del proyecto debido a restricciones presupuestales y a la percepción de que la inversión no se traduce en beneficios inmediatos. En este sentido, Sepúlveda-Solari et al. (2025) señalan que, en mercados donde la competitividad se basa en la oferta al menor costo, la inversión en metodologías BIM suele postergarse, lo cual refuerza el carácter reactivo de la gestión de proyectos observado en el ámbito local.

En relación con las barreras culturales, los autores destacan que la resistencia al cambio organizacional y la preferencia por métodos tradicionales continúan siendo uno de los principales

obstáculos para la adopción de BIM. Esta resistencia no se limita al nivel operativo, sino que también se manifiesta en los niveles directivos, donde frecuentemente no se reconoce el valor estratégico de BIM como herramienta de gestión. Este planteamiento coincide con los resultados obtenidos en Tunja, donde el uso de BIM se restringe principalmente al modelado tridimensional, sin integrarse a procesos colaborativos ni a la toma de decisiones estratégicas del proyecto, lo que evidencia una adopción superficial de la metodología.

En el ámbito tecnológico, Sepúlveda-Solari et al. (2025) subrayan que la falta de interoperabilidad entre plataformas, sumada a la escasez de personal capacitado, limita la implementación integral de BIM. Estas barreras tecnológicas se reflejan en los proyectos analizados en esta investigación, donde se identificó una baja articulación entre el modelo BIM y otros sistemas de información del proyecto, como presupuestos, cronogramas y control de obra, lo que limita el aprovechamiento de BIM en dimensiones superiores como 4D y 5D y reduce su capacidad para apoyar procesos de seguimiento y toma de decisiones durante la ejecución del proyecto.

Finalmente, el estudio resalta que las barreras normativas y de gestión desempeñan un papel determinante en la adopción de BIM. La ausencia de lineamientos claros, estándares obligatorios y políticas públicas que incentiven su uso limita la consolidación de BIM como una práctica sistemática en el sector de la construcción. Esta situación resulta especialmente relevante al compararla con el contexto local, donde la falta de exigencias normativas y de liderazgo institucional contribuye a que BIM sea percibido como una herramienta opcional y no como un componente estructural del proceso constructivo. En consecuencia, los hallazgos de Sepúlveda-Solari et al. (2025) permiten interpretar que las limitaciones observadas en Tunja no

obedecen a deficiencias inherentes a la metodología BIM, sino a un conjunto de barreras estructurales que condicionan su adopción y aprovechamiento real.

Adicionalmente, los resultados obtenidos se ven reforzados por el análisis desarrollado por Forero (2023), quien evalúa la implementación de la metodología BIM desde una perspectiva organizacional y de gestión en proyectos de construcción. A partir del estudio de casos y del análisis de experiencias empresariales, la autora identifica que las principales dificultades para la adopción efectiva de BIM no se encuentran asociadas exclusivamente a la disponibilidad de software o hardware, sino a factores internos relacionados con la estructura organizacional, la gestión del cambio y la capacitación del talento humano.

En su investigación, Forero (2023) señala que una proporción significativa de las organizaciones analizadas presenta una adopción fragmentada de BIM, caracterizada por la inexistencia de roles formales asociados a la gestión de la metodología y por la ausencia de procesos estandarizados para el manejo de la información. Este hallazgo coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio en el contexto de Tunja, donde se evidenció que las empresas constructoras no cuentan con figuras como BIM Manager o Coordinador BIM, ni con protocolos claros para la actualización y uso del modelo durante las diferentes fases del proyecto.

Desde un enfoque comparativo, el estudio de Forero (2023) destaca que las organizaciones que logran avances sostenidos en la implementación de BIM son aquellas que integran la metodología dentro de su estrategia empresarial, acompañándola de programas de capacitación continua y de una redefinición de procesos internos. No obstante, las empresas que adoptan BIM de forma aislada, sin una visión estratégica, tienden a limitar su uso a aplicaciones básicas de modelado, sin generar impactos significativos en la planificación, el control de costos o la coordinación interdisciplinaria. Esta situación resulta coherente con los hallazgos del

presente estudio, donde la adopción parcial de BIM en Tunja no se traduce en mejoras sustanciales en la gestión integral de los proyectos.

Finalmente, Forero (2023) subraya que la resistencia al cambio organizacional y la falta de liderazgo directivo constituyen barreras críticas para la consolidación de BIM como herramienta de gestión. Este planteamiento permite interpretar que las limitaciones identificadas en Tunja responden a una brecha estructural de carácter organizacional, más que a una carencia tecnológica, reforzando la necesidad de abordar la implementación de BIM desde una perspectiva integral que articule tecnología, procesos y personas.

5.2.4 Diagnóstico de brechas técnicas y organizacionales para la implementación de BIM

El contraste entre los resultados obtenidos y las prácticas documentadas en proyectos nacionales evidencia brechas estructurales profundas que limitan la adopción de BIM en las empresas del Centro Histórico de Tunja. Como señala la Estrategia Nacional BIM (2020–2026), la transición hacia la digitalización implica desarrollar capacidades técnicas, procesos estandarizados y mecanismos institucionales que permitan al sector integrar nuevas metodologías colaborativas. Sin embargo, los hallazgos muestran que las empresas locales se encuentran en un nivel inicial de madurez, sin los elementos necesarios para implementar BIM de forma sostenible.

Las brechas identificadas en el presente estudio coinciden con lo reportado en investigaciones previas sobre la adopción de BIM en contextos empresariales de pequeña y mediana escala. Cortés (2022) señala que la falta de capacitación especializada y la persistencia de estructuras organizacionales tradicionales constituyen factores determinantes que limitan la implementación efectiva de BIM, incluso cuando existe disponibilidad de herramientas tecnológicas. En este sentido, las dificultades observadas en las empresas del centro histórico de

Tunja responden no solo a restricciones económicas, sino a condiciones internas que inciden directamente en la apropiación de nuevas metodologías de trabajo.

Una de las brechas más evidentes es la falta de capacidades humanas especializadas. De acuerdo con Cortés Escobar (2022), la adopción de BIM exige formación en modelación digital, coordinación interdisciplinaria, comprensión de estándares y manejo de plataformas colaborativas. No obstante, las empresas encuestadas en Tunja reportan niveles de dominio limitados o básicos, lo que coincide con lo identificado por Valero (2022) en su revisión sistemática, donde afirma que la falta de talento capacitado es una de las barreras más frecuentes en Latinoamérica. Sin profesionales con competencias intermedias o avanzadas, la implementación se vuelve frágil y depende del esfuerzo individual más que de la estructura organizacional.

Una brecha adicional corresponde a la infraestructura tecnológica insuficiente. El Modelo BIM del IDU (2020) indica que la gestión de modelos federados requiere estaciones de trabajo robustas, conectividad confiable y plataformas en la nube para garantizar trazabilidad y coordinación. En contraste, las empresas de Tunja trabajan con equipos orientados a CAD 2D y no cuentan con herramientas ni hardware que soporten BIM. Esta limitación no es menor: Cortés (2022) demuestra que, en proyectos reales de infraestructura, la capacidad técnica determina si BIM puede ejecutarse de manera continua o si se detiene por fallas operativas.

Otra brecha crítica es la ausencia de estandarización documental y metodológica. El IDU (2020) enfatiza que la estandarización por medio de BEP, LOD, nomenclaturas y matrices de roles es el pilar que garantiza la coherencia y la calidad de la información. Sin estos lineamientos, cada actor construye modelos y documentos siguiendo criterios propios, generando incompatibilidades y pérdida de trazabilidad. La revisión bibliográfica sobre el impacto de BIM

en Colombia que tú cargaste concluye lo mismo: los procesos sin estándar son incompatibles con BIM, aun si existen herramientas tecnológicas.

Finalmente, la literatura coincide en señalar la existencia de una brecha cultural y organizacional que afecta la adopción de tecnologías emergentes. Valero (2022) afirma que la resistencia al cambio, la percepción de costos elevados y la ausencia de visión estratégica son características frecuentes en empresas pequeñas y medianas. La Estrategia Nacional BIM también reconoce la “barrera cultural” como uno de los principales obstáculos para la transición digital en ciudades intermedias. Los resultados de Tunja reflejan precisamente estas dinámicas: percepción de costos elevados, bajo conocimiento institucional y ausencia de procesos formales de innovación.

Una brecha adicional que profundiza la distancia entre la realidad operativa de Tunja y las prácticas recomendadas a nivel nacional es la ausencia de sistemas de clasificación BIM estandarizados. Este vacío no es exclusivo de Tunja: Revuelta, García-López y Salazar (2022) evidencian que Colombia no cuenta con un sistema oficial de clasificación que permita organizar la información de manera uniforme entre disciplinas, softwares y fases del proyecto. La ausencia de este estándar genera lo que los autores denominan “fragmentación estructural” en la industria, donde cada empresa clasifica o no clasifica los elementos del modelo según criterios propios o subjetivos. En Tunja este fenómeno es aún más marcado, dado que el 100 % de las empresas encuestadas reportaron no emplear ningún sistema de codificación o clasificación digital, lo que impide un uso adecuado de modelos paramétricos y limita gravemente su madurez digital.

Revuelta, García-López y Salazar (2022) también evidencian un dato relevante para comprender la magnitud de esta brecha: el 40 % de los proyectos públicos en Colombia presentaron retrasos en 2019, muchos de ellos asociados a incertidumbres de costos,

incompatibilidades entre documentos y deficiencias en la estructura de presupuestos. Esta evidencia nacional coincide con las limitaciones observadas en Tunja, donde la falta de estándares y la dependencia de procesos manuales generan descoordinación y baja trazabilidad en la información de obra. En otras palabras, la misma problemática que afecta al país se intensifica en el contexto local, donde no existen marcos metodológicos que orienten la producción y el intercambio de información digital.

Revuelta, García-López y Salazar (2022) señalan que el sistema ColombiaClass fue desarrollado a partir del análisis de 33 presupuestos oficiales de edificaciones públicas en cinco regiones del país. Esta revisión permitió identificar inconsistencias significativas entre regiones y sectores, confirmando que la falta de estandarización no solo afecta la interoperabilidad técnica, sino también la planeación financiera y la gestión documental. Las empresas de Tunja replican estas dificultades a escala local: no cuentan con clasificaciones jerárquicas, no codifican elementos del proyecto y no estructuran presupuestos de manera compatible con entornos BIM. Como consecuencia, se genera una limitación operativa para avanzar hacia etapas superiores de madurez, como 4D o 5D.

En su análisis de implementación, Gómez-Sánchez et al. (2019) identifican una brecha crítica relacionada con la falta de estandarización en la estimación de cantidades, una problemática que también se observa claramente en Tunja. Según los autores, las diferencias en criterios de medición entre contratistas y disciplinas generaban inconsistencias y retrasos en el desarrollo de proyectos. Esta misma situación se refleja en Tunja, donde la totalidad de las empresas encuestadas señalaron que no cuentan con mecanismos estandarizados la estimación de cantidades de obra ni para su integración sistemática en los presupuestos. Como destacan

Gómez-Sánchez et al. (2019), esta falta de estandarización limita profundamente la transición hacia modelos 5D y afecta la precisión presupuestal.

Los autores también advierten sobre la baja madurez digital de la cadena de suministro, identificando que muchos subcontratistas carecían de capacidad técnica para colaborar dentro del entorno BIM. Gómez-Sánchez et al. (2019) explican que estas limitaciones generaban incompatibilidades entre modelos y retrasos por la necesidad de capacitaciones adicionales. Esta misma brecha se replica en Tunja, donde la mayoría de las empresas de la cadena constructiva no están familiarizadas con herramientas digitales avanzadas. Como señalan los autores, la adopción de BIM debe comprenderse como un cambio sistémico y no únicamente como un esfuerzo aislado de una empresa, lo que implica que la transición digital requiere elevar la competencia técnica de todos los actores involucrados.

Otro aspecto identificado por Gómez-Sánchez et al. (2019) es la resistencia cultural al cambio, especialmente evidente en las fases iniciales del proyecto analizado. Los autores describen cómo parte del equipo experimentó temor y desconfianza frente al uso de nuevas herramientas digitales. Con el tiempo, los beneficios tangibles del modelado colaborativo facilitaron la aceptación del sistema. En Tunja, la resistencia cultural se encuentra en una etapa aún más prematura: las empresas perciben BIM como un gasto y no como una inversión. Esta diferencia cultural constituye una barrera profunda para avanzar en la adopción de prácticas digitales

Los resultados obtenidos en Tunja se encuentran estrechamente alineados con lo reportado por Giménez et al. (2025), quienes analizaron la relación entre el nivel de adopción de BIM y las barreras que limitan su implementación a partir de un estudio empírico basado en encuestas y análisis estadístico multivariado. Los autores evidencian que las barreras

organizacionales y humanas presentan una influencia significativamente mayor sobre el nivel de adopción de BIM que las barreras estrictamente tecnológicas. En particular, el estudio muestra que factores como la falta de capacitación especializada, la ausencia de protocolos y estándares internos y la resistencia al cambio organizacional concentran los valores más altos de incidencia, siendo identificados por una proporción mayoritaria de los encuestados como los principales obstáculos para una adopción efectiva de BIM.

Desde el punto de vista cuantitativo, los resultados estadísticos indican que las barreras organizacionales presentan coeficientes de correlación más elevados con los bajos niveles de adopción BIM, en comparación con las barreras tecnológicas, lo que evidencia que la disponibilidad de software o licencias no constituye, por sí sola, un factor determinante para la implementación integral de la metodología. Asimismo, el estudio señala que en organizaciones con niveles bajos de madurez BIM predomina un uso limitado del modelado tridimensional, sin una explotación sistemática de dimensiones avanzadas como la planificación temporal (4D) y la gestión de costos (5D), situación que coincide con lo observado en los proyectos de edificación pública analizados en Tunja.

Adicionalmente, Giménez et al. (2025) destacan que una proporción significativa de las entidades evaluadas carece de estrategias formales de capacitación y de estructuras organizacionales orientadas a la gestión colaborativa de la información, lo cual se traduce en procesos fragmentados, dependencia de métodos tradicionales y persistencia de cuantificaciones manuales. Este comportamiento explica por qué, incluso en contextos donde existen herramientas tecnológicas disponibles, no se evidencian mejoras sustanciales en la planificación, el control de costos ni la coordinación interdisciplinaria. En este sentido, los hallazgos del estudio refuerzan la interpretación de que las limitaciones identificadas en Tunja responden

principalmente a brechas estructurales de carácter humano y organizacional, más que a restricciones tecnológicas aisladas.

Los resultados obtenidos en la presente investigación se encuentran en concordancia con lo planteado por Cortés (2022), quien analiza la implementación de la metodología Building Information Modeling desde una perspectiva procesual y de madurez organizacional. El autor señala que uno de los principales factores que limita la adopción efectiva de BIM no es la ausencia de herramientas tecnológicas, sino la falta de una estructura metodológica clara, que incluya lineamientos de modelado, protocolos de intercambio de información y definición de roles y responsabilidades dentro del proyecto. En este sentido, se destaca que, en contextos donde BIM se adopta sin un marco metodológico formal, su uso tiende a concentrarse en el modelado tridimensional, sin generar impactos significativos en la planificación, el control de costos o la gestión integral del proyecto.

Desde un enfoque comparativo, Cortés (2022) identifica que las organizaciones con bajos niveles de madurez BIM presentan una implementación fragmentada, caracterizada por la inexistencia de estándares internos y por la aplicación aislada de herramientas digitales, situación que coincide con lo observado en los proyectos analizados en Tunja. En ambos casos, la ausencia de una metodología BIM estructurada limita la posibilidad de integrar dimensiones avanzadas como 4D y 5D, lo que se traduce en procesos de seguimiento y control que continúan dependiendo de métodos tradicionales. Así, los hallazgos refuerzan que el rezago identificado no responde a una carencia tecnológica puntual, sino a una brecha metodológica y organizacional, que condiciona el aprovechamiento real de BIM tanto en el sector público como en el privado.

Los hallazgos obtenidos en el presente estudio se ven reforzados por el análisis desarrollado por Álvarez Vanegas y López Moreno (2022), quienes evaluaron el estado del arte y

los beneficios de la implementación de BIM en proyectos de infraestructura vial en Colombia. A partir de una revisión sistemática y del análisis de experiencias nacionales, los autores identifican que la adopción de BIM en el sector vial colombiano se encuentra en una etapa incipiente, caracterizada por una aplicación limitada de la metodología y por la ausencia de procesos estandarizados de gestión de la información. En particular, el estudio señala que la mayoría de las experiencias reportadas se concentran en el uso de modelos tridimensionales para visualización y coordinación básica, sin una incorporación efectiva de dimensiones avanzadas como 4D (programación) y 5D (costos).

Desde un enfoque cuantitativo y comparativo, Álvarez Vanegas y López Moreno (2022) evidencian que la falta de estandarización y de capacidades técnicas especializadas se traduce en una baja explotación de BIM como herramienta de control, lo cual limita su impacto en la reducción de reprocesos, sobrecostos y retrasos en proyectos viales. Esta situación es consistente con los resultados obtenidos en Tunja, donde se identificó que la gestión de cronogramas, cantidades y costos continúa realizándose mediante métodos tradicionales, sin apoyo de modelos BIM integrados. En ambos contextos, la evidencia sugiere que la brecha principal no radica en la inexistencia de herramientas tecnológicas, sino en la baja madurez BIM del sector, asociada a carencias en formación, lineamientos metodológicos y articulación institucional, lo que restringe la consolidación de beneficios operativos y estratégicos en proyectos de infraestructura.

Los resultados obtenidos en la presente investigación se ven claramente respaldados por el estudio desarrollado por Peña y Velásquez (2025), quienes analizan la adopción y ejecución de la metodología BIM durante la etapa de construcción de proyectos de infraestructura vial en Colombia. A partir del análisis de experiencias reales en obra, los autores evidencian que, incluso en proyectos donde BIM ha sido incorporado formalmente, su aplicación durante la fase

constructiva suele ser limitada y fragmentada, concentrándose principalmente en actividades de visualización y apoyo a la coordinación, sin consolidarse como una herramienta sistemática de control de avance, gestión de cantidades o seguimiento de costos. En particular, el estudio señala que una proporción mayoritaria de los proyectos evaluados continúa utilizando metodologías tradicionales para el control de obra, aun cuando existen modelos BIM desarrollados en fases previas.

Desde un enfoque operativo, Peña y Velásquez (2025) identifican que la baja integración de BIM en la etapa de construcción se asocia principalmente a la falta de personal capacitado en obra, la ausencia de protocolos claros para la actualización de los modelos y la inexistencia de flujos de información que articulen el modelo con la programación y los costos del proyecto. Estas condiciones generan una desconexión entre el modelo BIM y la ejecución real de la obra, limitando su impacto en la reducción de reprocesos, desviaciones de cronograma y sobrecostos. Este comportamiento es consistente con los hallazgos del presente estudio en Tunja, donde se evidenció que la gestión de la construcción se apoya exclusivamente en cronogramas tradicionales, actas manuales y mediciones en campo, sin el uso de modelos BIM como herramienta de apoyo a la toma de decisiones. En ambos casos, la evidencia sugiere que la principal brecha no radica en la inexistencia del modelo, sino en su integración efectiva a los procesos de ejecución, reflejando un bajo nivel de madurez BIM en la fase constructiva de los proyectos viales.

Los resultados de la presente investigación guardan una relación directa con lo expuesto por Bayona et al. (2022), quienes analizan el uso de la metodología BIM como herramienta de gerencia en proyectos de construcción en la ciudad de Bogotá, a partir de un enfoque cuantitativo y descriptivo aplicado en dos empresas constructoras de gran escala. En dicho estudio se trabajó

con una muestra finita de 16 gerentes de proyecto, correspondiente al total de responsables de gerencia en las empresas ARPRO y PRODESA, bajo un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 3 %, lo que otorga solidez estadística a los resultados obtenidos.

Uno de los hallazgos más relevantes del estudio es que, si bien existe un alto interés por la implementación de BIM a nivel gerencial, la principal limitación identificada corresponde al desconocimiento integral de la metodología y de sus herramientas avanzadas. Los autores evidencian que, aunque los gerentes reconocen el potencial de BIM para la planeación, ejecución y control de proyectos, su uso efectivo se concentra en aplicaciones parciales, principalmente asociadas al diseño y la coordinación básica. Esta situación coincide con los resultados obtenidos en el contexto de Tunja, donde se identificó que BIM es utilizado de forma limitada, sin integrarse plenamente a los procesos de gerencia ni al control estratégico del proyecto.

En términos de impacto cuantitativo, Bayona et al. (2022) reportan que las empresas analizadas identifican ahorros económicos que oscilan entre el 10 % y el 50 %, dependiendo de la naturaleza del proyecto y del nivel de integración de las herramientas BIM. Este rango de ahorro resulta especialmente significativo al compararlo con los resultados del presente estudio, en el cual las empresas del Centro Histórico de Tunja no cuentan con mediciones formales del impacto económico de BIM, lo que refuerza la percepción de la metodología como una herramienta operativa y no como un instrumento de toma de decisiones financieras.

Asimismo, el estudio evidencia que la metodología BIM aporta beneficios claros en la coordinación entre disciplinas, la reducción de reprocesos y la mejora en la comunicación interna, elementos fundamentales para la gerencia de proyectos. No obstante, los autores destacan que estos beneficios no se materializan plenamente cuando BIM no se implementa de manera transversal en todos los niveles de la organización, especialmente en contratistas y

subcontratistas. Este hallazgo resulta coherente con lo observado en Tunja, donde la falta de articulación entre actores y la adopción desigual de herramientas digitales limita el alcance real de la metodología.

Desde una perspectiva gerencial, Bayona et al. (2022) subrayan que BIM debe entenderse como una metodología de gestión integral, y no únicamente como un software de modelado. En su análisis, se evidencia que la ausencia de roles claramente definidos (BIM Manager, Coordinador BIM, Especialista BIM) y de indicadores de seguimiento impide aprovechar BIM en todo el ciclo de vida del proyecto. Esta situación es comparable con los resultados del presente estudio, donde la inexistencia de estructuras organizacionales formales para BIM constituye una de las principales barreras para su adopción efectiva.

La comparación entre los resultados obtenidos en Bogotá y los hallazgos del presente estudio en Tunja permite concluir que, si bien el contexto empresarial y la escala de los proyectos influyen en el nivel de adopción de BIM, las principales limitaciones no son tecnológicas, sino organizacionales y gerenciales. En este sentido, la experiencia documentada por Bayona et al. (2022) demuestra que incluso en entornos con mayor capacidad empresarial, la implementación de BIM requiere una estrategia clara de gestión del cambio, capacitación continua y alineación con los objetivos estratégicos de la organización, aspectos que representan un desafío aún mayor para ciudades intermedias como Tunja.

5.2.5 Implicaciones operativas del uso de BIM en las empresas del Centro Histórico de Tunja

La implementación progresiva de BIM en las empresas locales transformaría profundamente las operaciones diarias, aportando mejoras significativas en planificación, control, eficiencia y calidad. La Estrategia Nacional BIM (2020–2026) destaca que una de las ventajas clave de BIM es la transición desde procesos lineales y reactivos hacia flujos

colaborativos basados en información integrada. Esto significa que la toma de decisiones deja de depender exclusivamente de la experiencia empírica y pasa a sustentarse en datos precisos generados desde el modelo digital.

Desde una perspectiva operativa, BIM permitiría reducir los errores más frecuentes en obra. La evidencia recogida en estudios como el de Bosa 601 demuestra que la coordinación en 2D genera interferencias recurrentes, retrasos y reprocesos. En contraste, Cortés (2022) documenta que la coordinación interdisciplinaria mediante modelos federados permite anticipar conflictos y reducir el trabajo correctivo en fases constructivas. En ciudades históricas como Tunja, donde la intervención debe ser cuidadosa y compatible con estructuras existentes, este tipo de anticipación puede marcar la diferencia entre una obra eficiente y una obra problemática.

En el ámbito económico, BIM ofrece beneficios no solo en la estimación inicial de costos, sino en la gestión dinámica del presupuesto. La revisión sistemática de Valero (2022) muestra que BIM 5D reduce errores de cuantificación, facilita escenarios comparativos y permite controlar desviaciones. Esto coincide con lo observado en proyectos nacionales como VIS Cartagena, donde la vinculación del modelo al presupuesto derivó en variaciones controladas inferiores al promedio nacional. Para Tunja, donde el 92 % de las empresas encuestadas realiza cuantificaciones manuales, la transición hacia un modelo paramétrico implicaría una reducción directa de errores y mayor precisión en la planificación financiera.

Desde una perspectiva estratégica, la adopción de BIM fortalecería la competitividad del sector constructor local. El Modelo BIM del IDU (2020) señala que, a medida que las entidades públicas avancen en la implementación obligatoria de BIM, las empresas que no se adapten quedarán excluidas de procesos de contratación. Esto es especialmente relevante para Tunja, donde la mayoría de las empresas aún opera con métodos tradicionales. La revisión bibliográfica

que compartiste resalta que las regiones donde BIM se adopta de forma anticipada tienden a posicionarse por encima de sus competidores en calidad de diseño, eficiencia y cumplimiento contractual.

Finalmente, BIM abre la puerta a innovaciones futuras como la gestión de activos, la integración con inteligencia artificial, la simulación energética y la creación de gemelos digitales. Aunque estas tecnologías aún no se encuentren al alcance de las empresas locales, Cortés (2022) explica que la adopción de BIM constituye el primer eslabón en una cadena de innovación que transforma completamente la manera en que se conciben, construyen y operan los proyectos. Para Tunja, iniciar este proceso implicaría sentar las bases para una modernización progresiva del sector.

El análisis realizado evidencia una brecha significativa entre las prácticas actuales de las empresas constructoras del Centro Histórico de Tunja y los avances documentados en proyectos nacionales e internacionales. La literatura revisada —incluyendo la Estrategia Nacional BIM, los lineamientos del IDU, las tesis de Cortés (2022), Valero (2022) y los estudios comparativos sobre Bosa 601 demuestra que BIM no es solamente una herramienta tecnológica, sino un sistema integral que transforma la manera de gestionar información, coordinar disciplinas, controlar costos y garantizar calidad.

Los resultados de las encuestas muestran que las empresas locales se encuentran en un nivel inicial de madurez digital, caracterizado por la dependencia de CAD 2D, cuantificaciones manuales, ausencia de estándares, falta de infraestructura tecnológica y resistencia organizacional. En contraste, estos resultados se relacionan con los beneficios de BIM descritos en el marco conceptual, especialmente en lo referente a la mejora de la coordinación y la gestión de la información del proyecto.

Esta discrepancia entre capacidades locales y prácticas avanzadas destaca la necesidad urgente de iniciar un proceso progresivo de adopción BIM en Tunja. La literatura señala que las empresas que no transitan hacia modelos colaborativos corren el riesgo de quedar rezagadas frente a los cambios normativos y a los estándares de calidad nacionales.

Esta síntesis constituye la base para el capítulo siguiente, donde se presentarán las conclusiones generales del estudio y se formularán recomendaciones estratégicas para apoyar la transición hacia BIM en las empresas del Centro Histórico de Tunja.

En términos operativos, la ausencia de un sistema de clasificación estandarizado como el propuesto por Revuelta et al. (2022) limita la posibilidad de que las empresas de Tunja integren modelos 3D con dimensiones 4D y 5D. ColombiaClass demuestra que la clasificación adecuada de elementos del modelo es indispensable para vincular cantidades al presupuesto, identificar partidas constructivas, automatizar mediciones y garantizar la interoperabilidad entre plataformas. Esto significa que, sin un sistema de codificación jerárquico y paramétrico, las empresas locales no pueden aprovechar plenamente los beneficios de BIM 5D ni mejorar sus procesos de control financiero. Por ende, la falta de estandarización no es solo un problema metodológico, sino un obstáculo directo para lograr eficiencia operativa y reducción de incertidumbre en proyectos del Centro Histórico de Tunja.

Desde una perspectiva operativa avanzada, la ausencia de clasificación también limita la transición hacia metodologías 4D y 5D. Según Revuelta et al. (2022), un sistema de clasificación BIM no solo organiza elementos del modelo, sino que actúa como “puente estructural” para vincular objetos digitales con el cronograma (4D) y con el presupuesto (5D). Sin una estructura jerárquica de clases, subclases y códigos, la automatización de cantidades, la programación de obra y la simulación de costos no pueden ejecutarse con precisión. Esto explica por qué las

empresas de Tunja, al no utilizar modelos paramétricos ni sistemas de codificación, permanecen ancladas en procesos tradicionales donde las mediciones son manuales y las variaciones presupuestales se detectan tardíamente.

El estudio también demuestra que sistemas internacionales como Uniclass, Uniformat y GuBIMClass estructuran la información con base en taxonomías estables que permiten integrar modelos, presupuestos y especificaciones técnicas. ColombiaClass incorpora esta lógica e incluso adapta categorías específicas para el contexto colombiano, como cubiertas verdes, instalaciones hospitalarias y elementos en guadua. Esta adaptación demuestra que el país está avanzando hacia una estandarización contextualizada; sin embargo, las empresas de Tunja permanecen aisladas de este proceso, lo que limita su capacidad para participar en proyectos públicos modernizados o alineados con estándares BIM.

Operativamente, esto implica que la adopción de BIM en Tunja no puede ser efectiva mientras no se incorporen sistemas de clasificación y estructuras de información compatibles con las metodologías modernas. Las empresas locales podrían beneficiarse enormemente de ColombiaClass, dado que su simplicidad y adaptación al contexto nacional permiten una entrada progresiva al ecosistema BIM sin requerir herramientas altamente costosas. Por tanto, la estandarización no solo es un requisito técnico, sino un habilitador clave para mejorar la eficiencia operativa y reducir la incertidumbre financiera en proyectos de pequeña y mediana escala.

La evidencia presentada por Gómez-Sánchez et al. (2019) demuestra que BIM puede transformar de manera significativa la operación de los proyectos mediante el uso de simulaciones predictivas. En su estudio, los autores explican cómo las simulaciones 4D permitieron analizar rutas de materiales, ubicación de equipos, restricciones de espacio y

secuencias constructivas. Estas herramientas facilitaron anticipar riesgos operativos y mejorar la seguridad en obra. Para las empresas de Tunja, que no emplean herramientas asociadas a 4D, esta experiencia sugiere una oportunidad clara para mejorar la planificación y reducir las interrupciones imprevistas en obra.

Desde una perspectiva económica, Gómez-Sánchez et al. (2019) también demuestran que BIM 5D redujo las desviaciones presupuestales al mejorar la precisión de las cuantificaciones. La automatización de metrados, según los autores, disminuyó errores ligados a la interpretación subjetiva de planos y redujo el tiempo destinado a revisar listas de cantidades. Este beneficio es especialmente relevante para Tunja, donde el 92 % de las empresas continúa usando procesos manuales. Como señalan los autores, la integración 5D mejora la predictibilidad y robustez financiera del proyecto, lo que podría representar un avance significativo para las empresas locales.

La integración Lean + BIM descrita por Gómez-Sánchez et al. (2019) también generó mejoras en la comunicación interna y en la coordinación de actividades. Los ciclos cortos de retroalimentación implementados a través de Last Planner System permitieron identificar restricciones y resoluciones de manera temprana, fortaleciendo la transparencia del proceso y la coordinación interdisciplinaria. Esta evidencia sugiere que las empresas de Tunja podrían obtener beneficios importantes al adoptar prácticas Lean como complemento a BIM, especialmente para mejorar la gestión de tiempos y la calidad de la información intercambiada.

La revisión del documento ColombiaClass refuerza de manera contundente la conclusión de que la falta de estandarización es uno de los factores estructurales que más afectan la adopción de BIM en Colombia. El hecho de que el país aún no cuente con una clasificación oficial, sumado a la evidencia de retrasos significativos y baja trazabilidad en los proyectos

públicos, confirma que la digitalización del sector requiere urgentemente marcos metodológicos comunes. En Tunja, donde ninguna empresa aplica sistemas de clasificación ni estructuras jerárquicas de información, esta brecha se intensifica y explica buena parte de las dificultades identificadas en las encuestas.

La evidencia también muestra que la estandarización no es un proceso aislado, sino el fundamento que permite avanzar hacia mayores niveles de madurez, particularmente 4D y 5D. Sin una estructura clasificatoria como ColombiaClass, las empresas no pueden integrar modelos con cronogramas, presupuestos o procesos de obra digitalizada. Por tanto, la brecha en Tunja no solo es tecnológica, sino metodológica y organizacional. Esta síntesis reafirma la necesidad de implementar estándares nacionales dentro del ecosistema local para que la ciudad pueda avanzar hacia una gestión moderna y eficiente de proyectos.

Los resultados obtenidos en la presente investigación se ven ampliamente respaldados por el estudio desarrollado por Martínez Ortiz (2024), quien analiza el estado de la implementación BIM en proyectos públicos de construcción de orden nacional en Colombia durante el año 2024, a partir de una revisión sistemática de procesos contractuales registrados en SECOP II, el portal de Auditores Ciudadanos, INVIAS y otras bases de datos oficiales. En dicho estudio se evaluaron 83 proyectos de orden nacional, de los cuales 68 contaban con documentación técnica suficiente para realizar un análisis detallado de la implementación BIM.

Uno de los hallazgos más relevantes del estudio es que 43 de los 68 proyectos evaluados (63,2 %) no presentan ningún nivel de implementación BIM, obteniendo una calificación del 0 %, mientras que únicamente un proyecto (el Metro de Bogotá) alcanzó una implementación completa del 100 %, alineada con los lineamientos de CAMACOL y la norma ISO 19650. Este resultado evidencia una adopción altamente desigual y concentrada en proyectos de gran escala,

lo cual coincide con los hallazgos del presente estudio en el Centro Histórico de Tunja, donde el uso de BIM se limita a aplicaciones básicas y no sistemáticas.

A partir de la ponderación de los criterios de planificación y estrategia, gestión de la información, capacidades y formación, tecnología e infraestructura, y medición y seguimiento, Martínez Ortiz (2024) determina que el porcentaje promedio de implementación BIM en proyectos públicos de orden nacional es apenas del 8,38 %, valor que se encuentra 51,62 % por debajo del umbral mínimo esperado (60 %) establecido por la Estrategia Nacional BIM para el año 2024. Este desfase estructural permite interpretar que la baja madurez BIM identificada en los proyectos analizados en Tunja no responde a una condición exclusivamente local, sino a una problemática de carácter nacional.

El análisis por componentes revela que los ítems con mayor nivel de adopción corresponden a “retroalimentación y mejora continua”, presente en 24 proyectos, y a “EIR y entregables”, identificado en apenas 6 proyectos, lo que indica que las entidades públicas están comenzando a generar documentación BIM sin que ello se traduzca en una implementación integral. En contraste, los componentes peor calificados fueron la alineación estratégica y la definición de roles y responsabilidades BIM, lo que evidencia que la mayoría de las organizaciones no han incorporado BIM dentro de su estructura organizacional ni en sus procesos decisionales. Este hallazgo coincide plenamente con los resultados obtenidos en Tunja, donde no se identifican roles BIM formales ni estrategias institucionales claras para su adopción.

Desde una perspectiva crítica, Martínez Ortiz (2024) concluye que la brecha entre las metas gubernamentales y el estado real de implementación BIM en Colombia se debe principalmente a deficiencias en la gestión del cambio, la capacitación del talento humano y la ausencia de exigencias contractuales claras. Esta conclusión refuerza los resultados del presente

estudio, en el cual se evidencia que la limitada implementación de BIM en empresas locales no obedece a restricciones tecnológicas, sino a factores organizacionales, económicos y normativos que condicionan su adopción efectiva.

Los resultados nacionales y los hallazgos del presente estudio permiten concluir que la baja implementación de BIM en ciudades intermedias como Tunja se enmarca en una problemática estructural a nivel país. No obstante, el análisis también pone de manifiesto una oportunidad clara: la implementación progresiva de BIM, incluso en niveles parciales, puede generar mejoras significativas en la gestión de la información, la coordinación técnica y el control de los proyectos, siempre que esté acompañada de lineamientos claros, capacitación especializada y una estrategia institucional coherente.

Desde una perspectiva operativa, la proyección del uso de BIM en las empresas constructoras del centro histórico de Tunja requiere considerar no solo la incorporación de herramientas tecnológicas, sino también ajustes en los procesos internos y en la capacitación del personal. Diversos estudios señalan que la consolidación de BIM como metodología de trabajo demanda una adopción progresiva, acompañada de cambios organizacionales que permitan su integración en las distintas fases del proyecto (Prabhakaran et al., 2022). En este sentido, la evolución del uso de BIM en el contexto analizado dependerá de la capacidad de las empresas para articular la tecnología con su estructura operativa y sus dinámicas de gestión.

5.2.6 Integración de los Resultados del Estudio con Estudios Previos sobre BIM y HBIM en Contextos Patrimoniales

Los resultados del presente estudio, que evidencian un bajo nivel de implementación del BIM en las empresas constructoras que intervienen en el Centro Histórico de Tunja, pueden interpretarse a la luz de estudios internacionales que analizan la aplicación del BIM y de

tecnologías complementarias en edificaciones patrimoniales. En este sentido, la revisión sistemática desarrollada por Abdullah et al. (2024) señala que, a nivel internacional, la adopción del BIM en edificios patrimoniales enfrenta limitaciones asociadas a la complejidad del patrimonio construido, la heterogeneidad de los sistemas constructivos y la falta de información técnica estructurada, aspectos que condicionan la aplicación directa de metodologías concebidas para proyectos de obra nueva. Estas condiciones coinciden con las brechas identificadas en el presente estudio, particularmente en lo relacionado con la gestión de la información y la adaptación de los procesos BIM a contextos históricos como el de Tunja.

De manera complementaria, investigaciones enfocadas en la digitalización del patrimonio arquitectónico destacan que la ausencia de documentación confiable constituye uno de los principales obstáculos para la implementación efectiva de modelos de información en bienes de interés cultural. Ferreyra et al. (2023) señalan que, en contextos patrimoniales, la gestión inadecuada de la información histórica y constructiva limita la capacidad de los modelos digitales para apoyar procesos de conservación y mantenimiento, situación que guarda relación directa con los resultados obtenidos en el Centro Histórico de Tunja, donde se evidencian vacíos en los procesos de levantamiento, diagnóstico y sistematización de la información técnica de los inmuebles.

En este escenario, la literatura especializada identifica el enfoque Heritage Building Information Modeling (HBIM) como una adaptación metodológica del BIM convencional, orientada a responder a las particularidades del patrimonio arquitectónico. Estudios recientes destacan que el HBIM permite integrar información geométrica, histórica, constructiva y documental en un entorno digital estructurado, facilitando una comprensión integral del inmueble y apoyando la toma de decisiones técnicas asociadas a su conservación y

mantenimiento (López et al., 2024). Este enfoque resulta especialmente pertinente para el Centro Histórico de Tunja, donde las intervenciones constructivas deben atender simultáneamente criterios técnicos, normativos y patrimoniales.

Asimismo, investigaciones centradas en el diagnóstico de edificaciones existentes advierten que el uso del BIM sin metodologías específicas para el análisis patológico y constructivo reduce su potencial como herramienta de apoyo a la gestión del patrimonio. García et al. (2023) señalan que, en ausencia de procesos sistemáticos de diagnóstico, los modelos BIM tienden a limitarse a representaciones geométricas, sin aportar información relevante para la evaluación del estado de conservación de los inmuebles. Esta situación se refleja en los resultados del presente estudio, en los cuales se identifica que las brechas técnicas y organizacionales detectadas afectan directamente la capacidad de las empresas para aprovechar el BIM en contextos patrimoniales.

En el contexto colombiano, el trabajo desarrollado por Maya Rincón (2021) aporta evidencia sobre la viabilidad del HBIM como herramienta de apoyo al diagnóstico de bienes de interés cultural, destacando su utilidad para optimizar la gestión y organización de la información técnica en edificaciones patrimoniales. Este antecedente adquiere especial relevancia para el caso de Tunja, al demostrar que la aplicación del HBIM puede contribuir a una comprensión más precisa del estado de los inmuebles históricos y a una mejor planificación de las intervenciones, incluso en escenarios donde la adopción del BIM convencional es limitada.

Desde esta perspectiva, la integración de los resultados del presente estudio con los aportes de la literatura especializada permite identificar que el enfoque HBIM no debe entenderse como una solución inmediata a las brechas detectadas en el Centro Histórico de Tunja, sino como un marco metodológico de referencia que orienta la gestión de la información

patrimonial. Su importancia radica en la posibilidad de fortalecer los procesos de diagnóstico, conservación y mantenimiento del patrimonio construido, aportando criterios técnicos más sólidos para la toma de decisiones y reduciendo los riesgos asociados a intervenciones inadecuadas en edificaciones de alto valor histórico.

5.2.7 Persistencia de las brechas en la implementación de BIM: contraste entre estudios tempranos y resultados actuales

Los resultados del presente estudio pueden interpretarse a la luz de los hallazgos tempranos expuestos por Ramírez (2018), quien analiza la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en un contexto aplicado, evidenciando que, incluso desde etapas iniciales de adopción en el país, la metodología era incorporada de manera parcial y principalmente orientada al apoyo técnico del diseño. En su estudio, BIM se utiliza como herramienta para mejorar la representación gráfica y la coordinación básica del proyecto, sin consolidarse como una metodología integral de gestión.

Ramírez (2018) identifica que una de las principales limitaciones para la implementación efectiva de BIM corresponde a la ausencia de procesos organizacionales estructurados, la falta de estandarización y la dependencia del conocimiento individual de los modeladores. Estos factores generan una adopción fragmentada, en la cual el modelo BIM no se integra de forma sistemática a la planificación, el control de costos ni la gestión de la ejecución del proyecto.

Este comportamiento resulta especialmente relevante al compararlo con los hallazgos del presente estudio en el Centro Histórico de Tunja, donde, a pesar del avance tecnológico y normativo registrado en los últimos años, se evidencian problemáticas similares. En ambos casos, BIM se adopta principalmente como una herramienta técnica, sin una articulación clara

con los procesos de toma de decisiones, lo que refleja una baja madurez organizacional en su implementación.

Adicionalmente, Ramírez (2018) pone de manifiesto que la falta de capacitación especializada y de lineamientos claros limita la sostenibilidad del uso de BIM en el tiempo, provocando que su aplicación dependa de iniciativas individuales más que de estrategias institucionales. Esta situación coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde se identificó que las empresas locales no cuentan con estructuras formales que permitan consolidar la metodología BIM más allá de usos puntuales.

La comparación entre los resultados obtenidos por Ramírez (2018) y los hallazgos actuales del presente estudio permite concluir que las brechas identificadas en la implementación de BIM no son recientes ni coyunturales, sino estructurales y persistentes. Esta continuidad en el tiempo refuerza la necesidad de abordar la adopción de BIM desde una perspectiva integral, que trascienda la incorporación de herramientas tecnológicas y se enfoque en la transformación organizacional, la estandarización de procesos y el fortalecimiento de capacidades institucionales.

La persistencia de estas brechas pone en evidencia que la consolidación de BIM no depende únicamente de la disponibilidad de herramientas tecnológicas, sino de la existencia de condiciones organizacionales y metodológicas que permitan su apropiación sostenida. En este sentido, la norma ISO 19650 establece la gestión de la información como un eje central para la implementación efectiva de BIM, resaltando la necesidad de roles definidos, flujos de información claros y responsabilidades compartidas a lo largo del ciclo de vida del proyecto (ISO, 2018). La ausencia de estos elementos en las empresas analizadas contribuye a explicar por

qué el uso de BIM permanece en un nivel incipiente, pese a su reconocimiento como una herramienta con potencial técnico.

5.2.8 Implementación Reciente de BIM y Consolidación de Brechas Estructurales en Contextos Locales

Los hallazgos del presente estudio se ven reforzados por el trabajo desarrollado por Rubio (2025), quien analiza la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) desde una perspectiva reciente, evidenciando que, a pesar del avance normativo, académico y tecnológico alcanzado en los últimos años, su adopción efectiva continúa presentando limitaciones significativas en la práctica. El estudio muestra que BIM se incorpora principalmente como herramienta de apoyo al desarrollo técnico del proyecto, sin consolidarse como una metodología integral de gestión.

En su análisis, Rubio (2025) identifica que los principales beneficios asociados a la implementación de BIM se concentran en la mejora de la visualización del proyecto, la coordinación básica entre disciplinas y la reducción de errores de diseño. Sin embargo, el documento evidencia que estos beneficios no se extienden de manera sistemática a procesos estratégicos como la planificación de obra, el control presupuestal ni la gestión del ciclo de vida del proyecto, manteniéndose una separación entre el modelo digital y la toma de decisiones.

Este comportamiento resulta consistente con los hallazgos del presente estudio donde se evidenció que, aun cuando existe conocimiento y valoración positiva de la metodología BIM, su implementación se limita a usos técnicos puntuales. En ambos casos, la adopción parcial de BIM responde a la ausencia de estructuras organizacionales claras, roles definidos y estrategias de implementación que permitan integrar la metodología de forma transversal.

Adicionalmente, Rubio (2025) señala que la falta de estandarización interna y la dependencia del conocimiento individual constituyen barreras persistentes para alcanzar niveles superiores de madurez BIM. Esta situación coincide con los resultados del presente trabajo, en el cual se identificó que las empresas locales carecen de lineamientos formales que garanticen la continuidad y sostenibilidad del uso de BIM en el tiempo.

El análisis desarrollado por Rubio (2025) permite concluir que la persistencia de brechas en la implementación de BIM no obedece a un rezago tecnológico, sino a una problemática estructural asociada a la gestión organizacional y a la articulación entre tecnología, procesos y personas. Esta conclusión refuerza el argumento central del presente estudio, al evidenciar que incluso en estudios recientes la adopción de BIM continúa siendo fragmentada, especialmente en contextos locales y ciudades intermedias como Tunja.

5.2.9 Diagnóstico Sectorial de la Implementación BIM en Colombia y Contraste con Resultados Locales

Los resultados del presente estudio se ven ampliamente respaldados por el diagnóstico sectorial desarrollado por Ramírez (2022), quien analiza el estado de la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en la industria de la construcción en Colombia, a partir de un enfoque de caso de estudio y análisis global del sector. El autor evidencia que, si bien existe un reconocimiento generalizado de los beneficios asociados a BIM, su adopción efectiva en la industria continúa siendo limitada y heterogénea.

Si bien la Estrategia Nacional BIM 2020–2026 plantea una adopción progresiva de la metodología como mecanismo para mejorar la eficiencia y la gestión de la información en el sector de la construcción, los resultados del presente estudio evidencian una brecha entre estos lineamientos y la realidad operativa de las empresas constructoras del centro histórico de Tunja.

En contextos locales caracterizados por empresas de pequeña escala y recursos limitados, la implementación de BIM enfrenta barreras que ralentizan su alineación con los objetivos nacionales, lo que sugiere la necesidad de estrategias diferenciadas que consideren las particularidades territoriales y organizacionales (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2020).

De acuerdo con Ramírez (2022), la implementación de BIM en Colombia se concentra principalmente en aplicaciones técnicas orientadas al modelado y la visualización del proyecto, mientras que su integración a procesos estratégicos como la planificación, el control de costos y la gestión del ciclo de vida del activo es aún incipiente. Este diagnóstico coincide de manera directa con los hallazgos del presente estudio en el Centro Histórico de Tunja, donde se identificó que BIM es utilizado mayoritariamente como herramienta de apoyo técnico, sin consolidarse como una metodología integral de gestión.

El estudio resalta que uno de los principales factores que limita la adopción de BIM a nivel sectorial es la falta de madurez organizacional de las empresas, evidenciada en la ausencia de roles especializados, estándares internos y estrategias claras de implementación. En este sentido, Ramírez (2022) señala que la adopción fragmentada de BIM responde más a iniciativas individuales que a políticas empresariales estructuradas, situación que se replica en los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Adicionalmente, el diagnóstico sectorial identifica brechas significativas en términos de capacitación, interoperabilidad y gestión de la información, las cuales dificultan la transición hacia niveles superiores de implementación BIM. Estas brechas permiten interpretar que la problemática identificada en contextos locales como Tunja no obedece a limitaciones

tecnológicas, sino a una falta de articulación entre tecnología, procesos y estructura organizacional.

El análisis desarrollado por Ramírez (2022) refuerza la conclusión de que la implementación de BIM en Colombia se encuentra en una fase de madurez intermedia-baja, caracterizada por usos parciales y no sistemáticos. Esta interpretación valida los resultados del presente estudio y aporta un marco sectorial que permite contextualizar la adopción limitada de BIM en ciudades intermedias, evidenciando la necesidad de estrategias integrales de fortalecimiento organizacional y gestión del cambio para avanzar hacia una implementación más efectiva.

5.2.10 Implementación de BIM bajo estándares internacionales y contraste con la madurez organizacional en Colombia

Los resultados del presente estudio se encuentran alineados con lo expuesto por Fuentes (2021), quien desarrolla un caso de estudio enfocado en la implementación de la metodología BIM bajo los lineamientos de la norma ISO 19650 en una empresa constructora de la ciudad de Cartagena. En dicho trabajo, se evidencia que, si bien la empresa contaba con herramientas tecnológicas como Revit y AutoCAD, la adopción de BIM se encontraba en una fase incipiente y fragmentada, sin una integración transversal en los procesos organizacionales.

Uno de los hallazgos más relevantes del estudio de Fuentes (2021) es que la empresa analizada presentaba una implementación parcial de BIM desde el año 2019, concentrada principalmente en actividades de interventoría y modelación 3D, sin incorporar plenamente dimensiones avanzadas como la gestión de la información, la planificación colaborativa o el control integral de costos y tiempos. Este comportamiento coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde se identificó que más del 70 % de las empresas constructoras del

Centro Histórico de Tunja utilizan BIM únicamente como herramienta de modelado, sin vincularlo a procesos de gestión del proyecto.

Asimismo, Fuentes (2021) señala que la empresa objeto de estudio contaba con 33 empleados administrativos, pero no disponía de roles BIM formalmente definidos, lo que generaba dependencia del conocimiento individual y dificultades para la estandarización de procesos. Este resultado guarda una relación directa con los hallazgos de esta investigación, en los cuales se evidenció que la ausencia de perfiles BIM (BIM Manager, Information Manager, BIM Coordinator) constituye una de las principales barreras para la consolidación de la metodología en empresas locales.

Desde el punto de vista normativo, Fuentes (2021) resalta que la aplicación de la ISO 19650-2 permitió estructurar un modelo de implementación basado en cinco fases evaluación de necesidades, licitación, planificación, producción y entrega—, orientadas a mejorar la coordinación interdisciplinar y la gestión de la información. Sin embargo, el estudio concluye que dicha implementación se mantuvo a nivel de propuesta, sin una ejecución completa ni medición cuantitativa de impactos en reducción de costos o tiempos. Esta limitación coincide con los resultados del presente trabajo, donde se identificó que ninguna de las empresas analizadas cuenta con indicadores formales para evaluar el impacto económico de BIM, pese a reconocer beneficios cualitativos.

El análisis comparativo permite concluir que la problemática observada en Tunja no es un caso aislado, sino que responde a un patrón recurrente a nivel nacional, caracterizado por una baja madurez BIM, adopciones parciales y una implementación centrada en herramientas más que en procesos. Tanto el estudio de Fuentes (2021) como los resultados de esta investigación evidencian que el principal desafío para la consolidación de BIM en Colombia no radica en la

disponibilidad tecnológica, sino en la gestión del cambio organizacional, la formación especializada y la adopción efectiva de estándares internacionales como la ISO 19650.

5.3 Plan de Adopción de BIM para Microempresas del Centro Histórico de Tunja

En respuesta a las barreras económicas, formativas y organizacionales identificadas en el presente estudio, se plantea la siguiente estrategia o plan básico de adopción de BIM dirigido a las microempresas constructoras del Centro Histórico de Tunja. Este plan tiene como objetivo ofrecer una ruta práctica y progresiva que permita la aplicación de los principios del BIM sin requerir inversiones económicas significativas, partiendo de acciones operativas sencillas y avanzando gradualmente hacia usos más estructurados de la metodología, de acuerdo con las capacidades reales de las empresas.

Fase 1. Organización inicial de la información del proyecto

En esta fase, la empresa inicia la adopción de principios BIM sin implementar software especializado. El proceso comienza con la reorganización interna de la información del proyecto, mediante acciones operativas concretas. En primer lugar, se establece una única carpeta digital por proyecto, dentro de la cual se definen subcarpetas estandarizadas para diseño, planos, ejecución y cambios. Paralelamente, se adopta un sistema uniforme de nomenclatura para archivos y planos, incorporando criterios de fecha y versión.

Adicionalmente, la empresa designa un responsable interno de la información del proyecto, encargado de validar los documentos oficiales y evitar el uso de versiones desactualizadas. Estas acciones permiten mejorar la trazabilidad de la información, reducir errores por descoordinación y sentar las bases organizativas necesarias para una adopción progresiva de BIM, sin generar costos económicos adicionales.

Fase 2. Uso selectivo del modelado BIM en componentes específicos del proyecto

Una vez organizada la información, la empresa incorpora el uso del modelado BIM de manera puntual y controlada. En esta fase, no se modela el proyecto completo, sino únicamente aquellos componentes que presentan mayor complejidad técnica, riesgo de error o interacción con estructuras existentes. La selección de estos componentes se realiza con base en la experiencia previa de la empresa y en la identificación de zonas críticas del proyecto.

El modelado se concentra en uno o dos perfiles clave dentro de la empresa, quienes utilizan el modelo tridimensional exclusivamente como herramienta de apoyo al diseño y a la comprensión espacial del proyecto. El modelo no reemplaza los planos bidimensionales ni los procesos tradicionales de documentación, sino que se emplea para visualizar soluciones constructivas y detectar inconsistencias evidentes antes de la etapa de ejecución. De esta forma, la empresa puede experimentar los beneficios del BIM sin asumir los costos asociados a una implementación integral.

Fase 3. Capacitación práctica y focalizada del personal

La capacitación del personal se desarrolla de manera progresiva y focalizada, evitando esquemas de formación extensivos. En esta fase, la empresa capacita únicamente al personal responsable del uso del modelado BIM, a través de la aplicación directa de la herramienta en proyectos reales. El aprendizaje se produce mediante la práctica, permitiendo que el personal adquiera competencias básicas relacionadas con el uso del modelo, sin requerir procesos formales de capacitación para todo el equipo de trabajo.

El resto del personal interactúa con la información generada a partir del modelo, utilizando los resultados del proceso sin necesidad de manejar directamente el software. Esta

estrategia reduce costos de capacitación y facilita una apropiación gradual de la metodología, alineada con las capacidades reales de la empresa.

Fase 4. Centralización y coordinación básica de la información del proyecto

En esta fase, la empresa fortalece la coordinación de la información mediante la centralización de todos los documentos técnicos, planos y modelos en un único repositorio digital compartido. Se establecen reglas claras para la actualización de la información y se define una fuente única de documentos oficiales del proyecto.

El modelo BIM, cuando existe, se utiliza como un elemento de apoyo para la coordinación y revisión de información, sin convertirse en el único soporte documental. Esta fase permite reducir errores derivados de la duplicidad de información y mejora la comunicación entre los actores involucrados, aplicando principios colaborativos propios del BIM sin requerir plataformas especializadas.

Fase 5. Evaluación de resultados y adopción progresiva según beneficios obtenidos

Finalmente, la empresa evalúa los resultados obtenidos en las fases anteriores, considerando aspectos como la reducción de errores en obra, la mejora en la comprensión del proyecto y la disminución de reprocesos. Con base en esta evaluación, se decide de manera informada si se amplía el uso del BIM a nuevos proyectos o componentes, o si se mantiene su aplicación de forma selectiva.

Esta fase garantiza que la adopción de BIM se realice de manera sostenible, evitando inversiones innecesarias y permitiendo que las decisiones futuras se fundamenten en beneficios reales observados durante la implementación inicial.

El plan por fases propuesto permite a las microempresas constructoras del Centro Histórico de Tunja aplicar BIM de manera concreta, progresiva y sin inversiones económicas significativas. Al estructurar la adopción en acciones claras y operativas, el plan transforma los resultados del diagnóstico en una estrategia aplicada, viable y coherente con las condiciones reales del contexto local.

Capítulo VI. Conclusiones y Recomendaciones

El análisis realizado permitió establecer que la adopción de la metodología Building Information Modeling (BIM) en las empresas constructoras del centro histórico de Tunja es aún incipiente y se encuentra concentrada en aplicaciones parciales, principalmente en etapas de diseño. Esta situación evidencia la ausencia de una integración sistemática de BIM a lo largo del ciclo de vida de los proyectos, lo cual limita el aprovechamiento de su potencial como herramienta de gestión integral y coordinación interdisciplinaria.

Los resultados muestran que la baja adopción de BIM no se explica únicamente por la disponibilidad tecnológica, sino que está estrechamente relacionada con factores organizacionales, económicos y formativos. La falta de personal capacitado, los costos asociados a la implementación inicial y la ausencia de exigencias contractuales claras configuran un entorno poco propicio para la adopción de la metodología, especialmente en empresas de pequeña y mediana escala, que predominan en el área de estudio.

Asimismo, la implementación de metodologías BIM en el sector de la construcción no depende únicamente de los equipos directivos o de diseño, sino también de la apropiación de estas herramientas por parte del personal técnico encargado de la ejecución en obra. Esto evidencia la necesidad de fortalecer procesos de capacitación y articulación entre los distintos niveles del equipo de trabajo, constituyendo uno de los retos para la adopción efectiva de estas metodologías en el sector.

A pesar de las limitaciones identificadas, las empresas que han incorporado BIM, incluso de manera parcial, reconocen beneficios concretos en la gestión de los proyectos, tales como una mejor coordinación entre disciplinas, reducción de reprocesos y mayor control de la información. Estos beneficios, alineados con los reportados en estudios previos, confirman que BIM

representa una herramienta con capacidad real de generar mejoras operativas, aun en contextos de baja madurez tecnológica.

Adicionalmente, el análisis realizado permite concluir que, en contextos urbanos con alto valor patrimonial como el Centro Histórico de Tunja, la adopción del BIM presenta limitaciones asociadas a la gestión de la información existente y a la complejidad propia de las edificaciones históricas. En este escenario, el BIM se configura como un referente metodológico pertinente para fortalecer los procesos de diagnóstico, conservación y mantenimiento del patrimonio construido, al favorecer una integración más estructurada de la información técnica, constructiva e histórica. Si bien el presente estudio no aborda su implementación directa, los resultados sugieren que el BIM constituye una oportunidad estratégica para orientar futuras intervenciones en edificaciones patrimoniales, contribuyendo a una toma de decisiones más informada y coherente con las particularidades del contexto histórico, y a la preservación del patrimonio arquitectónico como expresión de la memoria y la identidad cultural del territorio.

La articulación de los resultados obtenidos con estudios previos permite afirmar que las dinámicas observadas en el centro histórico de Tunja responden a patrones estructurales presentes en otros contextos similares, y no a condiciones exclusivamente locales. En este sentido, el presente estudio aporta un diagnóstico empírico que complementa el conocimiento existente sobre la adopción de BIM en ciudades intermedias, constituyéndose en una línea base útil para la formulación de estrategias de implementación progresiva y para el desarrollo de investigaciones futuras.

El principal aporte de este estudio se centra en la construcción de un diagnóstico empírico sobre el nivel real de adopción de BIM en las microempresas constructoras del Centro Histórico de Tunja, basado en el análisis directo de sus prácticas, capacidades y limitaciones. A partir de

este diagnóstico, la investigación identifica barreras económicas, formativas y organizacionales que no suelen ser abordadas con suficiente detalle en la literatura y plantea, como aporte complementario, un plan básico de adopción de BIM por fases, orientado a facilitar su implementación progresiva bajo condiciones reales y viables para este tipo de empresas.

Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos, se considera pertinente que el enfoque metodológico aplicado en esta investigación sea replicado en estudios posteriores, ajustando los instrumentos de recolección de información y ampliando el tamaño de la muestra, con el fin de fortalecer la comparabilidad de los resultados y profundizar en el análisis del nivel de adopción de BIM en distintos contextos territoriales.

Se sugiere que futuros proyectos de investigación complementen el enfoque cualitativo empleado en este estudio con metodologías cuantitativas, que permitan evaluar de manera más precisa el impacto de la adopción de BIM en variables como costos, tiempos, calidad y desempeño de los proyectos de construcción.

Resulta recomendable ampliar el alcance de investigaciones futuras incorporando otros actores del sector, tales como diseñadores, interventores y entidades contratantes, con el propósito de obtener una visión más integral de las dinámicas que influyen en la adopción de BIM a lo largo del ciclo de vida de los proyectos.

Adicionalmente, el análisis realizado permite concluir que, en contextos urbanos con alto valor patrimonial como el Centro Histórico de Tunja, la adopción del BIM presenta limitaciones asociadas a la gestión de la información existente y a la complejidad propia de las edificaciones históricas. En este escenario, el BIM se configura como un referente metodológico pertinente

para fortalecer los procesos de diagnóstico, conservación y mantenimiento del patrimonio construido, al favorecer una integración más estructurada de la información técnica, constructiva e histórica. Si bien el presente estudio no aborda su implementación directa, los resultados sugieren que el BIM constituye una oportunidad estratégica para orientar futuras intervenciones en edificaciones patrimoniales, contribuyendo a una toma de decisiones más informada y coherente con las particularidades del contexto histórico, y a la preservación del patrimonio arquitectónico como expresión de la memoria y la identidad cultural del territorio.

Asimismo, se propone que futuras investigaciones profundicen en la implementación y evaluación del “Plan de Adopción de BIM para Microempresas del Centro Histórico de Tunja” planteado en el presente estudio, con el fin de analizar su aplicabilidad en proyectos reales y evaluar su impacto en los procesos de adopción de esta metodología en este tipo de empresas. De igual manera, este plan estratégico puede servir como base para el desarrollo de investigaciones posteriores orientadas a fortalecer y ajustar las estrategias de implementación gradual de BIM en contextos locales similares, permitiendo consolidar lineamientos que contribuyan a facilitar su adopción en pequeñas empresas del sector de la construcción.

De cara a una futura implementación del Plan Estratégico BIM en las empresas del Centro Histórico de Tunja, resulta pertinente considerar enfoques basados en estándares abiertos como OpenBIM. Este enfoque promueve la interoperabilidad entre diferentes plataformas de software mediante el uso de formatos abiertos, lo que facilita el intercambio de información entre los distintos actores del proyecto y reduce la dependencia de herramientas propietarias. La incorporación de estos principios puede favorecer procesos de adopción más accesibles y progresivos de la metodología BIM en el contexto local.

De la misma manera, como ampliación del análisis realizado, se considera pertinente explorar, sería pertinente ampliar el análisis de la adopción de BIM hacia el sector público, considerando su posible aplicación en entidades responsables de la planificación, desarrollo y ejecución de proyectos de infraestructura. En este sentido, resultaría de interés explorar cómo instituciones del orden nacional como el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), así como entidades territoriales, podrían integrar metodologías BIM en sus procesos de gestión y desarrollo de proyectos. Este tipo de aproximaciones permitiría aportar nuevos elementos para comprender los desafíos y oportunidades asociados a la incorporación de BIM en la gestión de proyectos públicos.

Capítulo VII. Referencias

Abdullah, M., Ismail, S., Hashim, K. S., & Rahim, A. A. (2024). Building information modeling and complementary technologies in heritage buildings: A systematic review. *Results in Engineering*, 21, 101983. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.101983>

Álvarez Vanegas, R. L., & López Moreno, B. A. (2022). Estado del arte del building information modeling (BIM) en la construcción y los beneficios de su aplicación en los proyectos de infraestructura vial en Colombia [Trabajo de grado de especialización, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

Ayala, D. (2024). Análisis de la implementación de la metodología building information modeling (BIM) en proyectos de infraestructura vial [Trabajo de grado, Ingeniería Civil].

Bermúdez, C., & Quintero, J. (2022). Beneficios de la adopción BIM en proyectos de infraestructura vial: una revisión sistemática. Universidad Católica de Colombia.

<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/98687eff-19f1-4eec-bb1d-6b8b1ff96bb>

BuildingSMART. (2021). Introducción a la serie EN ISO 19650.

<https://www.buildingsmart.es/recursos/en-iso-19650/>

CAMACOL. (2019). BIM Forum Colombia.

<https://camacol.co/descargable/02-modelado-bim>

CAMACOL. (2020). Guías para la adopción de BIM en las organizaciones.

<https://camacol.co/sites/default/files/descargables/Roles%20y%20Perfiles%20BIM%20V2.pdf>

CAMACOL, FDN, Mott MacDonald, BIM Forum Colombia, & Embajada Británica de Colombia. (2020). Estrategia Nacional BIM 2020–2026.

- Campaña Castillo, A. F., & Vargas Morales, E. R. (2023). Implementación de la metodología BIM 5D y programación rítmica (takt planning) en la optimización de proyectos de vivienda de interés social: Caso de estudio en Cartagena, Colombia [Trabajo de grado, Ingeniería Civil, Universidad de Cartagena].
- Castaño Delgado, J. S. (2023). Implementación de la metodología BIM en el análisis comparativo del presupuesto de una vivienda de interés social en el departamento del Meta [Trabajo de conclusión de curso, Ingeniería Civil e Infraestructura, Universidad Federal de la Integración Latinoamericana].
- Charef, R. (2022). The use of Building Information Modelling in the circular economy context: Several models and a new dimension of BIM (8D). *Cleaner Engineering and Technology*, 7, 100414. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100414>
- Cortés Escobar, G. A. (2022). Metodología building information modeling (BIM) en proyectos de construcción [Trabajo de grado, Ingeniería Civil, Universidad Cooperativa de Colombia].
- Departamento Nacional de Planeación. (2019). *Documento CONPES 3975: Política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial*. Consejo Nacional de Política Económica y Social.
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). Estrategia nacional BIM 2020–2026. Departamento Nacional de Planeación.
- Díaz, L. (2022). Metodología BIM en la gerencia del proyecto para la construcción de viviendas rurales en el municipio de Villeta – Cundinamarca. Universidad Católica de Colombia.

<https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/2eb4dd-e1b8-4539-b63c-b4cc4d46012d>

- Díaz Peña, P. V., & Cely Andrade, Á. M. (2024). Análisis de la implementación de la metodología BIM. *CTIAS – Revista de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología*, 10(2), 164–189.
- Echeverri, S., & Obando, D. (2024). Revisión bibliográfica del impacto de la tecnología BIM en la construcción de viviendas en Colombia: última década.
- Elhusseiny, H. O., Nosair, I., & Ezeldin, A. S. (2021). Developing a user plug-in to assess delay causes' impact on construction projects in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(4), 3553–3568. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.013>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors* (2nd ed.). Wiley.
- Fernández Arias, J. D. (2022). Investigación sobre la metodología building information modeling (BIM) aplicada a procesos de interventorías en obras civiles de Colombia [Informe final de práctica profesional, Ingeniería Civil, Universidad Cooperativa de Colombia, Campus Neiva].
- Ferreira, D., Montoya, M., & Gómez, L. (2023). Digitalización y conservación del patrimonio arquitectónico mediante modelos de información. En *Actas del Congreso Internacional Latinoamericano de Ciencias Sociales y Humanidades* (pp. 1–15).

- Flórez, E. (2023). Aplicación de la metodología building information modeling (BIM) para el diseño de la variante Mirador en Barranquilla (Colombia) [Trabajo fin de máster, Universitat Politècnica de València].
- Galvis Lizarazo, E. S. (2022). Implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura en Colombia [Trabajo de grado, Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada].
- García Martínez, Z. F., & Angarita Molina, M. A. (2025). Building information management (BIM): Implementación en la optimización y control de presupuestos de los proyectos de construcción de obra pública [Trabajo de grado de especialización, Universidad La Gran Colombia].
- García, J., Pérez, L., & Ramírez, M. (2023). El estudio patológico en tiempos de BIM: Alcances y limitaciones en edificaciones existentes. *Revista de Arquitectura y Construcción*, 12(2), 45–60.
- Gharibeh, L., Matarneh, S., Lantz, B., & Eriksson, K. (2024). Quantifying the influence of BIM adoption: An in-depth methodology and practical case studies in construction. *Results in Engineering*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102555>
- Giraldo, J. (2019). Propuesta para la implementación de la metodología BIM en el desarrollo de nuevos proyectos de infraestructura en la Policía Nacional de Colombia. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/47308>
- Gobierno de Colombia. (2020). Estrategia Nacional BIM 2020–2026. <https://www.bim.gov.co>

Haji, F. A., Waqar, A., Bageis, A. S., Houda, M., & Benjeddou, O. (2024). Building information modeling (BIM) driven performance-based construction for the optimization of sustainable and smart structures development. *Environmental Challenges*, 16.

<https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100980>

Hernández Jaimes, E. D. (2024). Evaluación de la metodología BIM en la ingeniería de puentes colombianos [Trabajo de especialización, Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2021). Recomendaciones para la adopción de los roles BIM en la cadena de valor del IDU.

https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/Micrositios/BIM/doc/ETAPA1-02-RECOMENDACIONES-ROLES-BIM-IDU_V1.pdf

Instituto de Desarrollo Urbano (IDU). (2022). Logros y avances de la implementación BIM en el IDU [Presentación institucional]. Alcaldía Mayor de Bogotá.

<https://www.idu.gov.co/page/bim-en-el-idu>

Loaiza, S., & Ramírez, A. (2022). Comparación entre la metodología tradicional en obra y la metodología BIM para la construcción del edificio “BOSA 601”, localizado en Bogotá (Colombia).

López, F., Gómez, R., & Martínez, J. (2024). BIM aplicado al patrimonio arquitectónico y a la gestión de la información en edificaciones existentes. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(2), e03827. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n2-006>

- Limas, D. (2019). Metodología BIM aplicada a la fase de prefactibilidad de un proyecto vial de tercer orden en Colombia. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/21185>
- Martínez, R. (2024). Análisis del estado de la implementación BIM en proyectos públicos de construcción en Colombia para el año 2024. Universidad Industrial de Santander.
- Maya Rincón, J. C. (2021). *Paso a paso en la optimización y gestión de la información en el proceso de diagnóstico de un bien de interés cultural bajo la metodología BIM* [Trabajo de grado, Universidad Jorge Tadeo Lozano].
- Ministerio de Transporte. (2024). *Resolución 20243040050505 del 17 de octubre de 2024, por la cual se adopta la metodología BIM (Building Information Modeling), se crea la Mesa de Articulación Interinstitucional “MAI BIM” en el sector transporte y se dictan otras disposiciones*. Ministerio de Transporte.
- Morán, V., & Pinilla, L. (2022). Sistema de gestión BIM-Lean: efectos de su aplicación en el desarrollo de proyectos de construcción civil. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/entities/publication/eba0ffa8-b7d5-4392-9a1f-0efd776f17e1>
- Muelas Rivera, F., Mora, R., Herrera, R. F., & Atencio, E. (2024). Identificación de barreras en la interacción entre construcción tradicional y metodología BIM. *Revista de la Construcción*, 23(1), 90–104.
- Naranjo, D. (2021). Implementación de la metodología BIM para la gestión de proyectos. <https://repository.uniminuto.edu.co/server/api/core/bitstreams/91eb3cb6-434a-4981-8802-228a40df5bc4/content>

- Niño Flórez, J. N. (2022). Implementación de la metodología building information modeling (BIM) en proyectos de construcción [Trabajo de grado, Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada].
- Prabhakaran, A., Mahamadu, A. M., Mahdjoub, L., & Boguslawski, P. (2022). BIM-based immersive collaborative environment for furniture, fixture and equipment design. *Automation in Construction*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104489>
- Quintero, R. (2022). Análisis de la implementación BIM en Colombia: caso de estudio y diagnóstico de industria de la construcción. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/0dc70706-9b84-451e-baeb-ad334ee0372b>
- Ramírez León, J. A. (2018). Uso de la metodología building information modeling (BIM) como herramienta para la planificación de la construcción de un puente de concreto en Colombia [Trabajo de grado, Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada].
- Ramírez Rivera, J. C. (2022). Requisitos de información BIM (EIR) en la etapa de prefactibilidad de la fase de estudios y diseños en proyectos de infraestructura vial en Colombia [Proyecto de grado de maestría, Universidad de los Andes].
- Revuelta, M. P., García-López, N. P., & Salazar, L. A. (2022). ColombiaClass: Proposal for a BIM classification system for public buildings in Colombia. *Proceedings of the 39th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*.
- Rubio Parra, L. J. (2025). Metodología BIM para la eficiencia en el seguimiento y supervisión de los proyectos de transporte masivo dirigidos por la Empresa Férrea Regional [Anteproyecto de grado, Maestría en Gerencia de Proyectos, Universidad EAN].

- Sampaio, A., Gomes, N., & Gomes, A. (2024). BIM design coordination: conflict analysis and construction simulation. *Procedia Computer Science*, 239, 49–57.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.145>
- Sánchez, E., & Calderón, M. (2021). BIM en el sector construcción y su nivel de madurez en empresa constructora de Bogotá. Universidad Católica de Colombia.
- Sánchez Botero, L. P., & Botero Botero, L. F. (2015). Building information modeling como nueva tecnología en la enseñanza de la ingeniería civil, la arquitectura y la construcción. *Revista Educación en Ingeniería*, 10(20), 82–92.
- Takvi-Annan, G. E., & Zhang, H. (2023). Assessing the impact of overcoming BIM implementation barriers on BIM usage frequency and circular economy in the project lifecycle using Partial Least Squares structural Equation modelling (PLS-SEM) analysis. *Energy and Buildings*, 295, 113329. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113329>
- Valero Reyes, L. D. (2023). Enseñanza y aprendizaje de la metodología BIM en disciplinas del sector AECO: Revisión sistemática [Trabajo de grado, Arquitectura, Universidad Jorge Tadeo Lozano].
- Vargas Chaves, R. L. (2021). Implementación de la metodología building information modeling (BIM) en la Constructora J [Proyecto final de grado, Maestría en Ingeniería Civil, Universidad de los Andes].
- Velásquez Rivera, K. S., & Niño Flórez, J. N. (2022). Implementación de la metodología BIM en proyectos de construcción [Trabajo de grado, Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada].

Wang, K., Zhang, C., Guo, F., & Guo, S. (2022). Toward an efficient construction process: What drives BIM professionals to collaborate in BIM-enabled projects. *Journal of Management in Engineering*, 38(4), 04022033.

Zapata, C. (2020). Implementación BIM en la academia para ingeniería civil.
<http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/16097>

Capítulo VIII. Anexos

Anexo 1. Formato de Encuestas

Anexo 2. Resultados de Encuestas

Anexo 3. Mapas Relacionados