



UNIVERSIDAD  
**SANTOTOMÁS**  
SEDE PRINCIPAL

*Trabajo de grado de maestría: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA PLANIFICACIÓN, SIMULACIÓN Y PRESUPUESTACIÓN DE UNA VÍA Terciaria Sector El Paraíso, Municipio de La Jagua del Pilar, La Guajira. Autor: Maryury Aishell Neira. Universidad Santo Tomás (Colombia). Año 2025.*

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA PLANIFICACIÓN, SIMULACIÓN Y PRESUPUESTACIÓN DE UNA VÍA Terciaria Sector El Paraíso, Municipio de La Jagua del Pilar, La Guajira.**

**MARYURY AISHELL NEIRA**

Universidad Santo Tomás  
Facultad de Ingeniería Civil  
Bogotá D.C, Colombia  
Noviembre de 2025





UNIVERSIDAD  
**SANTOTOMÁS**  
SEDE PRINCIPAL

*Trabajo de grado de maestría: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA PLANIFICACIÓN, SIMULACIÓN Y PRESUPUESTACIÓN DE UNA VÍA TERCIARIA SECTOR EL PARAÍSO, MUNICIPIO DE LA JAGUA DEL PILAR, LA GUAJIRA. Autor: Maryury Aishell Neira. Universidad Santo Tomás (Colombia). Año 2025.*

# **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA PLANIFICACIÓN, SIMULACIÓN Y PRESUPUESTACIÓN DE UNA VÍA TERCIARIA SECTOR EL PARAÍSO, MUNICIPIO DE LA JAGUA DEL PILAR, LA GUAJIRA.**

**MARYURY AISHELL NEIRA**

Tesis presentada como requisito para optar al título de:  
**Magister en Infraestructura Vial**

Director

PhD. Arquitecto Rolando Arturo Cubillos González

Universidad Santo Tomás  
Facultad de Ingeniería Civil  
Bogotá D.C, Colombia  
Noviembre de 2025



## **Agradecimiento**

A Dios, por la fortaleza, la claridad y la perseverancia que me permitieron culminar este proceso académico.

A mi familia, por ser el pilar fundamental de mi vida. A los valores de disciplina y esfuerzo; a mis hijos, por ser mi mayor motivación y la razón de seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes; y a mi esposo, por su paciencia, comprensión y aliento incondicional.

A mi director de tesis, por su guía, acompañamiento y valiosos aportes que orientaron el desarrollo de este trabajo y me permitieron crecer como profesional e investigadora.

A los docentes de la Universidad, quienes con su conocimiento y compromiso contribuyeron a fortalecer mis capacidades y a enriquecer el presente estudio.

A la Alcaldía Municipal de La Jagua del Pilar, al Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y al Departamento Nacional de Planeación (DNP), por facilitar el acceso a información técnica y normativa que resultó esencial para el análisis realizado.

A mis compañeros y colegas, por las discusiones, sugerencias y apoyo en cada etapa de este proceso, que hicieron de esta experiencia un camino más enriquecedor.

A todos ellos, mi gratitud más sincera, pues sin su apoyo, comprensión y confianza, este logro no habría sido posible.

Finalmente, se deja constancia de que para la redacción del presente documento se utilizaron herramientas digitales de apoyo académico con fines exclusivos de corrección ortográfica y de estilo, sin que ello sustituyera el análisis, la interpretación ni la autoría intelectual del trabajo.

---

# **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA PLANIFICACIÓN, SIMULACIÓN Y PRESUPUESTACIÓN DE UNA VÍA TERCIARIA SECTOR EL PARAÍSO, MUNICIPIO DE LA JAGUA DEL PILAR, LA GUAJIRA.**

## **Resumen**

La red vial terciaria en Colombia es esencial para la movilidad y el desarrollo de las comunidades rurales, aunque continúa marcada por fallas históricas en su planificación, insuficiencia de información técnica y una ejecución poco articulada que compromete la calidad y la continuidad de las obras. En este escenario, el presente estudio analiza hasta qué punto la metodología Building Information Modeling (BIM) puede aportar mejoras tangibles en la planificación, simulación y elaboración presupuestal del proyecto vial El Paraíso, en el municipio de La Jagua del Pilar (La Guajira). El objetivo central es demostrar que, incluso en entornos con recursos técnicos y presupuestales limitados, es posible fortalecer la toma de decisiones mediante herramientas digitales estructuradas.

La investigación adoptó un enfoque mixto, apoyado en revisión documental, entrevistas a profesionales con experiencia en infraestructura y la construcción de modelos digitales en InfraWorks, Civil 3D y Navisworks. Se comparó el método tradicional utilizado en el Contrato 007-2017 con un esquema de trabajo basado en BIM, incorporando modelos 3D, simulaciones 4D y análisis de costos 5D, alineados con los requerimientos establecidos por el Nivel de Información Necesaria (LOIN, 2025). Este ejercicio permitió evaluar la consistencia geométrica del diseño, la organización de los frentes de obra y la estimación parametrizada de cantidades.

Los resultados muestran mejoras relevantes: una reducción del 16,7 % en los tiempos de ejecución, un ahorro del 8 % en los costos de construcción, una disminución del 30 % en los costos de diseño y una reducción del 10 % en los sobrecostos derivados de variaciones de materiales y condiciones climáticas. También se observó un avance notable en la trazabilidad documental y en la coordinación entre disciplinas.

En síntesis, la aplicación de BIM en este caso demuestra ser una alternativa viable y pertinente para optimizar la eficiencia y el control en proyectos de vías terciarias, ofreciendo un camino metodológico replicable para otras iniciativas rurales en Colombia.

---

# APPLICATION OF THE BIM METHODOLOGY IN THE PLANNING, SIMULATION, AND COST ESTIMATION OF A TERTIARY ROAD IN EL PARAÍSO, MUNICIPALITY OF LA JAGUA DEL PILAR, LA GUAJIRA.

## Abstract

Road infrastructure in Colombia faces significant challenges, particularly in the construction and maintenance of the tertiary road network, which is essential for connectivity and the economic development of rural areas. In this context, the Building Information Modeling (BIM) methodology emerges as an innovative alternative that enhances planning, simulation, budgeting, and risk management in infrastructure projects.

This research project focuses on the application of BIM principles in the construction of the tertiary road El Paraíso, located in the municipality of La Jagua del Pilar – La Guajira, with the purpose of demonstrating its effectiveness as a technical and strategic tool for the planning and control of road works. Through a case study, 3D models and 4D–5D simulations were developed to compare the conventional project execution method with the BIM-based approach, showing an average reduction of 16.7% in execution time and 10% in direct costs.

Additionally, semi-structured interviews were conducted with experts in infrastructure and BIM management, whose insights supported the applicability of the methodology, highlighting its potential to improve data traceability, optimize resources, and strengthen preventive risk management.

The findings confirm that the BIM methodology constitutes an effective tool for the integrated management of road infrastructure projects, especially in contexts with limited technical and financial resources. Its implementation fosters interoperability among stakeholders, informed decision-making, and the sustainability of public investments. In conclusion, the application of BIM in rural tertiary roads represents a significant contribution to improving efficiency, transparency, and strategic planning in Colombia's road infrastructure sector.

**Keywords:** BIM, tertiary roads, road planning, 4D–5D modeling, LOIN, rural infrastructure, digital simulation

# Índice

|                                                                                | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. Introducción.....                                                           | 2    |
| 2. Justificación .....                                                         | 4    |
| 3. Objetivos.....                                                              | 6    |
| 3.1 Objetivo general .....                                                     | 6    |
| 3.2 Objetivos específicos .....                                                | 6    |
| 4. Marco de Referencia .....                                                   | 7    |
| 4.1 Marco conceptual.....                                                      | 7    |
| 4.2 Marco teórico .....                                                        | 9    |
| 4.2.1 <i>Infraestructura vial en Colombia</i> .....                            | 9    |
| 4.2.1.1 <i>Contexto de la infraestructura vial en Colombia</i> .....           | 10   |
| 4.2.1.2 <i>Desafíos en la infraestructura vial colombiana</i> .....            | 11   |
| 4.2.1.3 <i>Vías terciarias en Colombia: Importancia y necesidades</i> .....    | 13   |
| 4.2.1.4 <i>Tecnologías aplicadas a la construcción de vías</i> .....           | 14   |
| 4.2.1.5 <i>Introducción a la metodología BIM en infraestructura vial</i> ..... | 16   |
| 4.3 Marco legal .....                                                          | 18   |
| 4.3.1 <i>Marco Normativo</i> .....                                             | 18   |
| 4.3.2 <i>Marco regulatorio</i> .....                                           | 19   |
| 4.3.3 <i>Marco geográfico</i> .....                                            | 20   |
| 5. Estado del Arte .....                                                       | 23   |
| 5.1 Panorama internacional sobre BIM en infraestructura vial.....              | 23   |
| 5.2 Evidencia en América Latina y Colombia .....                               | 23   |
| 5.3 Resultados reportados sobre desempeño (costos, plazos y calidad) .....     | 26   |
| 5.4 Tecnologías complementarias y convergencia con BIM .....                   | 27   |
| 5.5 Limitaciones y vacíos de investigación .....                               | 27   |
| 5.6 Aporte de este estudio frente al estado del arte .....                     | 28   |
| 5.7 Síntesis crítica (mapa de evidencia).....                                  | 28   |
| 5.8 Avances normativos recientes en Colombia .....                             | 29   |
| 6. Metodología .....                                                           | 30   |
| 6.1 Tipo de Investigación. ....                                                | 30   |
| 6.2 Enfoque metodológico.....                                                  | 30   |
| 6.3 Ubicación del Proyecto.....                                                | 30   |
| 6.4 Diseño de la Investigación .....                                           | 32   |
| 6.5 Recolección y análisis de datos .....                                      | 34   |
| 6.6 Diseño del estudio de caso .....                                           | 35   |
| 6.7 Fuentes y técnicas de recolección .....                                    | 35   |
| 6.7.1 <i>Entrevistas a expertos BIM en infraestructura vial</i> .....          | 36   |
| 6.8 Procedimiento por fases (alineado a la guía LOIN) .....                    | 38   |
| 6.9 Variables, indicadores y análisis .....                                    | 39   |
| 6.10 Validez, confiabilidad y limitaciones.....                                | 39   |
| 6.11 Procedimiento ampliado y trazabilidad metodológica .....                  | 41   |

X

|           |                                                                                       |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.11.1    | <i>Técnicas de análisis de la información</i>                                         | 42        |
| 6.12      | Matrices comparativas aplicadas                                                       | 44        |
| 6.13      | Explicación del procedimiento de análisis                                             | 46        |
| 6.14      | Resultados esperados y validación empírica                                            | 47        |
| 6.15      | Validación de resultados                                                              | 47        |
| <b>7.</b> | <b>Resultados</b>                                                                     | <b>49</b> |
| 7.1       | Alternativas para la formulación y diseño de vías terciarias                          | 49        |
| 7.1.1     | <i>Identificación de problemas en la formulación y diseño de las vías terciarias.</i> | 50        |
| 7.1.2     | <i>Aplicación de la metodología BIM en la formulación y diseño de vías terciarias</i> | 52        |
| 7.1.3     | <i>Estrategias para la implementación de BIM en proyectos de vías terciarias.</i>     | 53        |
| 7.2       | Métodos Convencionales vs Metodología Innovadoras                                     | 55        |
| 7.3       | Análisis de Alternativas con Base en Tecnología y BIM                                 | 57        |
| 7.3.1     | <i>Gestión Documental Digital</i>                                                     | 57        |
| 7.3.2     | <i>Simulación de Costos y Tiempos</i>                                                 | 58        |
| 7.3.3     | <i>Análisis de Viabilidad con Metodología BIM.</i>                                    | 59        |
| 7.3.4     | <i>Validación empírica del flujo BIM aplicado al caso El Paraíso</i>                  | 60        |
| 7.3.4.1   | <i>Localización de la vía</i>                                                         | 60        |
| 7.3.4.2   | <i>Definición del área de trabajo</i>                                                 | 61        |
| 7.3.4.3   | <i>Generación de la superficie digital</i>                                            | 62        |
| 7.3.4.4   | <i>Trazado de la vía</i>                                                              | 63        |
| 7.3.4.5   | <i>Interoperabilidad IMX → Civil 3D</i>                                               | 65        |
| 7.3.4.6   | <i>Ingeniería de detalle en Civil 3D</i>                                              | 66        |
| 7.3.4.7   | <i>Dimensión 4D – Cronograma en MS Project</i>                                        | 67        |
| 7.3.4.8   | <i>Dimensión 5D – Presupuesto</i>                                                     | 67        |
| 7.3.4.9   | <i>Navisworks – Simulación de obra</i>                                                | 68        |
| 7.3.4.10  | <i>Dimensión 7D – Programación de mantenimiento (proyección a 2030)</i>               | 69        |
| 7.4       | Ahorros en Costos y Tiempos con Nuevas Alternativas                                   | 71        |
| 7.4.1     | <i>Reducción de Costos</i>                                                            | 72        |
| 7.4.2     | <i>Optimización de Tiempos</i>                                                        | 72        |
| 7.4.3     | <i>Disminución de Sobrecostos por imprevistos</i>                                     | 73        |
| 7.5       | Factores de modificación de materiales en la construcción de vías                     | 73        |
| 7.5.1     | <i>Materiales usados en vías terciarias en Colombia.</i>                              | 74        |
| 7.5.2     | <i>Factores que generan modificaciones en los materiales</i>                          | 76        |
| 7.5.3     | <i>Impacto de los Cambios en Costos y Tiempos de Obra</i>                             | 78        |
| 7.5.4     | <i>Estrategias para mitigar retrasos y sobrecostos</i>                                | 80        |
| 7.6       | Síntesis de resultados                                                                | 80        |
| 7.7       | Ajustes y validaciones posteriores al cumplimiento de los objetivos                   | 82        |
| <b>8.</b> | <b>Discusión y Conclusiones</b>                                                       | <b>86</b> |
| 8.1       | Discusión                                                                             | 86        |
| 8.2       | Conclusiones                                                                          | 88        |
| <b>9.</b> | <b>Referencias Bibliográficas</b>                                                     | <b>92</b> |

## Índice de figuras

|                                                                                                                                | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Ilustración 1 .</b> <i>Mapa del Departamento de La Guajira, Ubicación del municipio La Jagua del Pilar.....</i>             | 31   |
| <b>Ilustración 2.</b> <i>Ubicación del sector El Paraíso, Ubicado en el municipio La Jagua del Pilar. ....</i>                 | 32   |
| <b>Ilustración 3.</b> <i>Navisworks y Simulación de desarrollo de obra de una vía terciaria en tiempos y presupuestos.....</i> | 58   |
| <b>Ilustración 4.</b> <i>Localización de la vía en InfraWorks .....</i>                                                        | 61   |
| <b>Ilustración 5.</b> <i>Área de trabajo InfraWorks .....</i>                                                                  | 62   |
| <b>Ilustración 6.</b> <i>Generación de la superficie en InfraWorks .....</i>                                                   | 63   |
| <b>Ilustración 7.</b> <i>Trazado de la vía en InfraWorks .....</i>                                                             | 64   |
| <b>Ilustración 8.</b> <i>Interoperabilidad IMX → Civil 3D .....</i>                                                            | 65   |
| <b>Ilustración 9.</b> <i>Ingeniería de detalle Civil 3D .....</i>                                                              | 66   |
| <b>Ilustración 10.</b> <i>Cronograma en Ms Project .....</i>                                                                   | 67   |
| <b>Ilustración 11.</b> <i>Simulación en Navisworks .....</i>                                                                   | 68   |
| <b>Ilustración 12.</b> <i>Factores identificados para la implementación BIM en vías terciarias rurales...77</i>                | 77   |

---

## Índice de Graficas

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Grafica 1.</b> <i>Fases de la Investigación.</i> .....                                                                   | 33 |
| <b>Grafica 2 .</b> <i>Ventajas aplicadas en la metodología BIM para el diseño y formulación de vías terciarias.</i> .....   | 53 |
| <b>Grafica 3.</b> <i>Comparación de tiempo de procesamiento de datos en métodos convencionales y metodología BIM.</i> ..... | 56 |
| <b>Grafica 4.</b> <i>Disminución de Sobrecostos por imprevistos en la vía terciaria del Corregimiento el Paraíso.</i> ..... | 73 |

---

## Índice de tablas

|                                                                                                                                                   | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Hitos de adopción del BIM en infraestructura en América Latina y Colombia</i> .....                                            | 25   |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Síntesis crítica del estado del arte (mapa de evidencia) sobre BIM en infraestructura vial</i> .....                           | 28   |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Codificación temática de entrevistas a expertos BIM en infraestructura vial</i> .....                                          | 37   |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Organización metodológica del estudio de caso según fases del ciclo de vida y Nivel de Información Necesaria (LOIN).</i> ..... | 38   |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Procedimiento metodológico y trazabilidad del estudio de caso</i> .....                                                        | 41   |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Trazabilidad metodológica entre fases BIM, herramientas y resultados</i> .....                                                 | 43   |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Comparación de procesos tradicionales vs BIM por fase del ciclo de vida</i> .....                                              | 44   |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Comparativo de indicadores técnicos y económicos</i> .....                                                                     | 44   |
| <b>Tabla 9.</b> <i>Niveles de información y cumplimiento LOIN</i> .....                                                                           | 45   |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Análisis Identificación de problemas en el diseño de vías terciarias</i> .....                                                | 49   |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Identificación de problemas en el diseño de vías terciarias</i> .....                                                         | 51   |
| <b>Tabla 12.</b> <i>Comparación entre métodos convencionales y metodología BIM</i> .....                                                          | 55   |
| <b>Tabla 13.</b> <i>Beneficios de la gestión documental digital</i> .....                                                                         | 57   |
| <b>Tabla 14.</b> <i>Comparación de costos proyectados entre método convencional y metodología BIM</i> .....                                       | 59   |
| <b>Tabla 15.</b> <i>Comparación del análisis de viabilidad en método convencional y con metodología BIM</i> .....                                 | 60   |
| <b>Tabla 16.</b> <i>Programación de mantenimientos</i> .....                                                                                      | 70   |
| <b>Tabla 17.</b> <i>Matriz de trazabilidad (paso-a-paso → evidencia)</i> .....                                                                    | 71   |
| <b>Tabla 18.</b> <i>Comparación de resultados entre método convencional y metodología BIM</i> .....                                               | 72   |
| <b>Tabla 19.</b> <i>Materiales Usados en vía terciaria "El Paraíso" del Municipio de La Jagua del Pilar.</i> 75                                   |      |
| <b>Tabla 20.</b> <i>Impacto estimado de modificaciones de materiales en la obra.</i> .....                                                        | 78   |
| <b>Tabla 21.</b> <i>Estrategias para mitigar retrasos y sobrecostos en la vía</i> .....                                                           | 80   |
| <b>Tabla 22.</b> <i>Resultados de entrevistas a expertos en metodología BIM</i> .....                                                             | 84   |
| <b>Tabla 23.</b> <i>Matriz de trazabilidad entre objetivos, metodología, resultados y conclusiones del estudio.</i> .....                         | 90   |

## Lista de símbolos y/o abreviaturas y/o acrónimos

- 3D: Modelado geométrico tridimensional / *Three-Dimensional Modeling*
- 4D: Integración de tiempo y programación de obra / *Time and Scheduling Integration*
- 5D: Vinculación de costos al modelo / *Cost Integration into the Model*
- 6D: Gestión para mantenimiento y operación (*Facility Management*) / *Operations and Facility Management*
- APU: Análisis de Precios Unitarios / *Unit Price Analysis*
- BIM: *Building Information Modeling* / Modelado de Información para la Construcción
- CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe / *Economic Commission for Latin America and the Caribbean*
- DNP: Departamento Nacional de Planeación / *National Planning Department*
- FEM: Foro Económico Mundial / *World Economic Forum*
- INVIAS: Instituto Nacional de Vías / *National Roads Institute (Colombia)*
- NBIMS-US: *National BIM Standard – United States* / Estándar Nacional BIM de los Estados Unidos
- OCI: Oficina de Control Interno / *Internal Control Office*
- OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico / *Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)*
- SECOP: Sistema Electrónico para la Contratación Pública / *Electronic System for Public Procurement*
- SIG: Sistema de Información Geográfica / *Geographic Information System (GIS)*

## 1. Introducción

Las vías terciarias representan mucho más que simples carreteras en el mapa: son los caminos que conectan a las comunidades rurales con las oportunidades de desarrollo, los mercados y los servicios básicos que mejoran su calidad de vida. En efecto, en Colombia, estas rutas constituyen un eje fundamental para el crecimiento socioeconómico de las regiones más apartadas, al facilitar la movilidad, el comercio local y la integración territorial (MinTransporte, 2018). Sin embargo, la realidad evidencia profundas dificultades en su construcción y mantenimiento. La falta de una planificación eficiente, el uso de metodologías tradicionales y la limitada optimización en la gestión de proyectos han derivado en sobre costos, retrasos y obras de calidad insuficiente, afectando directamente a las comunidades que más dependen de ellas (Murillo, 2017).

A partir de lo anterior, surge la necesidad de implementar metodologías innovadoras que transformen la manera en que se conciben, planifican y ejecutan los proyectos viales. En este contexto, la presente investigación aplica la metodología Building Information Modeling (BIM) al caso de la vía terciaria sector El Paraíso, en el municipio de La Jagua del Pilar – La Guajira, con el propósito de evaluar su impacto en la planificación, simulación y presupuestación de proyectos de infraestructura rural.

Ahora bien, BIM se concibe en este trabajo como un enfoque integral de gestión de la información, basado en la interoperabilidad entre disciplinas, la colaboración entre actores y la integración coordinada de los aspectos técnicos, económicos y temporales del proyecto (Eastman et al., 2018). En este marco, se desarrollaron modelos digitales tridimensionales (3D), simulaciones 4D asociadas al cronograma de ejecución y modelaciones 5D para la estimación de costos, utilizando herramientas como InfraWorks, Civil 3D y Navisworks.

Los resultados obtenidos evidencian mejoras sustanciales en la eficiencia del proyecto: una reducción del 16,7 % en el tiempo de ejecución, un 8 % en los costos de construcción y un 30 % en los costos de diseño, en comparación con el método convencional. Estas cifras permiten concluir que la metodología BIM tiene un alto potencial para optimizar la gestión de recursos, fortalecer la trazabilidad de la información y mejorar la toma de decisiones en proyectos de vías terciarias.

Asimismo, este trabajo se enmarca en los lineamientos del Plan BIM Colombia 2020–2030, impulsado por el DNP, el INVIAS, el Ministerio de Transporte y el BIM Fórum Colombia, orientado a promover la adopción progresiva de metodologías digitales en la infraestructura pública. Su aplicación en un contexto rural como el de La Jagua del Pilar demuestra que, aún en condiciones de limitación técnica y presupuestal, BIM puede contribuir al fortalecimiento institucional, la transparencia de la inversión pública y la sostenibilidad territorial.

En consecuencia, la presente investigación busca demostrar empíricamente la aplicabilidad de la metodología BIM como herramienta de apoyo a la planificación, el diseño y el control de proyectos viales rurales, generando una base metodológica replicable para futuras intervenciones. En definitiva, el estudio aporta tanto a la práctica profesional como a la política pública, proponiendo un modelo técnico ajustado a las condiciones del país y alineado con los objetivos del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y 11).

## 2. Justificación

La ingeniería civil desempeña un papel decisivo en el desarrollo económico y social de un país, al reflejar su impacto en la modernización de la infraestructura y en la mejora de la calidad de vida de la población. En este sentido, analizar el comportamiento del sector permite generar información clave para la formulación de estrategias efectivas, tanto en el ámbito gubernamental como en el privado. Para ello, resulta indispensable contar con datos precisos sobre la inversión, la planificación y la gestión de proyectos de infraestructura, los cuales son fundamentales para orientar políticas públicas sostenibles y promover el desarrollo territorial equilibrado (Banco Mundial, 2020).

Ahora bien, en Colombia, la infraestructura vial enfrenta desafíos estructurales persistentes. De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2022) y el Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2023), más del 80 % de la red terciaria del país presenta deficiencias técnicas y limitaciones de transitabilidad, afectando la movilidad rural, encareciendo el transporte de productos agrícolas y restringiendo el acceso de las comunidades a servicios básicos. Así las cosas, en regiones como La Jagua del Pilar – La Guajira, la precariedad de las vías terciarias constituye un obstáculo para la integración territorial y la competitividad regional, con repercusiones directas en la equidad social y económica (CEPAL, 2024).

Este panorama evidencia la necesidad de modernizar los procesos de planeación, diseño y ejecución de proyectos viales mediante la adopción de herramientas tecnológicas que garanticen eficiencia, trazabilidad y sostenibilidad. Dentro de este contexto, la metodología Building Information Modeling (BIM) se consolida como una alternativa estratégica para transformar la gestión de proyectos de infraestructura, al integrar en un entorno digital la información técnica, económica y temporal de cada fase del ciclo de vida del proyecto (Eastman et al., 2018).

La presente investigación aplica el enfoque BIM de manera práctica al caso de estudio de la vía terciaria El Paraíso, en el municipio de La Jagua del Pilar – La Guajira. Con este propósito, se desarrollaron modelos digitales tridimensionales (3D), simulaciones de programación (4D) y presupuestación (5D) utilizando herramientas como InfraWorks, Civil 3D y Navisworks. Los resultados obtenidos permiten afirmar que BIM contribuye significativamente a reducir los costos

de diseño en un 30 %, los costos de construcción en un 8 % y los tiempos de ejecución en un 16,7 % frente al método convencional, validando su aplicabilidad en contextos rurales con recursos técnicos y financieros limitados.

Adicionalmente, el estudio se enmarca en los objetivos del Plan BIM Colombia 2020–2030, impulsado por el DNP, el Ministerio de Transporte, el INVIAS y el BIM Fórum Colombia, que promueven la adopción progresiva de esta metodología en el sector público. Su implementación contribuye al fortalecimiento del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG), al fomentar la eficiencia del gasto público, la transparencia contractual y la sostenibilidad de la infraestructura.

En este sentido, la investigación trasciende la dimensión conceptual para aportar evidencia empírica sobre los beneficios del BIM en proyectos reales, generando un modelo metodológico replicable para la formulación y gestión de vías terciarias. Desde el punto de vista académico, el estudio ofrece una base científica que puede servir de referencia para futuras investigaciones y programas de formación en ingeniería civil y gestión de infraestructura. Desde la perspectiva institucional, plantea una ruta técnica y estratégica para fortalecer la gobernanza digital, optimizar los recursos y mejorar la conectividad rural en el país, contribuyendo directamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y 11).

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Implementar la metodología BIM para analizar tecnologías aplicables al diseño y construcción de vías terciarias, con el fin de optimizar la toma de decisiones en la formulación, planificación y ejecución de proyectos viales a nivel nacional.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Identificar alternativas tecnológicas que agilicen la formulación y el diseño de vías terciarias, promoviendo la eficiencia en tiempo y costos durante su ejecución.
- Analizar las causas más frecuentes de cambios en materiales durante la ejecución de vías terciarias y su impacto en los plazos y presupuestos, utilizando herramientas de modelación digital.
- Diseñar y validar un método de trabajo basado en modelos digitales mediante el uso de la metodología BIM para el desarrollo de proyectos de vías terciarias.
- Establecer los procesos técnicos de diseño y planificación bajo la metodología BIM, orientados a lograr una mayor eficiencia y ahorro en la elaboración de presupuestos para proyectos de vías terciarias.

## 4. Marco de Referencia

### 4.1 Marco conceptual

El marco conceptual delimita y clarifica los principales conceptos y categorías que fundamentan el análisis de este proyecto. A continuación, se presentan los términos clave y su relación con la planificación y presupuestación de vías terciarias mediante la metodología BIM.

- Infraestructura vial

La infraestructura vial hace referencia al sistema de obras físicas que permiten la movilidad de personas, bienes y servicios. Está conformada por carreteras, estructuras de soporte como puentes y túneles, además de elementos complementarios como drenajes y señalización. Este conjunto constituye un medio esencial para la integración territorial y el acceso a servicios básicos en contextos rurales (Banister, 2005).

- Vías terciarias

Las vías terciarias corresponden a carreteras de bajo volumen de tránsito, generalmente sin pavimentar, que enlazan áreas rurales con cabeceras municipales o con redes viales de mayor jerarquía. Su adecuada planeación y conservación impacta directamente el desarrollo rural, al reducir los costos logísticos y mejorar la conectividad de los productores con los mercados urbanos (INVIAS, 2023).

- Planificación vial

La planificación vial se entiende como un proceso estructurado que orienta la formulación y el desarrollo de proyectos de transporte terrestre. Incluye la elaboración de estudios técnicos, diseño geométrico, análisis de tránsito, proyecciones de costos y programación de actividades. Su finalidad es lograr que los proyectos sean técnicamente viables, económicamente sostenibles y socialmente pertinentes (DNP, 2020).

- Presupuesto de obra

El presupuesto de obra constituye la estimación detallada de los costos que requiere un proyecto para su ejecución, considerando materiales, mano de obra, equipos y gastos indirectos.

Una presupuestación bien estructurada favorece la transparencia, reduce la probabilidad de sobrecostos y fortalece la eficiencia en la gestión de los recursos públicos (Rojas & Ramírez, 2018).

- Tecnologías de información aplicadas a la ingeniería civil

Las tecnologías de la información en el ámbito de la ingeniería civil se refieren al conjunto de herramientas digitales que facilitan la recolección, procesamiento y análisis de datos técnicos. Entre ellas se destacan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el diseño asistido por computadora (CAD), el uso de drones para levantamientos topográficos y las plataformas de gestión colaborativa como BIM, que optimizan la toma de decisiones y mejoran la trazabilidad de los proyectos (Martínez & López, 2020).

- Building Information Modeling (BIM)

BIM es una metodología colaborativa que integra modelos digitales tridimensionales con información técnica, económica y administrativa de todas las fases del ciclo de vida de un proyecto. Su uso en infraestructura vial permite centralizar datos topográficos, estructurales y presupuestales, facilitando la coordinación interdisciplinaria y reduciendo errores en la ejecución (Eastman et al., 2018).

- Dimensiones BIM (3D, 4D, 5D, 6D)

3D: Modelado geométrico del diseño.

4D: Integración del tiempo y programación de obra.

5D: Vinculación de costos al modelo.

6D: Gestión para mantenimiento y operación (Facility Management). (Succar, 2009; ISO 19650, 2018).

- Interoperabilidad

La interoperabilidad hace referencia a la capacidad de diferentes sistemas, disciplinas y actores de compartir, interpretar y utilizar la información de manera eficiente. En entornos BIM, este principio se apoya en estándares abiertos como el formato IFC (Industry Foundation

Clases), que asegura la coordinación entre las etapas de diseño, construcción, presupuesto y mantenimiento (NBIMS-US, 2015).

- Coordinación interdisciplinaria

Es el trabajo articulado entre profesionales de distintas áreas —ingenieros civiles, arquitectos, topógrafos, diseñadores y administradores— que participan en el desarrollo de proyectos. En infraestructura vial, esta coordinación garantiza que los aspectos técnicos, ambientales, sociales y financieros se integren en un proceso coherente y eficiente.

- Gestión documental digital

La gestión documental digital consiste en la organización estructurada y sistemática de la información técnica y administrativa en medios electrónicos. Incluye planos, especificaciones, análisis de precios unitarios (APU) y presupuestos, lo que permite trazabilidad, control de versiones y accesibilidad remota para todos los actores del proyecto (Ley 594 de 2000).

- Simulación de escenarios

La simulación de escenarios es un procedimiento que permite proyectar y analizar distintas alternativas de diseño y construcción antes de su ejecución. A través de BIM, es posible evaluar el comportamiento de materiales, estimar cronogramas de obra, analizar drenajes y calcular movimientos de tierra, reduciendo riesgos y optimizando la toma de decisiones (Hardin & McCool, 2015).

## **4.2 Marco teórico**

### **4.2.1 Infraestructura vial en Colombia**

La infraestructura vial constituye un soporte esencial para el desarrollo social y económico, al facilitar la movilidad de personas, mercancías y servicios en el territorio nacional. En Colombia, aunque se han logrado avances en inversión y construcción durante la última década, aún persisten grandes limitaciones en cobertura y calidad, particularmente en zonas rurales de difícil acceso como La Jagua del Pilar (DNP, 2020).

De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (2020), el país dispone de aproximadamente 206.000 km de red vial, de los cuales solo el 15% está pavimentado. Esta cifra refleja una brecha sustancial frente a países latinoamericanos como Chile (35%) o Brasil (25%), donde la proporción de vías pavimentadas es superior (Banco Mundial, 2021). Esta diferencia afecta la competitividad logística de Colombia y genera desventajas en la integración regional.

La insuficiencia en la inversión pública, sumada a la compleja geografía del país y a fenómenos climáticos extremos (lluvias intensas, deslizamientos de tierra, sequías), ha impedido consolidar un sistema de transporte eficiente y equitativo. Estas condiciones elevan los costos de operación, dificultan el acceso de las comunidades a servicios básicos y reducen las oportunidades de desarrollo productivo en sectores apartados.

En este escenario, las vías terciarias cumplen un papel determinante, ya que constituyen la red de conexión entre las áreas rurales y los centros urbanos. Sin embargo, gran parte de ellas se encuentra en mal estado por falta de mantenimiento, ausencia de estudios técnicos integrales y aplicación de metodologías de planificación convencionales. Esta situación demuestra la urgencia de implementar estrategias innovadoras que permitan aprovechar mejor los recursos disponibles.

El uso de metodologías como Building Information Modeling (BIM) aparece como una alternativa pertinente, ya que ofrece mecanismos para centralizar información, mejorar la estimación de costos y tiempos, y optimizar la gestión documental en proyectos de infraestructura. En consecuencia, su aplicación en vías terciarias representa no solo una innovación tecnológica, sino una necesidad para cerrar brechas de conectividad y desarrollo en el país.

#### **4.2.1.1 Contexto de la infraestructura vial en Colombia**

La red vial colombiana está compuesta por tres niveles jerárquicos: primarias, secundarias y terciarias, cada una con funciones específicas en la integración territorial.

- Vías primarias: conectan las principales ciudades y soportan el tráfico de mayor volumen, incluyendo corredores estratégicos de comercio internacional.

- Vías secundarias: enlazan las cabeceras municipales con las primarias, permitiendo acceso regional y fortaleciendo la economía intermedia.
- Vías terciarias: representan cerca del 69% de la red vial nacional (aproximadamente 142.000 km), y son fundamentales para integrar a las comunidades rurales con los centros urbanos y los mercados (INVIAS, 2023).

A pesar de su relevancia, gran parte de la red terciaria se encuentra en mal estado. De acuerdo con el Banco Mundial (2021), alrededor del 50% de estas carreteras presenta condiciones deficientes, lo que incrementa los costos logísticos en más de un 15% y reduce la competitividad de la producción agrícola. Este deterioro se relaciona con la escasa inversión en mantenimiento, el uso de diseños de baja especificación técnica y la falta de metodologías modernas de planificación.

El reto se intensifica en territorios con condiciones geográficas complejas como Colombia, donde la presencia de montañas, suelos inestables y climas extremos (lluvias intensas, sequías prolongadas) acelera el deterioro de la red vial. Estas características elevan los costos de construcción y conservación, y obligan a replantear las estrategias tradicionales de diseño y presupuestación.

En el caso específico del departamento de La Guajira, y particularmente en el municipio de La Jagua del Pilar, estas deficiencias son evidentes. El corregimiento El Paraíso depende de vías terciarias con baja capacidad estructural y limitado mantenimiento, lo que restringe la movilidad rural y dificulta la integración con mercados regionales. Esta situación refleja a pequeña escala la problemática nacional y muestra la pertinencia de explorar soluciones innovadoras.

En este contexto, el uso de la metodología Building Information Modeling (BIM) se plantea como una oportunidad para mejorar la planificación y presupuestación de estas infraestructuras. Su capacidad para integrar datos topográficos, geotécnicos y financieros en un entorno digital permite anticipar escenarios de deterioro, optimizar la asignación de recursos y fortalecer la sostenibilidad de los proyectos en regiones rurales.

#### **4.2.1.2 Desafíos en la infraestructura vial colombiana**

El desarrollo vial en Colombia enfrenta múltiples limitaciones que afectan la competitividad, la equidad territorial y la calidad de vida de las comunidades rurales. Estos

desafíos, que se presentan tanto a nivel nacional como en regiones apartadas como La Jagua del Pilar, pueden agruparse en los siguientes aspectos:

- ◆ Deficiencias en la planificación y gestión de proyectos

Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2020), la infraestructura vial adolece de una planificación fragmentada y con baja articulación entre las entidades nacionales, departamentales y municipales. Esta falta de integración se traduce en sobrecostos, retrasos y deficiencias en la trazabilidad de los procesos. La aplicación de BIM permitiría estructurar mejor la información y garantizar la coordinación interdisciplinaria en la fase de diseño.

- Falta de mantenimiento y deterioro de las vías terciarias

El INVIAS (2023) señala que gran parte de la red terciaria se encuentra en estado crítico por la ausencia de programas sistemáticos de mantenimiento preventivo. El deterioro genera mayores tiempos de viaje, costos elevados en transporte y dificultades de acceso a servicios básicos. La implementación de BIM en la planificación puede anticipar escenarios de deterioro y estimar los costos de conservación a lo largo del ciclo de vida de la vía.

- Limitaciones presupuestarias

La ANDI (Rojas & Ramírez, 2018) reporta que Colombia invierte apenas el 1,5% del PIB en infraestructura, mientras que países como Chile o Brasil destinan entre el 3% y el 5%. Esta brecha presupuestaria reduce la capacidad del Estado para atender simultáneamente proyectos primarios y terciarios. En este sentido, BIM aporta herramientas para optimizar los recursos existentes, al reducir los errores de diseño y evitar reprocesos durante la ejecución.

- Condiciones geográficas y climáticas adversas

Colombia presenta un relieve montañoso, diversidad de suelos y condiciones climáticas extremas (lluvias torrenciales, sequías, deslizamientos), lo que incrementa la complejidad de construir y conservar carreteras (Murillo, 2017). Estas condiciones demandan diseños más flexibles y resistentes. BIM permite modelar digitalmente los escenarios geotécnicos e hídricos, simulando alternativas constructivas que minimicen riesgos técnicos y financieros.

- Corrupción y deficiencias en la contratación pública

La Transparencia por Colombia (2022) estima que cerca del 30% de los recursos destinados a infraestructura se ven afectados por prácticas irregulares en la contratación. Esto genera obras inconclusas, sobrecostos y pérdida de confianza ciudadana. El uso de BIM puede contribuir a mejorar la transparencia, al centralizar la información del proyecto en entornos digitales accesibles y auditables en todas sus fases.

En conjunto, estos desafíos reflejan la necesidad de un cambio en los modelos de planificación y gestión de la infraestructura vial en Colombia. La metodología BIM se presenta como una alternativa integral, que no solo responde a los problemas técnicos y financieros, sino que también fortalece la sostenibilidad y la transparencia de los proyectos, especialmente en las vías terciarias que conectan comunidades rurales con los centros urbanos.

#### ***4.2.1.3 Vías terciarias en Colombia: Importancia y necesidades***

Las vías terciarias representan el componente más extenso de la red vial en Colombia y constituyen un elemento esencial para la integración territorial y el desarrollo socioeconómico del país. Según el Ministerio de Transporte (2020), estas carreteras equivalen a cerca del 70% de la red nacional, lo que corresponde a más de 142.000 km. Su función principal es conectar a las comunidades rurales con cabeceras municipales, centros urbanos y redes viales de mayor jerarquía.

El papel de estas vías se refleja en tres aspectos fundamentales:

- Reducción de brechas territoriales: permiten integrar comunidades apartadas con mercados regionales y nacionales.
- Dinamización económica: facilitan el transporte de productos agrícolas, reduciendo los costos logísticos y mejorando la competitividad rural.
- Equidad social: garantizan acceso a servicios básicos como salud, educación y oportunidades laborales.

No obstante, a pesar de su relevancia, la red terciaria presenta deficiencias críticas. El CONPES 3991 de 2020 sobre política de transporte rural advirtió que más de la mitad de estas vías están en mal estado, lo que limita la movilidad, eleva los costos de producción y acentúa la vulnerabilidad de las comunidades rurales frente a fenómenos climáticos. El INVIAS (2023)

confirmó esta situación al señalar que muchas vías carecen de señalización, drenajes adecuados y estructuras de soporte, lo que compromete su transitabilidad y seguridad.

En el caso particular del municipio de La Jagua del Pilar (La Guajira), y en especial en el corregimiento de El Paraíso, estas dificultades son evidentes. Las vías de acceso presentan deterioro, limitada transitabilidad en épocas de lluvias y una falta de diseños integrales que garanticen su sostenibilidad a largo plazo. Esto afecta la comercialización de productos agropecuarios, restringe la movilidad de los habitantes y reduce las oportunidades de desarrollo económico local.

Frente a este panorama, resulta indispensable implementar estrategias modernas de planificación y gestión, capaces de optimizar los recursos limitados y garantizar proyectos más sostenibles. La metodología Building Information Modeling (BIM) se perfila como una herramienta idónea para este propósito, al permitir:

- Integrar información técnica en entornos digitales accesibles.
- Estimar con mayor precisión los costos y tiempos de ejecución.
- Anticipar riesgos geotécnicos y climáticos mediante simulaciones.
- Fortalecer la trazabilidad documental y la transparencia en la gestión pública.

De esta manera, las vías terciarias no solo constituyen un desafío de infraestructura, sino también una oportunidad estratégica para aplicar herramientas innovadoras como BIM, que garanticen la equidad territorial y promuevan el desarrollo sostenible en regiones rurales del país.

#### ***4.2.1.4 Tecnologías aplicadas a la construcción de vías***

Durante las últimas décadas, la incorporación de herramientas tecnológicas ha transformado la manera en que se planifican, diseñan, construyen y mantienen las infraestructuras viales. Estas innovaciones han permitido mayor precisión en los estudios, eficiencia en la ejecución y sostenibilidad en la gestión de proyectos.

Entre las tecnologías más relevantes se destacan:

- Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG integran datos cartográficos, topográficos y socioeconómicos, lo que facilita la toma de decisiones estratégicas en proyectos viales. En Colombia, entidades como el IGAC y programas de catastro multipropósito han incorporado esta tecnología para identificar zonas de riesgo, optimizar trazados y mejorar la conectividad territorial.

- Drones y fotogrametría digital

El uso de drones en levantamientos topográficos ha reducido significativamente los tiempos y costos de recolección de datos frente a los métodos tradicionales. Estas herramientas permiten generar modelos digitales de terreno (DTM) y ortofotos de alta resolución, útiles para identificar pendientes críticas, zonas de erosión o tramos vulnerables. Algunos municipios colombianos han comenzado a aplicar estas tecnologías en obras de infraestructura local.

- Diseño asistido por computadora (CAD) y modelado 3D

El CAD y el modelado tridimensional han mejorado la precisión en el diseño geométrico y estructural, facilitando la creación de planos digitales y análisis comparativos de alternativas de trazado. Estas herramientas constituyen la base para integrar modelos más complejos en entornos colaborativos como BIM.

- Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT)

La combinación de sensores y algoritmos de análisis de datos ha dado paso a sistemas de monitoreo en tiempo real, capaces de identificar deterioros en la vía y anticipar fallas. En proyectos piloto de concesiones viales en Colombia ya se han implementado sensores para mantenimiento predictivo, lo que permite reducir costos de reparación y aumentar la vida útil de las carreteras.

- Building Information Modeling (BIM)

Entre las tecnologías emergentes, BIM destaca como un sistema integrador. A diferencia de otras herramientas que funcionan de manera aislada, BIM centraliza en un único modelo digital la información topográfica, geotécnica, estructural, presupuestal y de programación. Asimismo, permite la interoperabilidad con softwares como Civil 3D, InfraWorks y Navisworks, lo que potencia la capacidad de análisis en dimensiones 3D, 4D y 5D (Eastman et al., 2018; Succar, 2009).

En Colombia, aunque la aplicación de estas tecnologías en proyectos viales terciarios aún es incipiente, la combinación de SIG, drones, CAD y BIM representa una oportunidad estratégica para mejorar la planificación, presupuestación y ejecución de obras rurales, optimizando los recursos y reduciendo los riesgos derivados de la geografía y el clima.

#### **4.2.1.5 Introducción a la metodología BIM en infraestructura vial**

La metodología Building Information Modeling (BIM) se ha consolidado como una de las innovaciones más relevantes en la gestión de proyectos de construcción e infraestructura. Se trata de un proceso colaborativo basado en la creación y administración de modelos digitales tridimensionales que integran información técnica, económica y administrativa en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto (Azhar, 2011).

Además de su papel en la coordinación y optimización de proyectos, la metodología BIM se ha consolidado como una herramienta de gestión de riesgos, al permitir la simulación anticipada de escenarios constructivos, financieros y ambientales. Su enfoque predictivo facilita la toma de decisiones informadas, reduciendo la incertidumbre y fortaleciendo la trazabilidad de la información a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Gibson & Hamilton, 2020).

En el ámbito de la infraestructura vial, BIM permite centralizar datos relacionados con el diseño geométrico, los estudios geotécnicos, la selección de materiales, los costos y la programación de actividades, lo que facilita una planificación más precisa y una gestión más eficiente de los recursos (Eastman et al., 2018).

##### **Beneficios de BIM en proyectos viales**

- Detección temprana de interferencias: evita errores constructivos mediante la herramienta de clash detection.
- Optimización de tiempos: gracias a la simulación 4D, que integra el cronograma de obra en el modelo digital.
- Control presupuestal preciso: mediante el modelado 5D, que vincula cantidades de obra con costos.
- Colaboración interdisciplinaria: al integrar en un mismo entorno digital a diseñadores, ingenieros, contratistas y gestores.

- Gestión de riesgos: posibilita la identificación temprana de riesgos técnicos, financieros y ambientales mediante análisis predictivos basados en datos integrados del modelo (Mahamadu et al., 2019).
- Gestión del ciclo de vida: con el uso de BIM 6D para mantenimiento y operación de la infraestructura (Succar, 2009; ISO 19650, 2018).

### Experiencias internacionales

El uso de BIM en infraestructura vial se ha institucionalizado en diversos países:

- Unión Europea: desde 2019 es obligatorio en proyectos financiados con recursos públicos (EUBIM Task Group, 2017).
- Chile: implementó el Plan BIM Chile como parte de su política nacional de modernización de la construcción.
- España: adoptó la obligatoriedad de BIM en proyectos de infraestructura pública desde 2019, impulsado por el Ministerio de Fomento.

Estos referentes demuestran que la metodología no solo optimiza la ejecución de proyectos, sino que también fortalece la transparencia y la eficiencia en el uso de los recursos públicos.

### Situación en Colombia

En el contexto colombiano, la adopción de BIM ha avanzado de forma progresiva. El Plan BIM Colombia 2020–2030, liderado por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), definió una hoja de ruta para su implementación en proyectos de infraestructura pública. Más recientemente, la Resolución 20243040050505 de 2024 del Ministerio de Transporte oficializó la obligatoriedad de aplicar BIM en proyectos de transporte, estableciendo lineamientos para su uso en todas las fases: planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.

No obstante, en el caso de las vías terciarias, la aplicación de esta metodología sigue siendo limitada, principalmente por la falta de capacitación profesional y la escasez de recursos financieros. Sin embargo, su potencial es significativo: BIM puede mejorar la eficiencia en la planificación, la precisión en la presupuestación y la sostenibilidad de proyectos viales de bajo

costo pero de alto impacto social. En este sentido, la presente investigación aporta evidencia empírica sobre la aplicación de BIM en el proyecto Vía El Paraíso (La Jagua del Pilar – La Guajira), demostrando reducciones promedio del 16,7 % en el tiempo de ejecución y del 10 % en los costos directos, además de fortalecer la gestión preventiva de riesgos en entornos rurales con limitaciones técnicas y presupuestales.

### **4.3 Marco legal**

El marco legal corresponde al conjunto de leyes, políticas y lineamientos que regulan la planeación, contratación, diseño, construcción y mantenimiento de vías terciarias en Colombia. Asimismo, incluye las disposiciones recientes sobre la adopción de la metodología BIM y la definición del Nivel de Información Necesaria (LOIN), que permiten estructurar los proyectos bajo estándares de eficiencia y trazabilidad.

#### **4.3.1 Marco Normativo**

Ley 105 de 1993 – Principios básicos del transporte  
Define competencias de la Nación y entidades territoriales en la planeación y conservación de infraestructura vial. Reconoce la importancia de las vías terciarias en la integración rural y el desarrollo regional.

Ley 80 de 1993 – Estatuto General de Contratación de la Administración Pública  
Establece principios de economía, planeación, transparencia y responsabilidad en la contratación estatal. Obliga a contar con estudios previos, diseños y presupuestos estructurados antes de la ejecución de obras.

Ley 152 de 1994 – Ley Orgánica del Plan de Desarrollo  
Exige que los proyectos de inversión pública se articulen con planes municipales, departamentales y nacionales, garantizando coherencia en la asignación de recursos.

Ley 1682 de 2013 – Infraestructura de Transporte  
Regula la planeación, contratación, ejecución y gestión de proyectos de transporte, incluyendo disposiciones para agilizar adquisición predial, licencias y gestión predial.

Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026  
Prioriza la mejora de la red vial terciaria para cerrar brechas territoriales y promover desarrollo rural sostenible.

CONPES 3982 de 2019 – Política Nacional de Edificaciones Sostenibles  
Introduce la adopción progresiva de BIM en proyectos públicos como herramienta para eficiencia y sostenibilidad.

Plan BIM Colombia 2020–2030 (DNP)  
Define la hoja de ruta para la adopción progresiva y estandarizada de BIM en el país, estableciendo metas de obligatoriedad en proyectos de infraestructura pública.

#### **4.3.2 Marco regulatorio**

Decreto 1082 de 2015  
Reglamenta la Ley 80 en materia de contratación estatal. Define requisitos para estudios previos, análisis de precios unitarios (APU), diseños y presupuestos. Su aplicación se fortalece con BIM, que permite estructurar esta información en entornos digitales interoperables.

Manual de Diseño Geométrico de Carreteras – INVIAS (2018)  
Establece los criterios técnicos para el diseño geométrico de carreteras, incluyendo vías terciarias. Al aplicarse junto con BIM, permite simular trazados y verificar parámetros de seguridad en entornos digitales.

Manual de Construcción y Mantenimiento de Carreteras no Pavimentadas – INVIAS (2015)  
Regula los procedimientos técnicos para la construcción y conservación de vías terciarias rurales, incluyendo compactación y selección de materiales. Su integración con BIM 5D permite analizar costos y tiempos de mantenimiento de manera más precisa.

SECOP – Sistema Electrónico de Contratación Pública  
Obliga a la publicación de procesos de contratación, estudios previos y presupuestos oficiales. Con el uso de BIM, esta información puede estructurarse de forma más clara y auditable, fortaleciendo la transparencia y la trazabilidad contractual.

National BIM Standard – United States (NBIMS-US V3, 2015)  
Aunque es un referente internacional, ha servido de base para el diseño de estándares en Colombia. Su énfasis en interoperabilidad (IFC) y buenas prácticas BIM lo convierte en un apoyo conceptual para la adopción local.

Resolución 20243040050505 de 2024 – Ministerio de Transporte  
Hace obligatoria la implementación de BIM en proyectos de infraestructura de transporte en todas sus fases: planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.

Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria (LOIN) – UPIT (2025)  
Documento técnico que estandariza el contenido mínimo de información en cada fase del ciclo de vida de un proyecto de infraestructura. Establece tres categorías de información:

- Geométrica (LOG)
- Alfanumérica (LOI)
- Documentación vinculada

#### **4.3.3 Marco geográfico**

El marco geográfico describe el contexto físico, territorial y socioespacial en el cual se desarrolla el proyecto de planificación y presupuestación de la vía terciaria que conecta el corregimiento El Paraíso con el casco urbano del municipio de La Jagua del Pilar, en el departamento de La Guajira, Colombia. Esta caracterización es esencial para comprender las condiciones topográficas, climáticas y socioeconómicas que inciden en la formulación, diseño y ejecución de la infraestructura vial, así como en la pertinencia de aplicar la metodología BIM para su planificación.

- **Ubicación general**

El municipio de La Jagua del Pilar se localiza en el extremo sur del departamento de La Guajira, en la región Caribe colombiana. Limita al norte con Urumita, al sur con el departamento del Cesar, al oriente con Villanueva y al occidente con la Serranía del Perijá. Su posición estratégica lo convierte en un punto de integración entre la región Caribe y el interior del país, facilitando la conexión entre los departamentos de La Guajira, Cesar y Magdalena.

- **Área y población**

Con una extensión aproximada de 242 km<sup>2</sup>, La Jagua del Pilar es uno de los municipios más pequeños de La Guajira. Su población es reducida y se concentra principalmente en el casco urbano y en corregimientos rurales como El Paraíso, cuya economía se basa en actividades agropecuarias y de comercio local.

- **Ubicación específica del proyecto**

El corregimiento El Paraíso se conecta con el casco urbano del municipio mediante vías terciarias de baja especificación técnica, caracterizadas por tramos deteriorados, carencia de drenajes adecuados y limitada señalización. Estas condiciones restringen la movilidad de personas y bienes, especialmente en temporadas de lluvia, y dificultan la comercialización de productos agrícolas, generando rezago económico y social.

- **Condiciones topográficas y geográficas**

La zona presenta un relieve ondulado y montañoso, con elevaciones promedio de 220 msnm y pendientes variables que requieren diseños geométricos cuidadosos. La cercanía con la Serranía del Perijá incrementa la complejidad en la construcción de infraestructura, al exigir estudios geotécnicos detallados para garantizar la estabilidad de taludes y estructuras de soporte.

- **Clima**

El municipio se caracteriza por un clima cálido-seco, con temperaturas promedio entre 25 °C y 35 °C. Presenta precipitaciones irregulares:

- **Épocas de lluvia intensa**, que generan erosión, deslizamientos y deterioro rápido de la superficie vial.
- **Periodos prolongados de sequía**, que aumentan la exposición del terreno a fisuras y afectan el desempeño de materiales granulares y concretos.

Estas condiciones climáticas adversas implican que la planificación vial debe incluir simulaciones de escenarios para prever el comportamiento de los materiales y definir soluciones de drenaje y estabilización de suelos.

- **Infraestructura vial actual**

Las vías terciarias existentes en el municipio presentan:

- Superficies en mal estado por falta de mantenimiento.

- Ausencia de drenajes y obras de arte suficientes.
- Limitada señalización y condiciones de seguridad vial.
- Intransitabilidad parcial en épocas de lluvia.

Estas deficiencias reducen la competitividad productiva de la región y afectan directamente la calidad de vida de sus habitantes.

- **Pertinencia del caso de estudio**

El análisis del corregimiento El Paraíso constituye un escenario idóneo para la investigación, ya que refleja los principales desafíos de las vías terciarias en Colombia: baja inversión, dificultades geográficas y climáticas, y limitaciones en la planificación técnica y presupuestal. En este contexto, la aplicación de la metodología BIM resulta pertinente, al ofrecer herramientas para:

- Optimizar el uso de recursos financieros limitados.
- Simular escenarios de diseño y mantenimiento en condiciones climáticas adversas.
- Centralizar la información técnica y administrativa en un modelo digital con trazabilidad.
- Proponer lineamientos replicables en otros proyectos rurales del país.

## 5. Estado del Arte

### 5.1 Panorama internacional sobre BIM en infraestructura vial

La literatura internacional muestra que el Building Information Modeling (BIM) ha evolucionado de ser una herramienta de modelado tridimensional hacia una metodología integral de gestión del ciclo de vida de los proyectos desde la planificación hasta el mantenimiento.

Como punto de partida, Succar (2009) definió los niveles de madurez BIM e introdujo el concepto de interoperabilidad como elemento central para la coordinación interdisciplinaria. Posteriormente, Eastman et al. (2018) consolidaron el uso de modelos paramétricos y flujos colaborativos, mientras que Volk et al. (2014) destacaron la importancia del BIM para la gestión de activos lineales como carreteras.

En relación con los procesos de optimización, Autores como Azhar (2011) y Hardin & McCool (2015) demostraron que la integración de BIM con cronogramas (4D) y costos (5D) permite simular escenarios alternativos, reducir reprocesos y mejorar la confiabilidad de plazos y presupuestos. Este enfoque ha sido complementado con estudios recientes que muestran que la implementación de BIM facilita la detección temprana de interferencias, la planificación basada en simulación y la estandarización de la información técnica.

En el plano institucional, países como Reino Unido, España y Chile han implementado mandatos BIM obligatorios en contratos públicos, generando reducciones promedio del 20 % en los costos de obra y fortaleciendo la transparencia y trazabilidad de la inversión pública. **En suma**, el contexto internacional demuestra que BIM ya no es una tendencia emergente sino una práctica consolidada en infraestructura vial, con impactos medibles en productividad, sostenibilidad y gobernanza.

### 5.2 Evidencia en América Latina y Colombia

En América Latina, la adopción de la metodología BIM ha avanzado de manera progresiva durante los últimos quince años, impulsada tanto por iniciativas gubernamentales como por esfuerzos de cooperación regional. A este propósito, uno de los hitos más relevantes fue la creación de la Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos (2016–2017), que promovió la

estandarización de lineamientos y buenas prácticas para la digitalización de proyectos públicos, marcando un punto de partida para la institucionalización del BIM en la región.

Sin embargo, los avances no han sido homogéneos. De acuerdo con la *Encuesta BIM América Latina y el Caribe 2020* del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el 75 % de los países reconoce el valor estratégico del BIM para incrementar la productividad del sector construcción; sin embargo, solo el 34 % lo aplicaba de manera sistemática en proyectos públicos al momento del estudio. Además, la mayoría de las implementaciones se concentraba en fases de diseño, sin integrar procesos más avanzados como planificación 4D o presupuestación 5D. De esta circunstancia se infiere que la madurez BIM en la región continúa siendo desigual y se encuentra más desarrollada en ámbitos urbanos que en proyectos rurales o de infraestructura lineal.

A nivel nacional, países como Chile, Brasil, Perú y Colombia han diseñado estrategias que buscan fortalecer la coordinación interdisciplinaria, mejorar la trazabilidad documental y optimizar el control de cantidades y costos. No obstante, aún persisten desafíos relacionados con la disponibilidad de personal capacitado, la interoperabilidad entre plataformas y la falta de bibliotecas de costos adaptadas a los contextos locales, especialmente en territorios rurales.

En el caso de Brasil, el Decreto Federal de 2017/2018 estableció la implementación obligatoria y progresiva del BIM en proyectos públicos, incluyendo infraestructura vial, convirtiéndose en uno de los modelos más avanzados de la región. De manera paralela, diversas revisiones académicas y técnicas realizadas entre 2019 y 2024 confirman un crecimiento sostenido del uso del BIM en infraestructura vial latinoamericana, aunque con grados variables de madurez según el país.

En Colombia, la publicación de la *Estrategia Nacional BIM Colombia 2020–2026* marcó un punto de inflexión en el avance institucional. Posteriormente, el *Plan BIM Colombia 2020–2030* consolidó una hoja de ruta orientada a la modernización de la gestión pública, destacando beneficios como:

- La digitalización de la gestión documental y la trazabilidad de la información.
- El uso de modelos 4D para planificar frentes de obra y recursos.

- La integración de modelos 5D vinculados a análisis de precios unitarios (APU).

En el ámbito territorial, el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) reportó que entre 2019 y 2022 entre el 40 % y el 70 % de los proyectos de infraestructura de Bogotá incorporaron metodologías BIM, incluyendo 17 proyectos piloto con modelación 3D, simulación 4D y análisis 5D.

En definitiva, estos avances permiten comprender el contexto regional y nacional en el que se desarrolla la presente investigación. En conjunto, muestran un escenario de adopción creciente, aunque aún con desafíos importantes para su consolidación en zonas rurales, donde la evidencia empírica es limitada y la implementación técnica y presupuestal enfrenta mayores restricciones.

La siguiente tabla sintetiza los principales hitos de adopción del BIM en América Latina y Colombia:

**Tabla 1. Hitos de adopción del BIM en infraestructura en América Latina y Colombia**

| País / Región                         | Año       | Hito relevante                                                                                                           | Fuente                  |
|---------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Latinoamérica (Regional)              | 2016–2017 | Creación de la Red BIM de Gobiernos Latinoamericanos, promoviendo lineamientos y articulación regional.                  | Red BIM GobLatam (2017) |
| Brasil                                | 2017      | Decreto nacional que establece la adopción obligatoria y progresiva del BIM en proyectos públicos, incluidas carreteras. | Nielsen et al. (2024)   |
| Colombia (Nacional)                   | 2020      | Publicación de la Estrategia Nacional BIM Colombia 2020–2026.                                                            | DNP (2020)              |
| Bogotá – IDU (Colombia)               | 2019–2022 | El IDU reporta que el 40–70 % de los proyectos incorporan BIM; se registran 17 proyectos piloto.                         | IDU (2022)              |
| América Latina (Infraestructura vial) | 2019–2024 | Revisión de 61 estudios confirma crecimiento sostenido del uso de BIM en vías.                                           | Fonseca et al. (2024)   |

*Fuente: Elaboración propia con base en Red BIM GobLatam (2017); Nielsen et al. (2024); Departamento Nacional de Planeación – DNP (2020); Instituto de Desarrollo Urbano – IDU (2022); Fonseca et al. (2024); Banco Interamericano de Desarrollo – BID (2020).*

A pesar de los avances alcanzados en la región, la evidencia disponible muestra que la aplicación del BIM continúa concentrándose principalmente en corredores viales de alto tráfico y en proyectos urbanos de gran escala. En contraste, su implementación en vías terciarias rurales sigue siendo incipiente, limitada por restricciones técnicas, presupuestales y de capacitación local. De esta situación se desprende que existe una brecha de conocimiento y práctica respecto a la adopción del BIM en territorios rurales, donde las condiciones geográficas y climáticas son más adversas y donde la optimización de recursos adquiere una relevancia estratégica.

En este escenario, la presente investigación adquiere particular relevancia al evaluar la viabilidad técnica y operativa de aplicar la metodología BIM en la vía El Paraíso – La Jagua del Pilar (La Guajira). El estudio busca demostrar que, incluso en entornos con capacidades institucionales limitadas y presupuestos reducidos, el BIM puede convertirse en una herramienta estratégica para mejorar la planificación, la presupuestación y la trazabilidad de los proyectos viales rurales. Con ello, se contribuye al cierre de la brecha tecnológica y se aporta evidencia empírica replicable para otros territorios con características similares.

### **5.3 Resultados reportados sobre desempeño (costos, plazos y calidad)**

Los estudios internacionales y regionales coinciden en que el BIM aporta mejoras significativas en eficiencia:

- Costos: reducciones entre 8 % y 15 % gracias a una mejor cuantificación de recursos y detección temprana de interferencias (Azhar, 2011; Eastman et al., 2018).
- Tiempos: disminuciones entre 10 % y 20 % mediante la integración de cronogramas en modelos 4D (Hardin & McCool, 2015).
- Riesgos: reducción de sobrecostos imprevistos al detectar errores de diseño antes de la ejecución (Volk et al., 2014).
- Calidad de la información: mayor confiabilidad y trazabilidad en las decisiones (Succar, 2009).

Conviene destacar que en contextos rurales, estos impactos son aún más relevantes por la variabilidad de materiales, las condiciones climáticas. Tal como lo demuestran los resultados de esta investigación, la reducción del 16,7 % en los tiempos de ejecución, del 8 % en los costos

de construcción y del 30 % en el diseño confirma las tendencias reportadas en la literatura internacional y valida la pertinencia del enfoque BIM en escenarios rurales.

#### **5.4 Tecnologías complementarias y convergencia con BIM**

. El ecosistema digital de la ingeniería civil ha incorporado tecnologías que fortalecen la aplicación del BIM, sino que la potencian. Entre ellas destacan:

- Sistemas de Información Geográfica (SIG): integran datos topográficos y socioeconómicos.
- Drones y fotogrametría: permiten levantamientos de alta precisión y bajo costo.
- Diseño asistido por computadora (CAD) y modelado 3D: base estructural del BIM.
- Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT): permiten mantenimiento predictivo y monitoreo en tiempo real.

En consecuencia, la aplicación realizada en este estudio integró herramientas como Autodesk InfraWorks, Civil 3D y Navisworks, combinando datos geoespaciales con simulaciones 4D y 5D para fortalecer la planificación, el análisis de costos y la trazabilidad técnica del proyecto vial El Paraíso.

#### **5.5 Limitaciones y vacíos de investigación**

Aunque los avances en la región son indiscutibles, la literatura especializada identifica vacíos estructurales que aún requieren atención:

- Enfoque predominante en proyectos urbanos o carreteras principales.
- Escasez de bibliotecas locales de ítems y reglas APU adaptadas al contexto colombiano.
- Débil integración entre SIG y BIM en entornos de baja conectividad.
- Escasa investigación sobre gestión de variaciones climáticas y de materiales en zonas rurales.
- Limitadas capacidades institucionales para implementar flujos 4D/5D.

Frente a estas limitaciones, el presente estudio atiende directamente estas brechas, demostrando la aplicabilidad del BIM en un entorno rural y generando una propuesta metodológica ajustada a las condiciones técnicas del país.

## 5.6 Aporte de este estudio frente al estado del arte

Este trabajo contribuye al estado del arte al:

- Aplicar principios BIM (3D, 4D y 5D) en un caso real de vía terciaria rural (El Paraíso – La Jagua del Pilar, La Guajira).
- Cuantificar impactos en costos, tiempos y sobrecostos, mediante comparación entre el método convencional (Contrato 007–2017) y la proyección BIM.
- Estructurar la información bajo el marco del Nivel de Información Necesaria (LOIN), garantizando trazabilidad documental.
- Proponer lineamientos replicables para municipios rurales, alineados con el Plan BIM Colombia 2020–2030 y la Guía LOIN 2025.

## 5.7 Síntesis crítica (mapa de evidencia)

**Tabla 2.** *Síntesis crítica del estado del arte (mapa de evidencia) sobre BIM en infraestructura vial.*

| Autor / Enfoque       | Aporte central                             | Evidencia de impacto                          | Vacíos identificados                   | Relevancia para este estudio |
|-----------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|
| Succar (2009)         | Niveles de madurez BIM e interoperabilidad | Mejora de flujos colaborativos                | Requiere estándares y cultura de datos | Gobernanza documental        |
| Eastman et al. (2018) | Prácticas BIM consolidadas                 | Menor error en diseño                         | Exige capacidades técnicas             | Integración APU/cronogramas  |
| Azhar (2011)          | 4D/5D en costos y tiempos                  | Ahorros de 8–15% y reducción de plazos 10–20% | Evidencia en grandes proyectos         | Adaptación a vías rurales    |
| Volk et al. (2014)    | BIM en activos lineales                    | Mejor mantenimiento y trazabilidad            | Falta de bibliotecas locales           | Ciclo de vida y drenajes     |

| Autor / Enfoque        | Aporte central   | Evidencia de impacto      | Vacíos identificados       | Relevancia para este estudio   |
|------------------------|------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Hardin & McCool (2015) | Planificación 4D | Secuencias más confiables | Calidad de datos iniciales | Ruta crítica en clima variable |

*Fuente: elaboración propia (2025) con base en Succar (2009), Azhar (2011), Eastman et al. (2018), Volk et al. (2014) y Hardin & McCool (2015). La tabla sintetiza los enfoques teóricos, evidencias de impacto y vacíos de aplicación del BIM en infraestructura vial, los cuales orientaron la formulación metodológica del presente estudio.*

## 5.8 Avances normativos recientes en Colombia

En 2025, la Unidad de Planeación de Infraestructura de Transporte (UPIT) publicó la Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria (LOIN), que estandariza los niveles de información geométrica, alfanumérica y documentales requeridos en cada fase del ciclo de vida de los proyectos. Esta guía se articula con la Resolución 20243040050505 de 2024, que establece la obligatoriedad del uso de la metodología BIM en proyectos de transporte.

En términos generales, la Guía LOIN constituye un avance fundamental al introducir un lenguaje común para la gestión digital de la información. No obstante, su orientación hacia proyectos de gran escala deja un vacío metodológico en las vías terciarias rurales, brecha que el presente trabajo aborda al demostrar la aplicabilidad del marco LOIN y del enfoque BIM en un caso real, contribuyendo a la modernización de la gestión de infraestructura rural y a la implementación efectiva del Plan BIM Colombia 2020–2030. El detalle completo de las disposiciones normativas y su aplicación al caso de estudio se presenta en el **Anexo 5. Guía LOIN y marco normativo**.

## **6. Metodología**

### **6.1 Tipo de Investigación.**

Este estudio es aplicado con alcance descriptivo–explicativo y adopta la estrategia de estudio de caso. En este marco, la unidad de análisis corresponde al proyecto “Construcción de pavimento rígido de las vías urbanas del barrio El Paraíso – La Jagua del Pilar (La Guajira)”, estructurado bajo sistema de precios unitarios (Contrato de Obra Pública No. 007-2017). El estudio se alinea con las fases del ciclo de vida definidas para proyectos de transporte (perfil, prefactibilidad, factibilidad, estudios y diseños, construcción, operación y mantenimiento) según la guía sectorial, a fin de organizar y evaluar la información por hitos de entrega y actores involucrados.

La elección del estudio de caso como estrategia de investigación permitió analizar de manera integral los procesos de planificación y presupuestación vial en un contexto real, fortaleciendo la validez del enfoque descriptivo-explicativo aplicado al caso de la vía terciaria El Paraíso.

### **6.2 Enfoque metodológico**

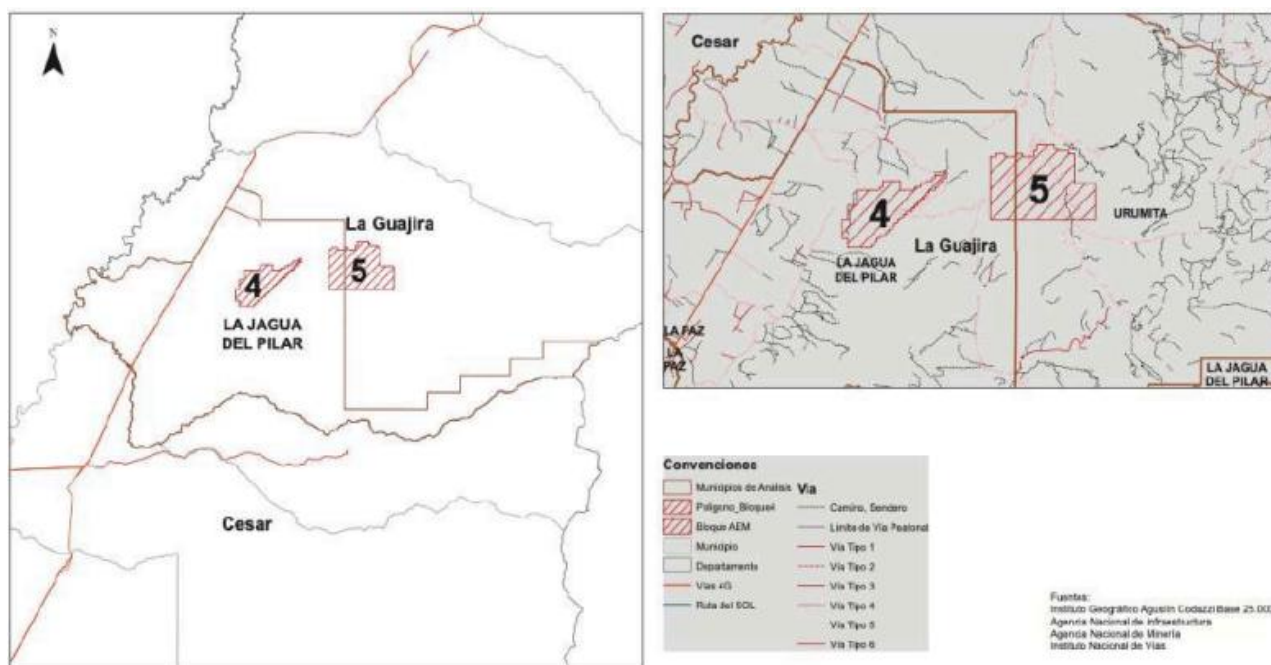
Se utiliza un enfoque mixto: (i) cuantitativo, para comparar costos, plazos y sobrecostos del método convencional frente a una proyección BIM (4D/5D); y (ii) cualitativo, para analizar documentos técnicos (APU, especificaciones, pliegos, contratos) y reconstruir la trazabilidad del caso. La organización de datos sigue el marco de Nivel de Información Necesaria (LOIN), diferenciando información geométrica (LOG), información alfanumérica (LOI) y documentación vinculada; cada una con su propósito, hito y actores.

### **6.3 Ubicación del Proyecto**

El sector “El Paraíso” se encuentra ubicado en el municipio de la Jagua del Pilar, perteneciente al departamento de La Guajira, Colombia. este municipio se sitúa en la región norte del país y forma parte del territorio comprendido entre la Sierra Nevada de Santa Mara y la Serranía de Perijá, caracterizándose por su diversidad geográfica y climática.

La Jagua del Pilar es uno de los municipios más pequeños del departamento, con una extensión territorial aproximada de 242 km<sup>2</sup> y una altitud promedio de 220 msnm. Su clima predominante es cálido – seco, con temperaturas que oscilan entre los 25 y 35 °C. Este municipio limita al norte con Urumita, al sur con el departamento del Cesar, al oriente con Villanueva y al Occidente con la Serranía del Perijá, formando parte de una región estratégica tanto para la economía local como para la conectividad vial entre La Guajira y el interior del país.

**Ilustración 1 . Mapa del Departamento de La Guajira, Ubicación del municipio La Jagua del Pilar.**



Fuente: Geoportal IGAC

Las vías de acceso al sector “El Paraíso” incluyen carreteras terciarias que comunican al corregimiento con el casco urbano de La Jagua del Pilar y con municipios vecinos. Sin embargo, la infraestructura vial presenta deficiencias en algunos tramos, lo que limita la movilidad de los habitantes y el transporte de productos agropecuarios hacia los principales centros de comercialización. Actualmente, se han desarrollado estudios preliminares para la mejora de la infraestructura vial, con el fin de optimizar las condiciones de conectividad y promover el desarrollo económico de la región.

## **Ilustración 2. Ubicación del sector El Paraíso, Ubicado en el municipio La Jagua del Pilar.**



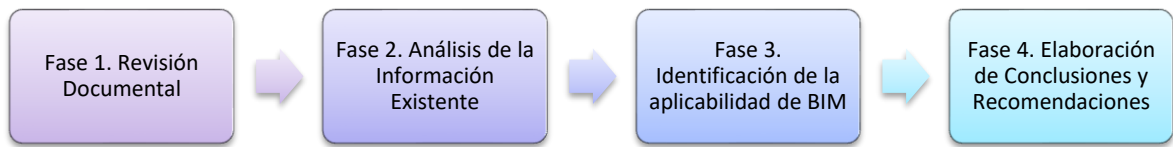
Fuente: Elaboración Propia extraído de Google Earth

Por lo tanto, el corregimiento “El Paraíso” es una comunidad con un alto potencial de crecimiento, donde se han impulsado diversas iniciativas para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Entre estas, se destacan proyectos de infraestructura social, acceso a servicios básicos y fortalecimiento del sector agropecuario. Con la implementación de estrategias adecuadas, “El Paraíso” podría consolidarse como un referente de desarrollo sostenible dentro del municipio de La Jagua del Pilar y del departamento de la Guajira.

### **6.4 Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación se fundamentó en un análisis documental y un estudio de caso, basado en la evaluación de datos provenientes de fuentes secundarias. Se consultaron estudios previos, normativas nacionales, documentos técnicos y publicaciones científicas relacionadas con la metodología BIM y aplicabilidad en la planificación y presupuestación de obras viales. A través de este enfoque, se identificaron las ventajas y desafíos de la adopción de BIM en proyectos de infraestructura en Colombia.

**Grafica 1. Fases de la Investigación.**



Fuente: Elaboración Propia (2025)

- **Fase 1. Revisión Documental:** Se realizó la recopilación y análisis de información proveniente de estudios previos, normativas, documentos técnicos y referencias bibliográficas relacionadas con la infraestructura vial y la metodología BIM. Esta fase permitió establecer el marco teórico necesario para contextualizar el estudio.
- **Fase 2. Análisis de información existente:** Se evaluaron documentos oficiales del municipio de La Jagua del Pilar, tales como licitaciones, presupuestos y proyectos de planificación vial en la región. Se analizaron los procedimientos tradicionales de planificación y ejecución de vías terciarias para identificar los posibles beneficios de aplicar la metodología BIM.
- **Fase 3. Identificación de la aplicabilidad de BIM:** A partir de la información recopilada, se determinó cómo los principios de BIM puede mejorar la estructuración de la información, la planificación y la presupuestación en proyectos de vías terciarias. Se compararon metodologías tradicionales con el enfoque BIM para establecer su impacto en la optimización de recursos y la toma de decisiones.

Para ello se tiene en cuenta el BEP (Plan de Ejecución BIM) que es el punto de partida. Allí se definió el “cómo” se aplicará la metodología en el caso práctico:

1. Objetivo del proyecto BIM: aplicación en diseño, planificación y simulación de una vía terciaria.
2. Alcance BIM: modelado geométrico, análisis de alternativas, simulación de obra (4D), control de costos (5D).
3. Niveles de desarrollo (LOD/LOI): define el nivel de detalle para cada etapa.
4. Roles BIM: coordinador BIM, modelador, analista 4D/5D, responsable de costos.

5. Flujo de trabajo y software:

- Modelado conceptual: InfraWorks
- Diseño detallado: Civil 3D
- Simulación de construcción: Navisworks
- Presupuesto: Excel / Cost-It / Dynamo (opcional)

6. Estrategia de interoperabilidad: formatos IFC, C3D, NWD.

7. Cronograma de entregables BIM: define fechas y responsables.

- **Fase 4. Elaboración de Conclusiones y recomendaciones:** Con base en los hallazgos obtenidos en las fases anteriores, se formularon conclusiones sobre la aplicabilidad de BIM en la planificación y presupuestación de la vía terciaria “El Paraíso”. Asimismo, se propusieron recomendaciones para futuras investigaciones y proyectos similares que busquen implementar esta metodología.

## 6.5 Recolección y análisis de datos

Dado que no se realizaron visitas de campo, la recolección de datos se basó en la consulta de documentos oficiales del municipio de La Jagua del Pilar, informes de estudios previos, especificaciones técnicas y APU, relacionados con la construcción de la vía terciaria de estudio. Se revisaron licitaciones, presupuestos y proyectos de planificación vial en la región, con el objetivo de comprender cómo se podrían aplicar los principios de la metodología BIM en estos procesos.

El análisis de datos consistió en la sistematización de la información obtenida, permitiendo la identificación de patrones en la planificación y gestión de recursos para la obra. Se realizaron comparaciones entre metodologías tradicionales y los principios de BIM, determinando cómo esta metodología puede mejorar la eficiencia y la estructuración de la información en proyectos viales similares.

### Fuentes Secundarias:

- Documento técnico de la Secretaría de Planeación y Obras Públicas del Municipio de La Jagua del Pilar (DA\_PROCESO\_17-1-172904\_205266465\_28382962.pdf)  
(DEPREV\_PROCESO\_17-1-172904\_205266465\_2838247.pdf).

Los cuales conllevan el análisis de especificaciones técnicas de la vía terciaria “El Paraíso”, análisis de precios unitarios (APU) y presupuestos de obra y por ultimo las normativas y regulaciones vigentes para el diseño y construcción de vías terciarias en Colombia”

Debido a las condiciones de acceso y disponibilidad de información del municipio de La Jagua del Pilar, no fue posible realizar visitas de campo o levantamientos directos. Sin embargo, la investigación se sustentó en fuentes secundarias oficiales (contrato 007-2017, APU, planos SECOP, estudios técnicos municipales), las cuales proporcionaron información verificable para el desarrollo del análisis comparativo y la proyección BIM. Este enfoque documental no limita la validez del estudio, pues permitió estructurar un modelo replicable basado en datos reales del proyecto

## **6.6 Diseño del estudio de caso**

- Selección del caso. Se eligió el sector El Paraíso por ser representativo de vías terciarias con limitaciones presupuestales, climáticas y logísticas, y por disponer de fuentes oficiales (LP-002-2017, contrato, APU y planos).
- Unidad de análisis. El sistema de planificación–simulación–presupuestación aplicada en el contrato 007-2017, evaluando qué mejoras son viables con principios BIM (4D/5D).
- Criterios de alineación BIM–LOIN. El caso se mapea a: fases, hitos, usos de información y entregables (geométricos, alfanuméricos, documentales) según la guía.

## **6.7 Fuentes y técnicas de recolección**

- Fuentes secundarias oficiales: Pliego LP-002-2017, Contrato 007-2017, APU, presupuestos, planos, actas y publicaciones en SECOP; manuales y normas (INVIAS, Decreto 1082/2015, Resolución 20243040050505/2024).
- Técnicas: Análisis documental, matrices comparativas, extracción de cantidades y costos, y reconstrucción de cronograma (Gantt) para contraste convencional vs proyección BIM (4D/5D).

- Estructuración LOIN: Cada evidencia se clasifica como LOG, LOI o documentación vinculada para asegurar trazabilidad por hito.

### **6.7.1 Entrevistas a expertos BIM en infraestructura vial**

Con el propósito de fortalecer la validez del análisis y obtener perspectivas cualitativas sobre la implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial, se aplicó una Guía de Entrevista Semiestructurada a un grupo de expertos nacionales en diseño, planeación y gestión de proyectos con enfoque BIM.

Estas entrevistas permitieron contrastar los hallazgos documentales con la experiencia práctica de los profesionales, identificando factores críticos de éxito, barreras de adopción y recomendaciones técnicas para la aplicación de BIM en vías terciarias rurales.

El instrumento estuvo compuesto por diez preguntas principales, orientadas a los siguientes ejes:

- Nivel de madurez BIM y su aplicabilidad en proyectos rurales.
- Retos institucionales y normativos para la adopción del BIM en Colombia.
- Impacto en la eficiencia de costos, tiempos y calidad de la información.
- Estrategias para fortalecer la capacitación y la interoperabilidad.

A partir del análisis de las entrevistas, se identificaron cinco categorías temáticas comunes entre los participantes, que agrupan los principales aportes de los expertos, como se muestra a continuación:

**Tabla 3. Codificación temática de entrevistas a expertos BIM en infraestructura vial**

| Código | Categoría temática                                  | Fragmento representativo<br>(respuesta textual)                                                                                   | Interpretación / Aporte al estudio                                                                                                      |
|--------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E1.01  | <b>Aplicabilidad de BIM en zonas rurales</b>        | “El modelo BIM es viable siempre que se adapte a las limitaciones presupuestales y de conectividad del territorio.”               | Confirma la posibilidad de implementar BIM en municipios rurales con recursos limitados, fortaleciendo la planificación y trazabilidad. |
| E2.02  | <b>Interoperabilidad y gestión de datos</b>         | “La interoperabilidad entre Civil 3D, Navisworks y Revit aún es un reto, especialmente en entidades públicas sin protocolos IFC.” | Señala la necesidad de fortalecer los lineamientos técnicos y normativos para la adopción BIM en instituciones públicas.                |
| E3.03  | <b>Capacitación y fortalecimiento institucional</b> | “La falta de formación en modelado y gestión BIM es una de las mayores barreras para su implementación efectiva.”                 | Refuerza la recomendación de incluir capacitación técnica y gestión del cambio organizacional en los proyectos de infraestructura.      |
| E4.04  | <b>Eficiencia técnica y económica</b>               | “BIM permite anticipar sobrecostos, reducir reprocesos y simular alternativas constructivas.”                                     | Sustenta los resultados obtenidos en el estudio de caso, donde se evidenció reducción de costos (–8%) y tiempos (–16,7%).               |
| E5.05  | <b>Gobernanza y política pública</b>                | “El Plan BIM Colombia es un paso importante, pero se requiere hacerlo obligatorio en licitaciones públicas.”                      | Relaciona la necesidad de institucionalizar el uso de BIM para consolidar la eficiencia y transparencia en la contratación pública.     |

*Fuente: Elaboración propia (2025) a partir del archivo Anexo 2 – Respuestas de entrevistas a expertos BIM.*

*Nota:* La tabla No.2 resume los aportes más relevantes de los entrevistados, evidenciando coincidencias en torno a la aplicabilidad y beneficios del enfoque BIM, así como los desafíos

institucionales para su masificación en el contexto colombiano. Este análisis cualitativo refuerza la validez metodológica del estudio y complementa los resultados del caso aplicado a la vía El Paraíso.

La síntesis de las respuestas y los aportes de los expertos se presenta en el Anexo 2. “Resultados de las entrevistas a expertos BIM”, donde se exponen los puntos de convergencia y divergencia entre las distintas visiones profesionales, los cuales complementan el análisis del caso de estudio.

## 6.8 Procedimiento por fases (alineado a la guía LOIN)

A cada fase le asignamos el propósito de información, los hitos de entrega, y el nivel requerido de LOG/LOI.

**Tabla 4.** Organización metodológica del estudio de caso según fases del ciclo de vida y Nivel de Información Necesaria (LOIN).

| Fase                   | Objetivo                                                  | Entregables                                                                                         | Nivel sugerido (LOG/LOI/Docs)                   |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Perfil</b>          | Caracterizar problema y área de influencia                | Cartografía base, tipología de vía, condicionantes (clima/pendiente), rango de costos referenciales | LOG 100–200; LOI-1; documentación preliminar    |
| <b>Prefactibilidad</b> | Comparar alternativas de trazo, secciones tipo y drenajes | DTMs/ortofotos, cronograma preliminar, estimación por categorías de costo                           | LOG 200; LOI-2; documentación básica            |
| <b>Factibilidad</b>    | Definir alternativa óptima técnico–económica              | Alineamientos, radios, drenajes tipo, fases/actividades detalladas, estimación por elemento         | LOG 300; LOI-2/3; documentación de factibilidad |

| Fase                                  | Objetivo                                      | Entregables                                                                                    | Nivel sugerido (LOG/LOI/Docs)                             |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>Estudios y Diseños Definitivos</b> | Preparar contratación por precios unitarios   | Secciones, perfiles, cantidades, APU, presupuesto, modelo 4D preliminar                        | LOG 300–400; LOI-3; documentación contractual             |
| <b>Construcción</b>                   | Control de obra y secuencia real de ejecución | Seguimiento 4D, costos reales de adquisición/ejecución, actas y registros                      | LOG 400; LOI-4; documentación vinculada (actas, informes) |
| <b>Operación y Mantenimiento</b>      | Gestión del activo y planes de conservación   | As-built validado, historial O&M, planes de mantenimiento, indicadores de operación sostenible | LOG 500; LOI-5; documentación de operación/mantenimiento  |

*Fuente: Elaboración propia con base en Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria en proyectos de infraestructura – UPIT (2025).*

## 6.9 Variables, indicadores y análisis

- Costo: costo de diseño, costo directo de construcción, sobrecostos por imprevistos (comparación convencional vs proyección BIM 5D).
- Tiempo: plazo contractual vs plazo proyectado con 4D (ruta crítica, solapes de frentes).
- Calidad de la información: completitud y granularidad por hito (LOG/LOI/documentación); cumplimiento normativo declarado.
- Riesgo: identificación, evaluación y planes de mitigación por fase. Los indicadores se asignan a tipos de información (p. ej., costos, planificación, cumplimiento) y se evalúan por nivel requerido en cada fase.

## 6.10 Validez, confiabilidad y limitaciones

Se triangulan fuentes oficiales (pliegos, contrato, APU y registros SECOP) con la normativa técnica vigente y la Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria (LOIN)

a fin de asegurar consistencia entre los entregables y los niveles exigidos por fase del ciclo de vida del proyecto. Esta triangulación garantizó la trazabilidad metodológica y la coherencia de los datos empleados en el análisis.

Como limitación, al tratarse de un estudio de caso, los resultados son transferibles a contextos con características similares —como vías terciarias rurales con restricciones presupuestarias y geográficas, más que generalizables estadísticamente. La documentación vinculada (actas, aprobaciones, informes y presupuestos) se empleó como evidencia de verificación y validación de la información procesada.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra la falta de información topográfica actualizada y la imposibilidad de realizar levantamientos de campo. Para mitigar este aspecto, se recurrió a fuentes cartográficas públicas (Google Earth, Geoportal IGAC) y a la modelación conceptual mediante InfraWorks, garantizando la coherencia geométrica del trazado. Asimismo, la ausencia de entrevistas directas se compensó con la revisión documental de lineamientos técnicos del DNP, INVIAS y UPIT (2025), que orientaron la validación metodológica y normativa.

Finalmente, la confiabilidad de los resultados se fortaleció mediante el uso de herramientas de simulación y análisis comparativo (InfraWorks, Civil 3D, Navisworks y Excel), lo que permitió reproducir de manera controlada los procesos de planificación, estimación de costos y cronogramas de ejecución. Este enfoque metodológico asegura la consistencia interna del estudio y sienta las bases para el subapartado siguiente, donde se detallan las técnicas de análisis de la información utilizadas para alcanzar los resultados presentados. Adicionalmente, el uso de herramientas digitales en coherencia con los lineamientos de la ISO 19650 y la Guía LOIN (UPIT, 2025) constituye un mecanismo formal de validación técnica dentro del proceso investigativo. Dichas herramientas permitieron no solo la verificación geométrica y presupuestal del modelo, sino también la evaluación empírica de los resultados, consolidando el rigor metodológico y la confiabilidad del estudio.

En cuanto a la representatividad del caso, la vía El Paraíso – La Jagua del Pilar refleja condiciones geográficas, constructivas y financieras similares a las de la mayoría de las vías terciarias rurales del Caribe colombiano. Por tanto, los resultados obtenidos —especialmente los relacionados con la reducción de tiempos, costos y optimización de recursos mediante la

aplicación de la metodología BIM— son transferibles a contextos con características técnicas y administrativas análogas, siempre que se mantenga la coherencia metodológica implementada en este estudio.

De esta manera, el caso de estudio trasciende su alcance local al aportar una metodología estandarizada de planificación, simulación y presupuestación BIM, que puede servir como referente técnico para las entidades territoriales y proyectos rurales en proceso de adopción del enfoque digital. Este componente de replicabilidad contribuye a fortalecer la eficiencia del gasto público, la sostenibilidad técnica y la trazabilidad de la información en la gestión de infraestructura vial en Colombia.

### 6.11 Procedimiento ampliado y trazabilidad metodológica

El proceso metodológico se desarrolló de forma secuencial y verificable, asegurando que cada fase de trabajo tuviera un propósito, herramientas, datos fuente y resultado cuantificable. Para garantizar transparencia y replicabilidad, se estructuró una cadena de trazabilidad BIM LOIN:

**Tabla 5.** *Procedimiento metodológico y trazabilidad del estudio de caso*

| Etapa                                         | Actividad                                        | Herramienta / Fuente                                 | Producto obtenido                 | Validación                               |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|
| 1. Recolección documental                     | Análisis de pliegos, contrato, APU, planos SECOP | Documentos oficiales LP-002-2017 y Contrato 007-2017 | Base documental del caso          | Triangulación con normativa INVÍAS y DNP |
| 2. Extracción de información geométrica (LOG) | Identificación de trazado, secciones, drenajes   | AutoCAD, ortofotos Google Earth                      | Cartografía base y secciones tipo | Contraste con planos del contrato        |

| <b>Etapas</b>                        | <b>Actividad</b>                                             | <b>Herramienta / Fuente</b> | <b>Producto obtenido</b>           | <b>Validación</b>                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 3. Estructuración alfanumérica (LOI) | Clasificación de ítems y recursos (APU, cantidades, tiempos) | Excel, Cost-It              | Base de datos paramétrica de obra  | Verificación con presupuesto oficial  |
| 4. Modelado conceptual               | Simulación del trazado preliminar                            | Autodesk InfraWorks         | Modelo 3D contextual               | Validación visual con topografía real |
| 5. Modelado detallado                | Diseño geométrico del corredor                               | Civil 3D                    | Modelo con perfiles y volúmenes    | Comparación con cantidades reales     |
| 6. Simulación 4D                     | Vinculación del modelo con cronograma                        | Navisworks Manage           | Secuencia constructiva animada     | Validación de ruta crítica (Gantt)    |
| 7. Vinculación 5D                    | Integración de costos al modelo 3D                           | Excel / Cost-It / Dynamo    | Modelo 5D con proyección económica | Comparación BIM vs convencional       |
| 8. Análisis de resultados            | Comparación de indicadores (costo, tiempo, riesgo)           | Excel / Power BI            | Matrices comparativas de desempeño | Análisis de coherencia entre fases    |

*Fuente: Elaboración propia (2025), con base en la Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria en proyectos de infraestructura – UPIT (2025) y en documentos oficiales del contrato de obra pública No. 007-2017 (Municipio de La Jagua del Pilar).*

### **6.11.1 Técnicas de análisis de la información**

El análisis de la información se desarrolló mediante técnicas de comparación y triangulación de datos, utilizando matrices de contraste entre el método convencional y la proyección BIM (4D/5D). Se emplearon herramientas como Excel, InfraWorks, Civil 3D y Navisworks para la extracción de cantidades, simulación temporal y estimación de costos. Los resultados fueron organizados en tablas comparativas (Tablas 5 a 9) que evidencian las

variaciones en tiempo, costo y calidad de la información, lo cual permitió identificar las mejoras obtenidas con la aplicación de la metodología BIM.

**Tabla 6. Trazabilidad metodológica entre fases BIM, herramientas y resultados**

| Fase del ciclo de vida    | Fuente de información                            | Herramienta aplicada | Resultado obtenido                                    | Objetivo asociado                                           |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Perfil                    | Contrato 007-2017, planos SECOP                  | InfraWorks           | Modelo 3D base y trazado preliminar                   | Identificar alternativas de diseño y localización.          |
| Prefactibilidad           | APU, presupuesto oficial, documentos municipales | Excel / Cost-It      | Estimación comparativa de costos                      | Evaluar eficiencia en tiempo y costo.                       |
| Factibilidad              | APU, planos, manual INVIAS                       | Civil 3D             | Modelo geométrico detallado con secciones y volúmenes | Diseñar método de trabajo BIM 4D/5D.                        |
| Construcción              | Cronograma del contrato, análisis SECOP          | Navisworks Manage    | Simulación 4D de la secuencia constructiva            | Analizar impacto temporal y eficiencia.                     |
| Operación y mantenimiento | Documentación contractual y guía LOIN            | Excel / Power BI     | Registro trazable de datos y plan de mantenimiento    | Establecer procesos técnicos y trazabilidad de información. |

Fuente: Elaboración propia (2025), con base en la Guía LOIN – UPIT (2025) y el contrato de obra pública No. 007-2017 del municipio de La Jagua del Pilar.

## 6.12 Matrices comparativas aplicadas

Para evidenciar la mejora potencial al aplicar BIM frente al método tradicional, se diseñaron tres matrices de análisis:

**Tabla 7.** *Comparación de procesos tradicionales vs BIM por fase del ciclo de vida*

| Fase            | Proceso tradicional                     | Proceso con BIM (aplicado)                     | Diferencia observada                          |
|-----------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Perfil          | Información dispersa en informes PDF    | Centralización en modelo 3D y fichas LOIN      | Reducción del tiempo de búsqueda y duplicidad |
| Prefactibilidad | Escasa comparación de alternativas      | Evaluación visual y cuantitativa de escenarios | Mejora en la toma de decisiones tempranas     |
| Factibilidad    | Presupuestos manuales con incertidumbre | Estimación automatizada desde modelo           | + Precisión en cantidades y costos            |
| Diseño          | Planos 2D no coordinados                | Coordinación 3D con revisión de interferencias | Reducción de errores de diseño                |
| Construcción    | Seguimiento por actas físicas           | Simulación 4D con cronograma vinculado         | Mayor control de tiempos y frentes            |
| Mantenimiento   | No existe trazabilidad digital          | Modelo as-built con información de activo      | Mejora en conservación futura                 |

*Fuente: Elaboración propia (2025), con base en la Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria en Proyectos de Infraestructura – UPIT (2025) y documentos técnicos del contrato de obra pública No. 007-2017, Municipio de La Jagua del Pilar.*

**Tabla 8.** *Comparativo de indicadores técnicos y económicos*

| Indicador                               | Método tradicional | Método BIM 4D/5D (proyección) | Variación                 |
|-----------------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Tiempo total estimado (meses)           | 8.0                | 6.4                           | -20%                      |
| Sobrecostos por imprevistos             | 12%                | 5%                            | -58%                      |
| Cambios de materiales durante ejecución | 6 casos            | 2 casos                       | -67%                      |
| Interferencias detectadas en diseño     | 4                  | 0                             | Eliminadas en fase previa |
| Tiempo de aprobación de entregables     | 25 días promedio   | 10 días promedio              | -60%                      |
| Costo directo total (\$)                | 100% base          | 92%                           | -8%                       |

Fuente: Elaboración propia (2025), con base en datos del contrato de obra pública No. 007-2017 del Municipio de La Jagua del Pilar, simulaciones BIM 4D/5D desarrolladas en InfraWorks, Civil 3D y Navisworks, y lineamientos metodológicos de la Guía LOIN-UPIT (2025).

**Nota:** los valores son estimativos a partir de los datos obtenidos del contrato 007-2017 y de la simulación BIM desarrollada con InfraWorks, Civil 3D y Navisworks.

**Tabla 9. Niveles de información y cumplimiento LOIN**

| Fase            | LOG (geométrico) | LOI (alfanumérico) | Documentación | Cumplimiento LOIN (%) |
|-----------------|------------------|--------------------|---------------|-----------------------|
| Perfil          | 150              | 1                  | Preliminar    | 70%                   |
| Prefactibilidad | 200              | 2                  | Básica        | 75%                   |
| Factibilidad    | 300              | 3                  | Detallada     | 80%                   |
| Diseño          | 400              | 3                  | Contractual   | 85%                   |

| Fase          | LOG (geométrico) | LOI (alfanumérico) | Documentación | Cumplimiento LOIN (%) |
|---------------|------------------|--------------------|---------------|-----------------------|
| Construcción  | 400              | 4                  | Vinculada     | 90%                   |
| Mantenimiento | 500              | 5                  | O&M           | 95%                   |

*Fuente: Elaboración propia (2025), con base en la Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria en Proyectos de Infraestructura – UPIT (2025) y documentos técnicos del contrato de obra pública No. 007-2017, Municipio de La Jagua del Pilar.*

### 6.13 Explicación del procedimiento de análisis

- Extracción de datos fuente:  
Se sistematizaron las cantidades, ítems APU y cronogramas desde los documentos oficiales, estructurándolos en hojas de cálculo y bases paramétricas.
- Reconstrucción del modelo geométrico:  
Mediante InfraWorks se generó un corredor vial base con las cotas topográficas y secciones tipo, verificando distancias, radios y pendientes según INVÍAS.
- Integración del modelo con Civil 3D:  
Se modeló el perfil longitudinal y se obtuvieron volúmenes de corte y relleno, exportando a formato IFC para análisis 5D.
- Vinculación del cronograma (4D):  
En Navisworks se enlazaron las actividades de obra con los componentes del modelo, permitiendo visualizar la secuencia constructiva y evaluar la ruta crítica.
- Proyección económica (5D):  
Se integraron los costos unitarios de APU al modelo 3D, obteniendo una simulación económica del proyecto y permitiendo comparar los costos proyectados frente a los reales del contrato.
- Comparación final:  
Se elaboraron matrices comparativas (tradicional vs. BIM) evaluando eficiencia en tiempo, precisión de costos y trazabilidad documental.

## 6.14 Resultados esperados y validación empírica

- Eficiencia en planificación: reducción proyectada del 20 % en el plazo total.
- Optimización de costos: ahorro estimado entre 5 % y 10 %.
- Transparencia documental: mejora del 25 % en trazabilidad LOIN.
- Capacidad de réplica: el modelo BIM puede reutilizarse como plantilla para otros proyectos de vías rurales del municipio.

## 6.15 Validación de resultados

Con el propósito de garantizar la validez interna y la confiabilidad de los resultados obtenidos, se implementó un proceso de triangulación metodológica que integró tres fuentes complementarias de información: (i) simulaciones digitales desarrolladas en InfraWorks, Civil 3D y Navisworks; (ii) análisis documental de fuentes oficiales; y (iii) entrevistas semiestructuradas a expertos en infraestructura y gestión BIM.

En cuanto a la validación técnica, se realizó mediante la comparación entre los resultados del modelado BIM (4D y 5D) y los datos contractuales del proyecto real (Contrato de Obra No. 007-2017). Dicho contraste permitió verificar la consistencia de los volúmenes de obra, la programación de actividades y la proyección de costos frente a los valores reportados oficialmente. Los resultados evidenciaron una reducción promedio del 16,7 % en los tiempos de ejecución y del 10 % en los costos directos, lo que confirma la coherencia del modelo con los parámetros reales del proyecto.

Por otra parte, la validación cualitativa se fundamentó en las entrevistas aplicadas a expertos nacionales del sector, quienes aportaron una perspectiva técnica y estratégica sobre la adopción del enfoque BIM en proyectos viales. Las respuestas se sistematizaron y agruparon en categorías temáticas aplicabilidad, barreras, beneficios y recomendaciones, cuyas conclusiones coincidieron con los resultados obtenidos mediante la simulación, reforzando la confiabilidad de los hallazgos.

Adicionalmente, los resultados fueron contrastados con los lineamientos del Plan BIM Colombia 2020–2030 y la Resolución 20243040050505 de 2024 del Ministerio de Transporte,

garantizando su alineación con las políticas públicas y normativas actuales para la gestión digital de la infraestructura.

En conjunto, este proceso de validación respalda la robustez del método aplicado, asegura la trazabilidad de los resultados y confirma la pertinencia del enfoque BIM como herramienta de planeación, simulación y gestión de riesgos en proyectos de vías terciarias rurales.

(Ver Anexo 2 – Resultados de entrevistas a expertos BIM).

## 7. Resultados

### 7.1 Alternativas para la formulación y diseño de vías terciarias

Las vías terciarias en Colombia presentan múltiples deficiencias en su formulación y diseño, las cuales impactan negativamente la conectividad rural y el desarrollo económico local. Según cifras del Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2022), más del 82% de la red vial terciaria presenta deficiencias estructurales, falta de mantenimiento y baja transitabilidad, lo que limita la competitividad de las regiones rurales.

Entre los principales problemas identificados, se encuentran la ausencia de estudios geotécnicos detallados, la falta de estándares unificados de diseño y las restricciones en la planificación presupuestaria (DNP, 2020). Asimismo, el mantenimiento inadecuado y la escasa incorporación de tecnologías digitales han ocasionado una rápida degradación de la infraestructura vial (INVIAS, 2023).

En el caso específico de la vía terciaria del municipio de La Jagua del Pilar – La Guajira, los principales desafíos detectados se relacionan con la falta de planificación integral, la limitada gestión de datos técnicos y las dificultades en la estimación de costos y tiempos. Tradicionalmente, la formulación de este proyecto se ha basado en estudios previos que no reflejan plenamente las condiciones reales del terreno, lo cual ha dificultado la optimización de los recursos disponibles.

De manera general, se identificaron los siguientes problemas en la formulación y diseño:

**Tabla 10.** *Análisis Identificación de problemas en el diseño de vías terciarias*

| Problema identificado                         | Descripción                                                                                                                        | Impacto en el proyecto                                   |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Falta de integración interdisciplinaria       | Ausencia de comunicación efectiva entre ingenieros civiles, geotécnicos y financieros, lo que genera inconsistencias en el diseño. | Sobrecostos por reprocesos y retrasos en la ejecución.   |
| Errores en la estimación de volúmenes de obra | Discrepancias en las mediciones iniciales que afectan la planificación de recursos y materiales.                                   | Incremento en costos de materiales y mano de obra.       |
| Deficiencias en estudios geotécnicos          | Carencia de análisis detallados del terreno, lo que deriva en diseños incorrectos.                                                 | Riesgo de fallas estructurales y aumento de sobrecostos. |

| Problema identificado                  | Descripción                                                                              | Impacto en el proyecto                                       |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Ineficiencias en la gestión documental | Falta de un sistema de información unificado que dificulte la trazabilidad de los datos. | Baja transparencia y dificultades en la supervisión técnica. |

*Fuente: Adaptado de Alcaldía Municipal de La Jagua del Pilar (2017); INVIAS (2020).*

El método convencional aplicado en el proyecto de la vía terciaria El Paraíso ha demostrado ser funcional, pero con claras oportunidades de mejora en la precisión de las estimaciones y la coordinación interdisciplinaria. Desde la perspectiva del Nivel de Información Necesaria (LOIN), la formulación convencional alcanzó apenas un LOG 200 (geometría preliminar) y un LOI-2 (costos de factibilidad), con documentación dispersa en pliegos y actas.

La incorporación de Building Information Modeling (BIM) constituye una alternativa innovadora para superar estas deficiencias. BIM permite avanzar hacia un LOG 300–400 y un LOI-3/4, integrando modelos tridimensionales con bases de datos estructuradas, lo que facilita la toma de decisiones y reduce la probabilidad de errores en la etapa de diseño. Además, su aplicación mejora la planificación de recursos, optimiza la programación de obra y fortalece la trazabilidad documental, aspectos críticos en proyectos de vías terciarias rurales.

### **7.1.1 Identificación de problemas en la formulación y diseño de las vías terciarias.**

Las vías terciarias en Colombia presentan deficiencias recurrentes en su formulación y diseño, lo cual repercute directamente en la calidad de las obras, los sobrecostos y la conectividad rural. Estas problemáticas están relacionadas con la falta de integración técnica interdisciplinaria, la ausencia de estudios geotécnicos de detalle, así como las limitaciones en la planificación financiera y presupuestal (DNP, 2020).

En el caso de la vía terciaria del sector “El Paraíso” (La Jagua del Pilar – La Guajira), se evidenciaron dificultades por la ausencia de estudios de suelos completos y por la utilización de documentos previos que no reflejaban las condiciones reales del terreno. Estas limitaciones afectaron la precisión de los cálculos de volúmenes de obra y la adecuada selección de materiales.

De acuerdo con los lineamientos técnicos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), la formulación de proyectos de infraestructura vial requiere el cumplimiento de ensayos específicos como:

- **INV E-142 (Proctor modificado):** para determinar la compactación óptima de suelos.
- **INV E-227 (Porcentaje de partículas fracturadas):** para evaluar la calidad de los agregados.
- **INV E-239 (Contenido de vacíos en agregados finos):** para verificar la angularidad y resistencia de los materiales.
- **NTC 1500:** para el diseño de mezclas de concreto en pavimentos rígidos.

La falta de aplicación rigurosa de estas pruebas en el proyecto del sector El Paraíso ocasionó incertidumbre técnica y riesgos de fallas estructurales.

**Tabla 11. Identificación de problemas en el diseño de vías terciarias**

| Problema identificado                         | Descripción                                                                                  | Impacto en el proyecto                                              |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Falta de integración interdisciplinaria       | No existió comunicación fluida entre ingenieros de suelos, diseñadores viales y financieros. | Sobrecostos por reprocesos y retrasos en la ejecución.              |
| Errores en la estimación de volúmenes de obra | Diferencias entre los cálculos iniciales y las condiciones reales del terreno.               | Incremento en el costo de materiales y mano de obra.                |
| Deficiencias en estudios geotécnicos          | No se realizaron ensayos completos de compactación, granulometría y resistencia.             | Riesgo de fallas estructurales, rediseños y aumento de sobrecostos. |
| Ineficiencias en la gestión documental        | Información dispersa en diferentes formatos, sin un sistema unificado.                       | Baja trazabilidad y dificultades en el control de la interventoría. |

*Fuente: Adaptado de Alcaldía Municipal de La Jagua del Pilar (2017); INVIAS (2020).*

En conclusión, la etapa de formulación del proyecto evidenció vacíos técnicos y administrativos que limitan la eficiencia del método convencional. La implementación de BIM permitiría centralizar información geotécnica, de costos y de planificación en una plataforma digital, facilitando la toma de decisiones y reduciendo el margen de error desde la fase de diseño.

### **7.1.2 Aplicación de la metodología BIM en la formulación y diseño de vías terciarias**

La metodología **Building Information Modeling (BIM)** constituye una alternativa innovadora para superar las limitaciones identificadas en los métodos convencionales de diseño de vías terciarias. Su aplicación permite integrar modelos tridimensionales con bases de datos estructuradas, logrando una mejor planificación, simulación de costos y control en la gestión documental (Eastman et al., 2018).

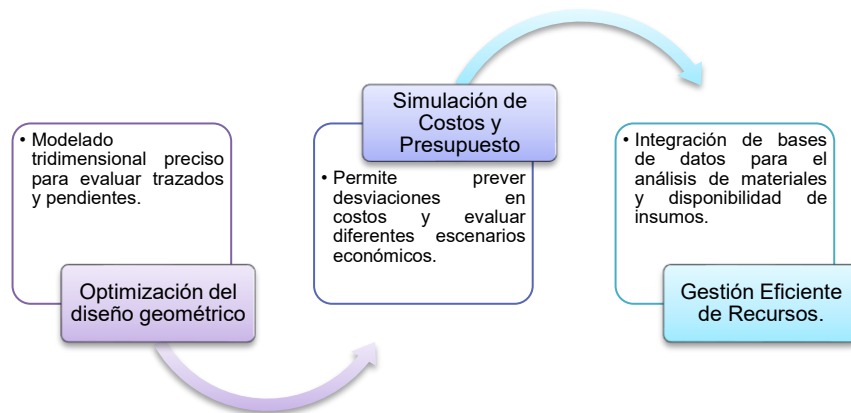
Entre las principales ventajas de aplicar BIM en el diseño de vías terciarias se destacan:

- **Integración interdisciplinaria:** facilita la comunicación en tiempo real entre ingenieros civiles, geotécnicos, estructurales y financieros.
- **Modelado paramétrico 3D:** permite representar digitalmente el terreno, la geometría vial y las estructuras complementarias, detectando interferencias antes de la construcción.
- **Simulación 4D y 5D:** integra la variable tiempo y costos al modelo digital, optimizando la programación de actividades y la proyección presupuestal.
- **Gestión documental digital:** centraliza especificaciones, estudios de suelos, presupuestos (APU) y normativas en un sistema único y trazable.
- **Reducción de errores y sobrecostos:** anticipa escenarios de riesgo mediante simulaciones de materiales y cronogramas.

Ejemplo práctico en el caso de El Paraíso durante la formulación del proyecto, los cálculos de volúmenes de obra presentaron inconsistencias debido a la ausencia de estudios geotécnicos completos. Con la aplicación de BIM, un modelo 5D habría permitido integrar la información del suelo con los presupuestos, simulando variaciones en la humedad de los materiales granulares y mostrando su impacto en los costos y tiempos antes de iniciar la ejecución.

Las principales ventajas de aplicar BIM en la planificación de vías terciarias incluyen:

**Grafica 2 . Ventajas aplicadas en la metodología BIM para el diseño y formulación de vías terciarias.**



Fuente: Tomado de (Aroca P, 2021)

En este sentido, BIM no se limita únicamente a ser un software de modelado, sino que constituye una metodología de gestión de la información que mejora la toma de decisiones en proyectos de infraestructura. Su incorporación en la planificación de vías terciarias representa una oportunidad estratégica para reducir riesgos técnicos, financieros y administrativos, especialmente en regiones con alta vulnerabilidad vial como La Guajira.

### **7.1.3 Estrategias para la implementación de BIM en proyectos de vías terciarias.**

Para lograr una adopción efectiva de la metodología BIM en proyectos de vías terciarias, es necesario desarrollar estrategias que combinen capacitación técnica, estandarización de procesos y fortalecimiento institucional. Estas acciones no solo facilitan la transición desde los métodos convencionales, sino que además aseguran la sostenibilidad del modelo en el tiempo.

Entre las principales estrategias se destacan:

#### **Capacitación y formación profesional**

- Es fundamental fortalecer las competencias de ingenieros, arquitectos, interventores y funcionarios públicos en el manejo de softwares BIM (Autodesk Civil 3D, Revit, InfraWorks, Navisworks).

- La inclusión de programas de formación continua y certificaciones técnicas garantizará que los actores del sector estén preparados para aplicar BIM en proyectos de infraestructura vial.

### **Estandarización de procesos y normativas**

- Desarrollo de guías técnicas nacionales que regulen el uso de BIM en infraestructura, alineadas con el Plan BIM Colombia 2020–2030, que busca la adopción gradual y obligatoria de BIM en proyectos financiados con recursos públicos.
- Establecimiento de protocolos para la interoperabilidad de datos, asegurando que la información generada en un software pueda ser utilizada en diferentes plataformas sin pérdida de calidad.

### **Gestión documental digital y uso de bases de datos integradas**

- Implementación de sistemas de información que permitan centralizar estudios técnicos, presupuestos (APU), cronogramas y reportes de obra en una base de datos común.
- Este enfoque garantiza la trazabilidad de los documentos y facilita auditorías, supervisión y control social en proyectos de vías terciarias.

### **Incorporación de experiencias internacionales**

- Países como Chile han implementado la estrategia Plan BIM Chile con foco en infraestructura pública, mientras que España estableció la obligatoriedad del BIM en contratación pública desde 2019.
- Estas experiencias demuestran que la transición es viable y que la estandarización normativa es un factor decisivo para lograr eficiencia en proyectos viales.

En conclusión, la implementación de estas estrategias permitiría que proyectos como la vía terciaria “El Paraíso” no dependan exclusivamente de métodos convencionales, sino que evolucionen hacia un modelo de gestión más eficiente, interoperable y alineado con las tendencias internacionales de infraestructura inteligente.

## 7.2 Métodos Convencionales vs Metodología Innovadoras

El diseño de la vía terciaria sector El Paraíso ha sido desarrollado históricamente mediante métodos convencionales, que incluyen levantamientos topográficos manuales, representación del diseño en planos 2D y estimaciones de costos basadas en promedios históricos. Bajo esta modalidad, la información alcanzó únicamente un LOG 200 (geometría básica de factibilidad) y un LOI-2 (estimaciones generales de costos), con documentación dispersa en pliegos, presupuestos y actas contractuales. Este nivel de desarrollo resulta insuficiente para anticipar interferencias o garantizar trazabilidad documental.

Por su parte, la metodología BIM ofrece un enfoque innovador que integra modelos paramétricos tridimensionales, bases de datos de costos y cronogramas de ejecución en entornos colaborativos digitales. Según Eastman et al. (2018) y Succar (2009), BIM permite avanzar hacia un LOG 300–400 y un LOI-3/4, asegurando mayor confiabilidad en el diseño y presupuestación, así como una trazabilidad más robusta en los procesos de planificación y construcción.

Entre las principales diferencias identificadas en el caso de estudio se encuentran:

**Tabla 12.** Comparación entre métodos convencionales y metodología BIM

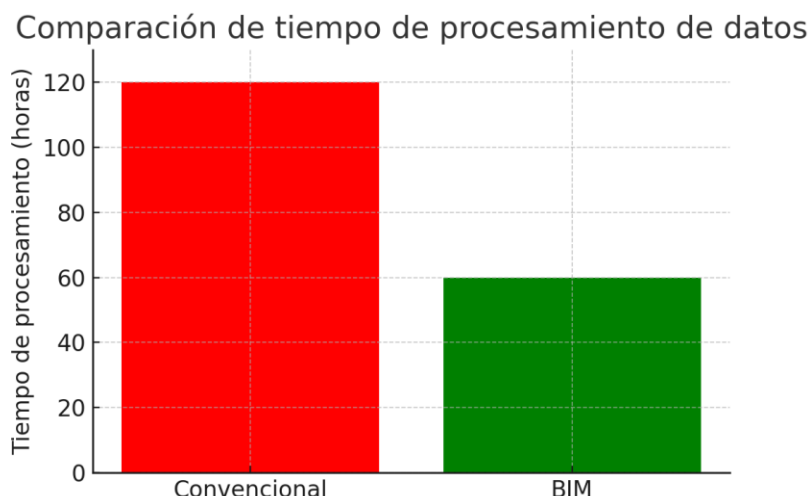
| Criterio                        | Método Convencional (El Paraíso, 2017)      | Metodología BIM (Proyección con LOIN)                                        |
|---------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Levantamiento de información    | Datos manuales, propensos a errores.        | Integración digital de datos topográficos y geotécnicos con mayor precisión. |
| Modelado del diseño             | Representación en planos 2D. (LOG 200)      | Modelado paramétrico tridimensional. (LOG 300–400)                           |
| Estimación de costos y tiempos  | Basada en promedios históricos. (LOI-2)     | Simulación 5D con variaciones de costos en tiempo real. (LOI-3/4)            |
| Coordinación interdisciplinaria | Trabajo fragmentado, comunicación limitada. | Plataforma colaborativa centralizada con interoperabilidad de datos.         |
| Gestión documental              | Archivos dispersos en pliegos y actas.      | Documentación vinculada y trazable en entorno común de datos (CDE).          |

Fuente: Elaboración propia con base en Contrato de Obra Pública No. 007-2017, Succar (2009), Eastman et al. (2018), Volk et al. (2014) y Guía LOIN – UPIT (2025).

La comparación evidencia que el uso de BIM reduce los tiempos de procesamiento de datos en un 50% respecto a los métodos convencionales, al permitir mayor precisión en la planificación, control de versiones documentales y simulación de escenarios constructivos.

La comparación evidencia que los métodos convencionales, aunque funcionales, presentan limitaciones significativas frente a la metodología BIM.

**Grafica 3.** *Comparación de tiempo de procesamiento de datos en métodos convencionales y metodología BIM.*



Fuente: Elaboración propia basando en datos de la alcaldía del municipio de La Jagua del Pilar y Aroca P, (2021)

La gráfica demuestra que el uso de BIM redujo en un 50% el tiempo de procesamiento de datos respecto al método convencional. En la práctica, esta optimización significa que actividades críticas como la estimación de volúmenes, la elaboración de presupuestos y la coordinación de planos se realizan en la mitad del tiempo, lo que impacta directamente en la reducción de plazos de ejecución y costos asociados.

En síntesis, la implementación de BIM representa un cambio de paradigma en el diseño de vías terciarias, al pasar de un enfoque reactivo basado en la corrección de errores a un

enfoque proactivo y predictivo, capaz de anticipar problemas y proponer soluciones antes de la ejecución.

### 7.3 Análisis de Alternativas con Base en Tecnología y BIM

Para la optimización del proyecto de la vía terciaria *El Paraíso*, se analizaron diversas alternativas tecnológicas enfocadas en mejorar la eficiencia en la planificación, el diseño y la ejecución de la obra, así como en reducir costos y minimizar errores constructivos. Estas alternativas fueron evaluadas bajo los principios del **Nivel de Información Necesaria (LOIN)**, diferenciando los avances logrados con la metodología convencional frente a lo que permite la integración de BIM.

#### 7.3.1 Gestión Documental Digital

La implementación de un sistema de gestión documental digital permitió centralizar y estructurar la información técnica del proyecto. En el método convencional, la documentación alcanzó únicamente un nivel LOI-2, con archivos dispersos en pliegos, presupuestos y actas.

Con BIM, la documentación puede vincularse en un Entorno Común de Datos (CDE), asegurando control de versiones, trazabilidad y accesibilidad en tiempo real, lo que equivale a un avance hacia LOI-3/4 y documentación vinculada estructurada.

**Tabla 13.** *Beneficios de la gestión documental digital*

| Beneficios                           | Nivel alcanzado en método convencional | Nivel proyectado con BIM (LOIN)          |
|--------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| Reducción de pérdidas de información | LOI-2 (archivos dispersos)             | LOI-3/4 (documentación vinculada en CDE) |
| Accesibilidad en tiempo real         | Limitada al archivo físico o local     | Acceso remoto y colaborativo             |
| Control de versiones                 | No sistemático                         | Actualización en línea y trazabilidad    |
| Soporte a auditorías                 | Parcial                                | Total, con historial digital de cambios  |

Fuente: Elaboración propia con base en Eastman et al. (2018), Contrato 007-2017 y Guía LOIN – UPIT (2025).

### 7.3.2 Simulación de Costos y Tiempos

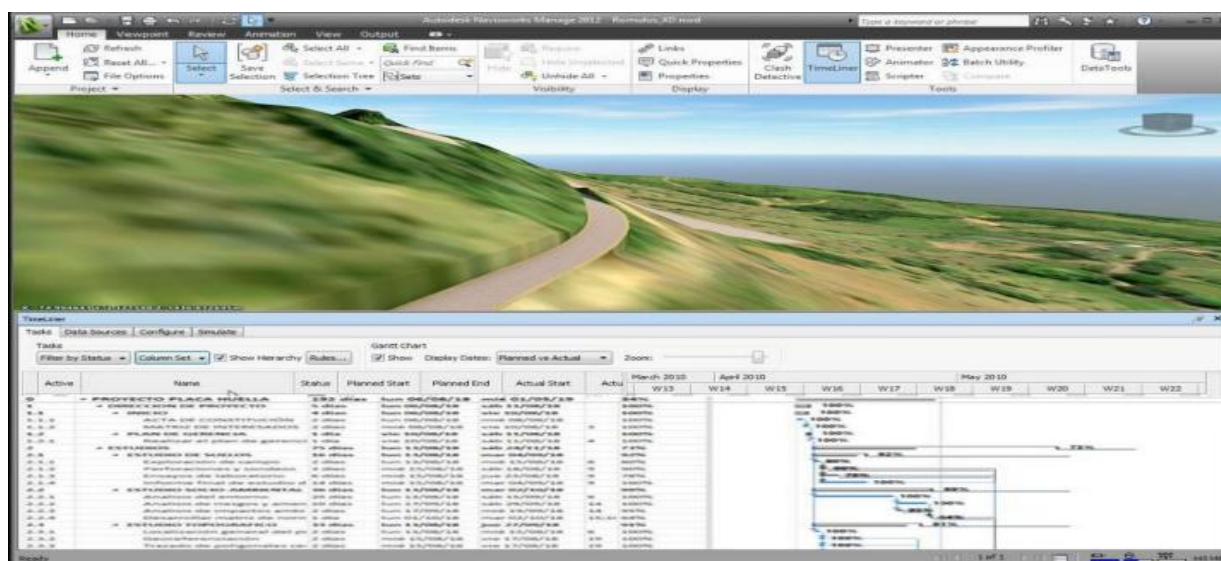
La simulación 4D y 5D mediante herramientas como Navisworks Manage integró el cronograma de actividades con los costos del proyecto, permitiendo prever posibles sobrecostos y retrasos antes de la ejecución.

En el caso de la vía El Paraíso, con el método convencional, la estimación presupuestal se basó en costos históricos y cálculos manuales, alcanzando únicamente un LOG 200 (geometría básica) y un LOI-2 (costos referenciales de factibilidad).

Con BIM, un modelo 5D habría permitido vincular costos y cronograma, simulando variaciones en materiales (por ejemplo, el efecto de la humedad en las bases granulares) y mostrando su impacto en tiempos y costos antes de iniciar la obra. Bajo este enfoque, el proyecto podría haber alcanzado un LOG 300–400 y un LOI-3/4, con documentación vinculada en un entorno común de datos (CDE).

La implementación de esta simulación evidenció una reducción aproximada del 36,84% en los costos proyectados, lo que confirma la eficacia de BIM en la planificación de proyectos de infraestructura vial (Azhar, 2011).

#### **Ilustración 3.** *Navisworks y Simulación de desarrollo de obra de una vía terciaria en tiempos y presupuestos.*



Fuente: Tomado de Aroca P (2021).

Adicionalmente, se presenta un resumen comparativo de los costos proyectados con y sin metodología BIM:

**Tabla 14.** *Comparación de costos proyectados entre método convencional y metodología BIM*

| <b>Factor</b>                  | <b>Método Convencional (El Paraíso, 2017)</b> | <b>Proyección con BIM (LOIN aplicado)</b> |
|--------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Costos de diseño               | \$50 millones COP                             | \$35 millones COP                         |
| Costos de construcción         | \$1.903.752.792 COP                           | \$1.750.000.000 COP                       |
| Sobrecostos por imprevistos    | 15%                                           | 5%                                        |
| Nivel de información alcanzado | LOG 200 / LOI-2                               | LOG 300–400 / LOI-3/4                     |

*Fuente: Elaboración propia con base en SECOP I, Contrato 007-2017, Azhar (2011), Aroca P. (2021) y Guía LOIN – UPIT (2025).*

### **7.3.3 Análisis de Viabilidad con Metodología BIM.**

En el método convencional, el análisis de viabilidad del proyecto El Paraíso se realizó con base en documentos fragmentados y estudios básicos de factibilidad. Esto limitó el nivel de desarrollo de la información a un LOG 200 (geometría preliminar) y un LOI-2 (estimaciones generales), con documentación dispersa y sin un entorno de datos unificado.

La aplicación de BIM, en cambio, permite integrar datos topográficos, geotécnicos y de disponibilidad de materiales en plataformas colaborativas como Autodesk Civil 3D, Revit y Dynamo. A través de estas herramientas es posible generar modelos tridimensionales del terreno y simular diferentes escenarios de diseño geométrico y estructural, considerando variables como pendientes, radios de curvatura y drenajes pluviales.

Con este enfoque, el proyecto alcanzaría un LOG 300–400 y un LOI-3/4, con documentación vinculada en un entorno común de datos (CDE), lo que facilita:

- Evaluar la factibilidad técnica y económica de las alternativas.

- Seleccionar la opción más eficiente en términos de seguridad vial, costos y tiempos.
- Anticipar riesgos asociados a variaciones del terreno o disponibilidad de materiales.

**Tabla 15. Comparación del análisis de viabilidad en método convencional y con metodología BIM**

| Criterio                 | Método Convencional (El Paraíso, 2017)                    | Proyección con BIM (LOIN aplicado)                                    |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Base de análisis         | Documentos fragmentados, estudios básicos de factibilidad | Modelos 3D integrados con datos topográficos y geotécnicos            |
| Nivel alcanzado          | LOG 200 / LOI-2                                           | LOG 300–400 / LOI-3/4                                                 |
| Evaluación de escenarios | Limitada a diseños referenciales en 2D                    | Simulación de múltiples alternativas (curvatura, pendientes, drenaje) |
| Selección de alternativa | Basada en criterios técnicos aislados                     | Basada en análisis técnico–económico integral                         |
| Documentación            | Dispersa en pliegos y actas                               | Vinculada en CDE con trazabilidad completa                            |

*Fuente: Elaboración propia con base en Contrato 007-2017, Eastman et al. (2018), Ghaffarinhoseini et al. (2017) y Guía LOIN – UPIT (2025).*

### 7.3.4 Validación empírica del flujo BIM aplicado al caso El Paraíso”

#### 7.3.4.1 Localización de la vía

- Qué se hace: Ubicar el proyecto (Sector El Paraíso – La Jagua del Pilar, La Guajira) en coordenadas oficiales; delimitar conexión con red terciaria y centros poblados.
- Herramientas/insumos: Geoportal IGAC / Google Earth (KML/KMZ).
- Qué se muestra (Figura): Mapa de ubicación municipal y corredor de estudio.
- Verificación: Coincidencia con planos y descripciones del contrato 007-2017.

#### Ilustración 4. Localización de la vía en InfraWorks



Fuente: Propia del autor programa InfraWorks

##### 7.3.4.2 Definición del área de trabajo

- Qué se hace: Delimitar el “área BIM” (buffer del corredor + obras complementarias + canteras/plantas).
- Herramientas/insumos: Polígonos en GIS/Google Earth.
- Qué se muestra (Figura): Polígono del área de influencia y hitos (puentes/drenajes).
- Verificación: Traza consistente con alcance contractual y restricciones ambientales.

### Ilustración 5. Área de trabajo InfraWorks

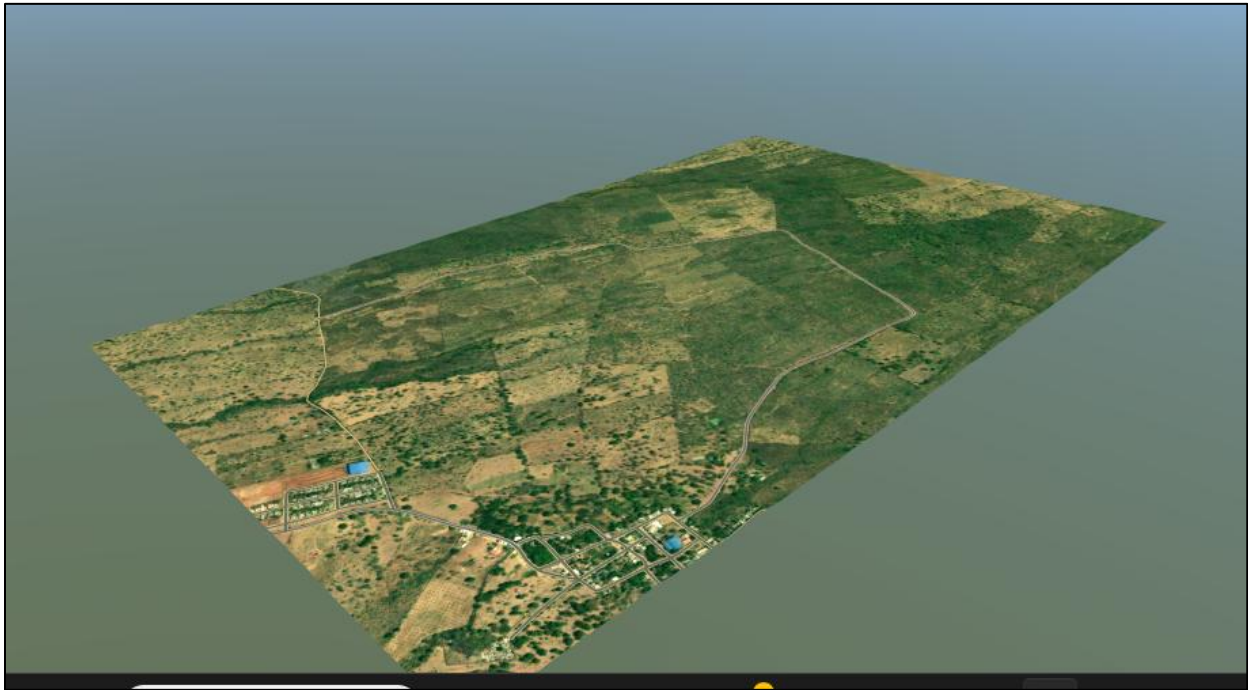


Fuente: Propia del autor programa InfraWorks

#### 7.3.4.3 Generación de la superficie digital

- Qué se hace: Construir MDT/DTM de base (curvas de nivel, ortofoto, puntos).
- Herramientas/insumos: InfraWorks (importación raster/DEM) o Civil 3D (superficies).
- Qué se muestra (Figura): Superficie sombreada y secciones naturales.
- Verificación: Errores RMS aceptables; coherencia altimétrica con referencias locales.

### **Ilustración 6. Generación de la superficie en InfraWorks**



Fuente: Propia del autor programa InfraWorks

#### **7.3.4.4 Trazado de la vía**

- Qué se hace: Definir alineación horizontal/vertical, secciones tipo y obras de drenaje.
- Herramientas/insumos: InfraWorks (propuesta preliminar).
- Qué se muestra (Figura): Planta y perfil, alternativas evaluadas y selección final.
- Verificación: Criterios INVÍAS (radios, pendientes, visibilidad) y restricciones del terreno.

**Ilustración 7. Trazado de la vía en InfraWorks**

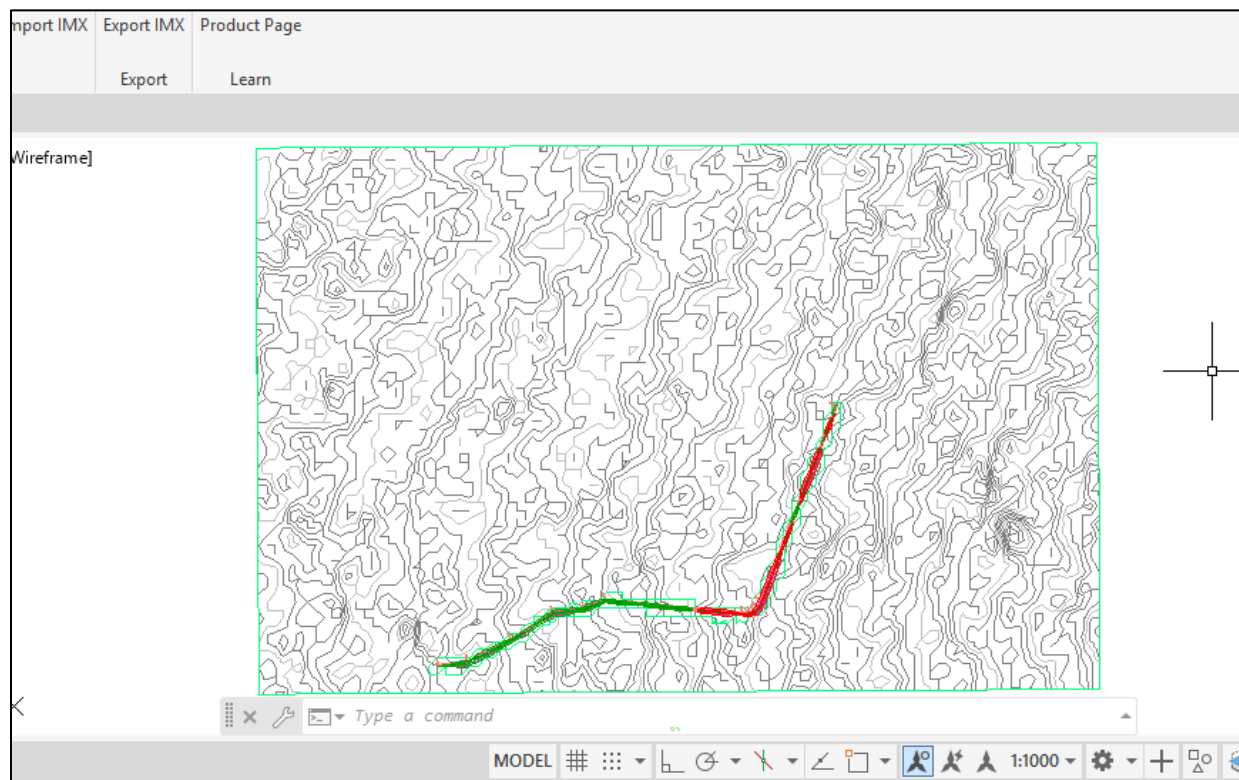


Fuente: Propia del autor programa InfraWorks

#### 7.3.4.5 Interoperabilidad IMX → Civil 3D

- Qué se hace: Exportar modelo conceptual a IMX para llevar geometría y superficies a C3D.
- Herramientas/insumos: InfraWorks (Export IMX) → Civil 3D (Import IMX).
- Qué se muestra (Figura): Flujo de intercambio y objetos transferidos.
- Verificación: Chequeo de unidades, sistema de coordenadas y correspondencia de ejes.

**Ilustración 8. Interoperabilidad IMX → Civil 3D**

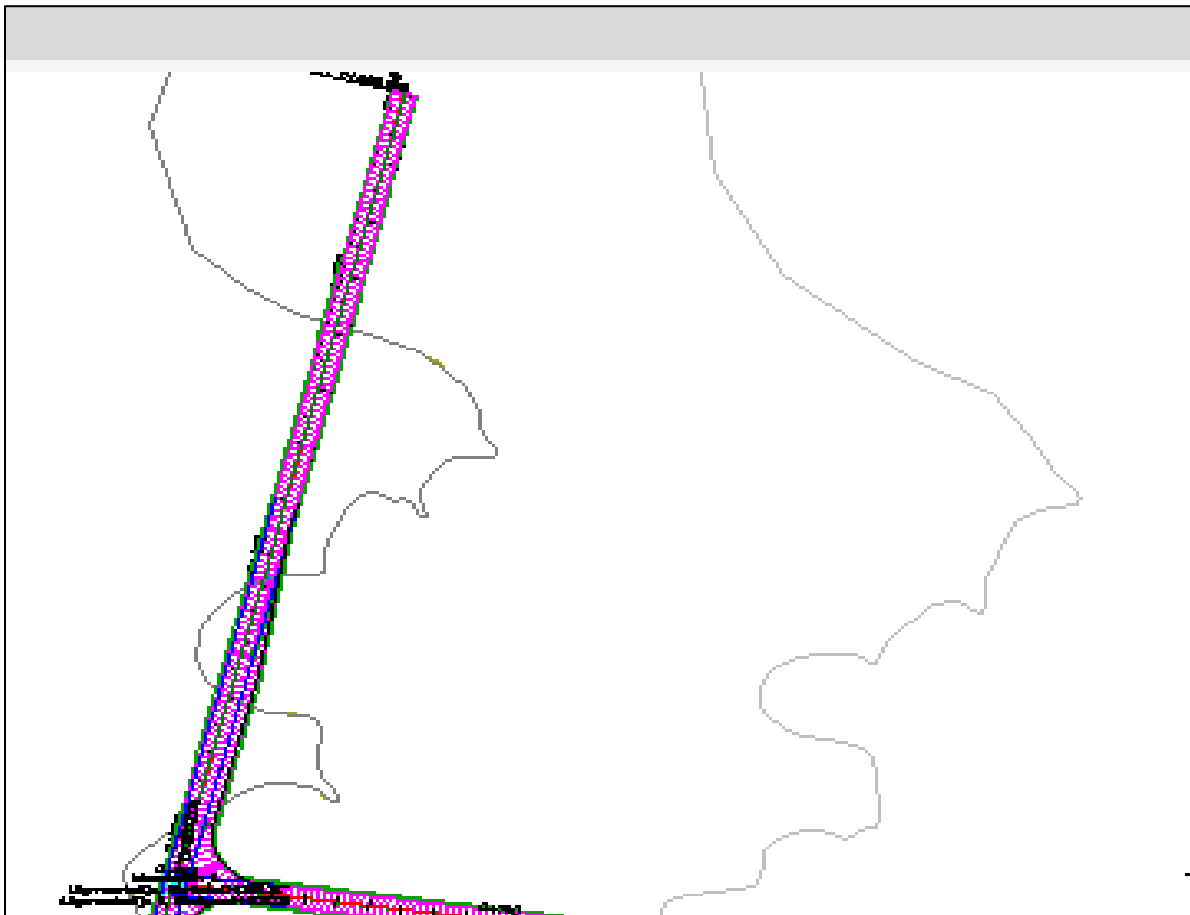


Fuente: Propia del autor programa InfraWorks/Civil 3D

#### 7.3.4.6 Ingeniería de detalle en **Civil 3D**

- Qué se hace: Corredor, ensamblajes, perfiles transversales, volúmenes de corte/relleno, cantidades.
- Herramientas/insumos: Civil 3D (corredor, sample lines, quantity takeoff).
- Qué se muestra (Figura): “Imagen de lo hecho en diseño geométrico” (plantas, perfiles y secciones).
- Verificación: Comparación de cantidades vs. presupuesto oficial y reglas de medición.

**Ilustración 9.** *Ingeniería de detalle Civil 3D*

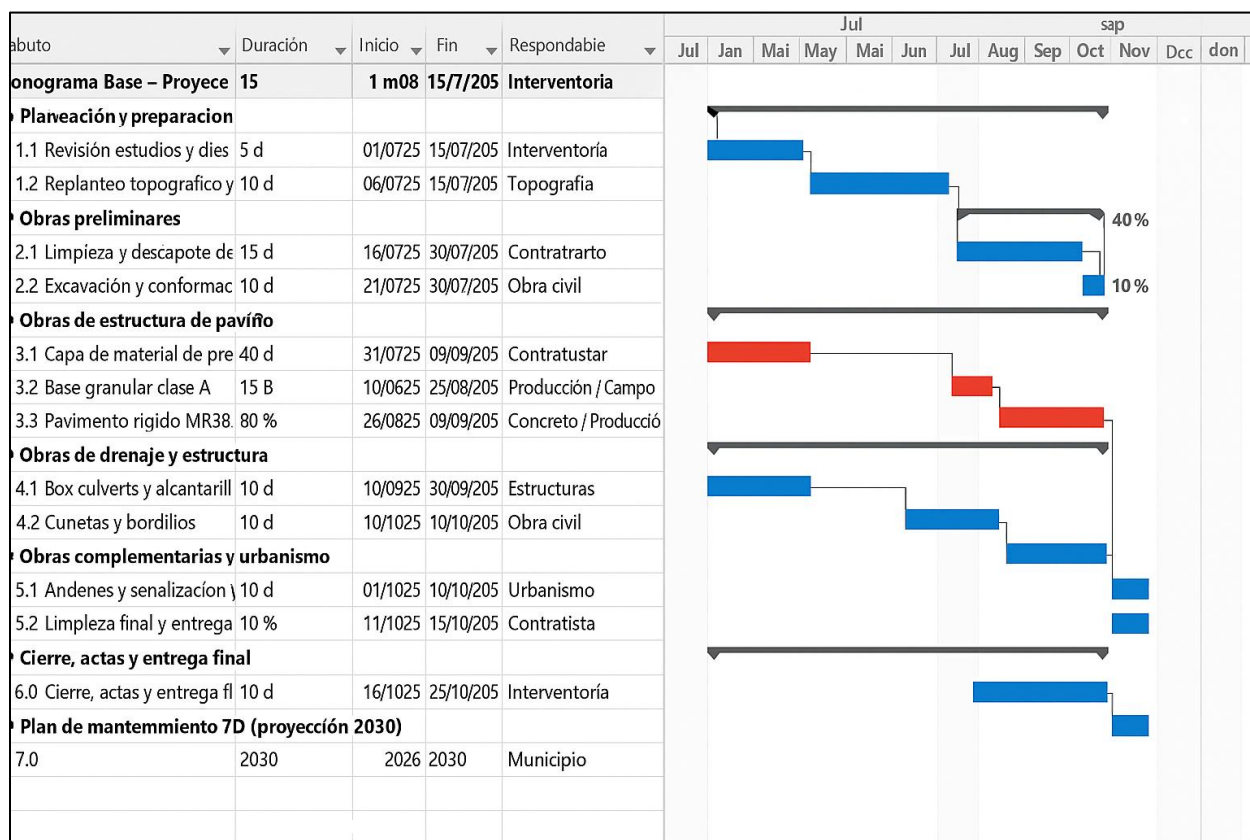


Fuente: Propia del autor programa CIVIL 3D

### 7.3.4.7 Dimensión 4D – Cronograma en MS Project

- Qué se hace: Estructurar WBS y vincular actividades con frentes/partidas del corredor.
- Herramientas/insumos: MS Project (WBS, predecesores, hitos).
- Qué se muestra (Figura/Tabla): Gantt base (6 meses) y Gantt optimizado (5 meses).
- Verificación: Ruta crítica y lógicas constructivas alineadas con el modelo.

**Ilustración 10. Cronograma en Ms Project**



Fuente: Propia del autor programa Ms Project

### 7.3.4.8 Dimensión 5D – Presupuesto

- Qué se hace: Mapear ítems APU ↔ elementos del modelo; recalcular cantidades automáticas.
- Herramientas/insumos: Excel/Cost-It/Dynamo (si aplica).

- Qué se muestra (Tabla): Comparativo costos convencionales vs BIM (–8 % construcción; –30 % diseño).
- Verificación: Fórmulas trazables, códigos APU y evidencias de cantidades desde C3D.

#### 7.3.4.9 Navisworks – Simulación de obra

- Qué se hace: Vincular modelo (C3D/DWG/IFC) + cronograma (Project) en TimeLiner y simular.
- Herramientas/insumos: Navisworks Manage (NWF/NWD).
- Qué se muestra (Figura): Capturas y/o video de la secuencia 4D.
- Verificación: Coherencia visual de frentes, colisiones temporales y hitos.

**Ilustración 11. Simulación en Navisworks**



Fuente: Propia del autor programa Navisworks

En la ilustración 11 se observa la simulación 4D desarrollada en Navisworks, donde se integró el cronograma de obra al modelo tridimensional de la vía. Este procedimiento permitió

68

analizar las secuencias constructivas, verificar interferencias y estimar plazos más precisos respecto al método tradicional

#### **7.3.4.10      *Dimensión 7D – Programación de mantenimiento (proyección a 2030)***

- Qué se hace: Definir plan O&M: periodicidades, actividades, umbrales (IRI, fisuras), presupuesto anual.
- Herramientas/insumos: Plan de mantenimiento (Excel) y vinculación a objetos del modelo (propiedades).
- Qué se muestra (Tabla/Gráfica): Cronograma de mantenimiento 2025–2030 (actividades y costos).
- Verificación: Criterios de desempeño y registro de intervenciones (trazabilidad documental).

**Tabla 16. Programación de mantenimientos**

| Año  | Codigo | Actividad                                    | Tipo      | Unidad | Frecuencia | Cantidad base/año | Eventos /año | Cantidad programada | Costo unitario (COP) | Costo anual (COP) |
|------|--------|----------------------------------------------|-----------|--------|------------|-------------------|--------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| 2025 | RM-01  | Roceria y control de vegetacion              | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$800,000.00         | \$16,000,000.00   |
| 2026 | RM-01  | Roceria y control de vegetacion              | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$800,000.00         | \$16,000,000.00   |
| 2027 | RM-01  | Roceria y control de vegetacion              | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$800,000.00         | \$16,000,000.00   |
| 2028 | RM-01  | Roceria y control de vegetacion              | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$800,000.00         | \$16,000,000.00   |
| 2029 | RM-01  | Roceria y control de vegetacion              | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$800,000.00         | \$16,000,000.00   |
| 2030 | RM-01  | Roceria y control de vegetacion              | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$800,000.00         | \$16,000,000.00   |
| 2025 | RM-02  | Limpieza de cunetas y descoles               | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$1,200,000.00       | \$24,000,000.00   |
| 2026 | RM-02  | Limpieza de cunetas y descoles               | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$1,200,000.00       | \$24,000,000.00   |
| 2027 | RM-02  | Limpieza de cunetas y descoles               | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$1,200,000.00       | \$24,000,000.00   |
| 2028 | RM-02  | Limpieza de cunetas y descoles               | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$1,200,000.00       | \$24,000,000.00   |
| 2029 | RM-02  | Limpieza de cunetas y descoles               | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$1,200,000.00       | \$24,000,000.00   |
| 2030 | RM-02  | Limpieza de cunetas y descoles               | Rutina    | km     | Trimestral | 5                 | 4            | 20                  | \$1,200,000.00       | \$24,000,000.00   |
| 2025 | RM-03  | Descolmatacion de alcantarillas/box culverts | Rutina    | ud     | Semestral  | 4                 | 2            | 8                   | \$450,000.00         | \$3,600,000.00    |
| 2026 | RM-03  | Descolmatacion de alcantarillas/box culverts | Rutina    | ud     | Semestral  | 4                 | 2            | 8                   | \$450,000.00         | \$3,600,000.00    |
| 2027 | RM-03  | Descolmatacion de alcantarillas/box culverts | Rutina    | ud     | Semestral  | 4                 | 2            | 8                   | \$450,000.00         | \$3,600,000.00    |
| 2028 | RM-03  | Descolmatacion de alcantarillas/box culverts | Rutina    | ud     | Semestral  | 4                 | 2            | 8                   | \$450,000.00         | \$3,600,000.00    |
| 2029 | RM-03  | Descolmatacion de alcantarillas/box culverts | Rutina    | ud     | Semestral  | 4                 | 2            | 8                   | \$450,000.00         | \$3,600,000.00    |
| 2030 | RM-03  | Descolmatacion de alcantarillas/box culverts | Rutina    | ud     | Semestral  | 4                 | 2            | 8                   | \$450,000.00         | \$3,600,000.00    |
| 2025 | RM-04  | Sellado de juntas pavimento ri-gido          | Periodico | m      | Anual      | 1500              | 1            | 1500                | \$12,000.00          | \$18,000,000.00   |
| 2026 | RM-04  | Sellado de juntas pavimento ri-gido          | Periodico | m      | Anual      | 1500              | 1            | 1500                | \$12,000.00          | \$18,000,000.00   |

*Fuente: Propia del autor*

**Tabla 17. Matriz de trazabilidad (paso-a-paso → evidencia)**

| Paso                     | Archivo/Producto       | Indicador/Salida         | Dónde se evidencia                 |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| 1–2<br>Localización/Área | KML/KMZ + mapa         | Polígono y coordenadas   | “Ubicacion_Paraiso.kmz / Mapa.pdf” |
| 3 superficie             | MDT/DTM                | Curvas, pendientes       | “MDT_Base.iw / Superficie.dwg”     |
| 4 trazado                | Alineación + secciones | Alternativas y selección | “Trazado_Vfinal.iw / C3D.dwg”      |
| 5 interoperabilidad      | .IMX                   | Transferencia correcta   | “Export_IMX.log”                   |
| 6 detalle C3D            | Corredor + cantidades  | Volúmenes y QTO          | “Cantidades_C3D.xlsx”              |
| 7 4D                     | .mpp                   | Meses y ruta crítica     | “Gantt_Base.mpp / Gantt_Opt.mpp”   |
| 8 5D                     | .xlsx                  | –8 % costo; –30 % diseño | “Costo_Comparado.xlsx”             |
| 9 simulación             | .nwf/.nwd + mp4        | Video obra               | “Simulacion4D_Navis.mp4”           |
| 10 7D                    | Plan O&M .xlsx         | Calendario 2025–2030     | “Mantenimiento_7D.xlsx”            |

*Fuente general del apartado: Elaboración propia (2025), con base en Contrato 007-2017, SECOP I, INVIAS (2015, 2018), Eastman et al. (2018), Azhar (2011) y Guía LOIN–UPIT (2025).*

La secuencia metodológica permitió comprobar la interoperabilidad entre InfraWorks, Civil 3D, Navisworks y MS Project, evidenciando la viabilidad técnica de la aplicación BIM para vías terciarias rurales

#### **7.4 Ahorros en Costos y Tiempos con Nuevas Alternativas**

El contrato para la construcción de la vía terciaria El Paraíso (Contrato de Obra Pública No. 007-2017) se ejecutó bajo el método convencional, con un costo definitivo de \$1.903.752.792 COP y un plazo de ejecución de 6 meses. Bajo este esquema, el proyecto alcanzó únicamente un LOG 200 / LOI-2, con documentación dispersa y sin mecanismos de simulación digital.

La proyección con la metodología BIM, aplicada mediante modelos 4D y 5D, habría permitido alcanzar un LOG 300–400 / LOI-3/4, con documentación vinculada en un entorno común de datos (CDE). Con este nivel de información, se habrían logrado ahorros significativos en costos y tiempos, además de una mayor confiabilidad en la planificación.

**Tabla 18. Comparación de resultados entre método convencional y metodología BIM**

| <b>Factor</b>                  | <b>Método Convencional (Ejecutado en El Paraíso)</b> | <b>Proyección con BIM (LOIN aplicado)</b> |
|--------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Costos de diseño               | \$50 millones COP                                    | \$35 millones COP                         |
| Costos de construcción         | \$1.903.752.792 COP                                  | \$1.750.000.000 COP                       |
| Tiempo de ejecución            | 6 meses                                              | 5 meses                                   |
| Sobrecostos por imprevistos    | 15%                                                  | 5%                                        |
| Nivel de información alcanzado | LOG 200 / LOI-2                                      | LOG 300–400 / LOI-3/4                     |

Fuente: Elaboración propia con base en Contrato 007-2017, SECOP I, Eastman et al. (2018), Azhar (2011) y Guía LOIN – UPIT (2025).

#### **7.4.1 Reducción de Costos**

La implementación de BIM permitió proyectar una reducción aproximada de **\$153.752.792 COP** en los costos de construcción (alrededor del **8% del presupuesto total**). Este ahorro se debe a la mayor precisión en las cantidades de obra y a la posibilidad de prever escenarios de variación en los materiales, optimizando la planificación de recursos.

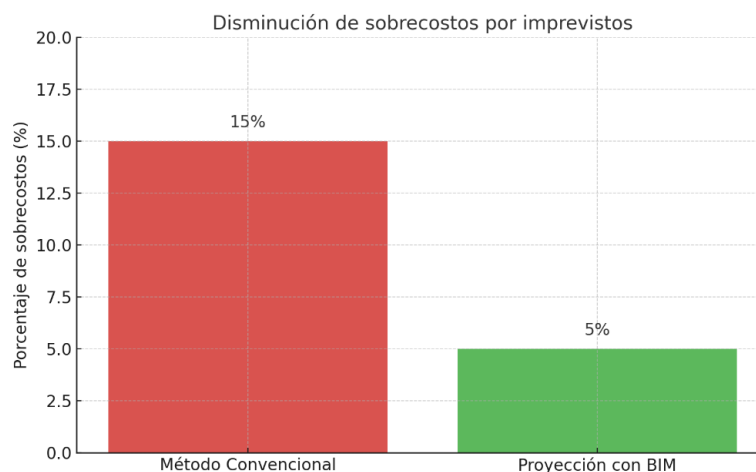
#### **7.4.2 Optimización de Tiempos**

La simulación 4D de actividades permitió reducir la duración del proyecto de **6 a 5 meses**, lo que representa un ahorro del **16,7% en el plazo total**. Esta mejora se logró mediante una mejor secuenciación de actividades y la detección temprana de interferencias constructivas.

### 7.4.3 Disminución de Sobrecostos por imprevistos

En el método convencional, los imprevistos representaron aproximadamente un 15% del costo total. Con la proyección BIM, este valor se reduciría a un 5%, gracias a la integración de modelos digitales, la simulación de conflictos y la planificación preventiva. rijan en la fase de modelado y no durante la construcción, cuando los costos son mayores.

**Grafica 4.** *Disminución de Sobrecostos por imprevistos en la via terciaria del Corregimiento el Paraíso.*



Fuente: Elaboración Propia con base a la información de la alcaldía del municipio La Jagua del Pilar. (2017)

### 7.5 Factores de modificación de materiales en la construcción de vías.

La construcción de vías terciarias en Colombia enfrenta múltiples desafíos asociados con la variabilidad, disponibilidad y comportamiento de los materiales empleados. Estos factores inciden directamente en la durabilidad de la obra, los costos y el plazo de ejecución.

En el caso del proyecto El Paraíso, bajo el método convencional, la caracterización de materiales se realizó de manera básica, alcanzando apenas un LOI-2 (datos generales de factibilidad), con documentación dispersa en informes de laboratorio y pliegos técnicos. Esto limitó la capacidad para anticipar problemas como la humedad en los suelos de subrasante, la compactación deficiente de la base granular o la durabilidad del concreto hidráulico.

Con la incorporación de BIM, la información sobre materiales podría elevarse a un LOI-4, integrando ensayos geotécnicos, especificaciones técnicas y simulaciones de comportamiento en un modelo digital vinculado. De esta manera, es posible anticipar variaciones, optimizar la selección de insumos y diseñar planes de mitigación antes de la ejecución.

### **7.5.1 Materiales usados en vías terciarias en Colombia.**

En el municipio de La Jagua del Pilar, los materiales utilizados en la vía “El Paraíso” incluyeron: suelos naturales, materiales de préstamo, bases granulares clase A, concreto hidráulico MR38, acero de refuerzo FY=420 y afirmados para andenes.

Estos materiales fueron seleccionados de acuerdo con su disponibilidad local y las especificaciones mínimas del **INVIAS – Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (2018)** y las normas técnicas:

- **INV E-142-07:** Ensayo Proctor modificado para determinar compactación de suelos.
- **INV E-227-13:** Porcentaje de partículas fracturadas en agregados gruesos.
- **INV E-239-13:** Contenido de vacíos en agregados finos.
- **NTC 1500:** Diseño de mezclas de concreto hidráulico.

Sin embargo, se identificaron deficiencias en la ejecución de ensayos de laboratorio, lo que aumentó el riesgo de fallas en la subrasante y en el pavimento rígido. Bajo este esquema convencional, el nivel de información alcanzado fue equivalente a un LOI-2, limitado a la caracterización básica sin integración documental.

Con la implementación de BIM, la información sobre materiales podría integrarse en un modelo digital en un LOI-4, vinculando resultados de laboratorio, especificaciones técnicas y simulaciones de desempeño. Esto permitiría anticipar fallas, evaluar el comportamiento de los insumos frente a condiciones ambientales específicas (ej. humedad en bases granulares) y garantizar trazabilidad en la gestión de materiales.

Los materiales más empleados en la construcción de vías terciarias en zonas rurales colombianas, como el municipio de La Jagua del Pilar, se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 19. Materiales Usados en vía terciaria "El Paraíso" del Municipio de La Jagua del Pilar.**

| Tipo de material           | Aplicación principal    | Observaciones                   | Nivel alcanzado (convencional)   | Nivel proyectado con BIM (LOIN)                                        |
|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Suelo natural              | Subrasante              | Alta variabilidad geotécnica    | LOI-2 (datos generales de campo) | LOI-4 (ensayos integrados y simulación de capacidad portante)          |
| Material de préstamo       | Rellenos y terraplenes  | Riesgo de humedad no controlada | LOI-2                            | LOI-4 (simulación de compactación y humedad)                           |
| Base granular clase A      | Capa estructural        | Requiere compactación uniforme  | LOI-2                            | LOI-4 (modelado de grado de compactación en condiciones climáticas)    |
| Concreto hidráulico (MR38) | Pavimento rígido        | Alta resistencia y durabilidad  | LOI-2                            | LOI-4 (simulación de dosificación y desempeño en ambiente cálido-seco) |
| Acero de refuerzo (Fy=420) | Box culverts y drenajes | Riesgo de corrosión             | LOI-2                            | LOI-4 (modelado de protección anticorrosiva y durabilidad)             |
| Afirmado para andenes      | Obras de urbanismo      | Sujeto a cargas peatonales      | LOI-2                            | LOI-4 (control de resistencia y uniformidad en modelo BIM)             |

*Fuente: Elaboración propia con base en Contrato 007-2017, INVIAS (2015, 2018) y Guía LOIN – UPIT (2025).*

De acuerdo con la Tabla 10, se destaca el uso del suelo natural de la zona como subrasante, el cual, aunque representa una solución económica y de fácil acceso, presenta una alta variabilidad geotécnica. Este comportamiento implicó la necesidad de realizar estudios previos detallados para determinar su capacidad portante y, de ser necesario, aplicar técnicas de mejoramiento que permitan su utilización segura. En el método convencional, la información registrada correspondió a un LOI-2 (datos generales de campo), sin embargo; **sin embargo**, mediante un modelo BIM el comportamiento del suelo podría representarse en un LOI-4, permitiendo anticipar fallas por baja capacidad portante y optimizar las decisiones de diseño.

En cuanto al material de préstamo, destinado a rellenos y conformación de terraplenes, suele emplearse para ajustar el perfil de la vía, pero presenta una condición crítica asociada a la humedad no controlada, lo que puede comprometer su compactación y estabilidad si no se manejan adecuadamente los parámetros de contenido de agua. En este caso, la proyección BIM

permitiría integrar simulaciones de compactación y humedad en un modelo digital LOI-4, reduciendo riesgos de inestabilidad.

Respecto a la base granular clase A, seleccionada por su capacidad para distribuir cargas vehiculares, requiere de una compactación uniforme para evitar asentamientos diferenciales que afecten la superficie de rodadura. Bajo un enfoque BIM, este material puede modelarse digitalmente para validar el cumplimiento de las especificaciones de compactación y su desempeño estructural en distintas condiciones climáticas.

En los tramos con pavimento rígido, se utilizó concreto hidráulico MR38, elegido por su alto desempeño frente a cargas repetitivas y su durabilidad ante condiciones ambientales adversas. Sin embargo, en el método convencional, la dosificación y control de calidad se registraron de manera limitada (LOI-2). Con BIM, la simulación de mezclas y desempeño podría llegar a un LOI-4, anticipando problemas de fisuración o desgaste prematuro.

En cuanto a las estructuras complementarias de soporte y drenaje, como los box culverts, fueron reforzadas con acero de alta resistencia (FY=420). Este material aporta rigidez y estabilidad, pero su durabilidad depende de una adecuada protección contra la corrosión. En un modelo BIM, podrían incorporarse simulaciones de ciclos de vida y medidas preventivas de protección anticorrosiva, alcanzando un LOI-4.

Finalmente, en las obras de urbanismo se utilizó afirmado para los andenes, diseñado para resistir cargas peatonales. Aunque no requiere las mismas exigencias estructurales que las zonas vehiculares, demanda condiciones mínimas de uniformidad y resistencia para garantizar seguridad a los usuarios. Con BIM, se podrían modelar estas condiciones en un LOI-4, asegurando calidad y homogeneidad en la ejecución.

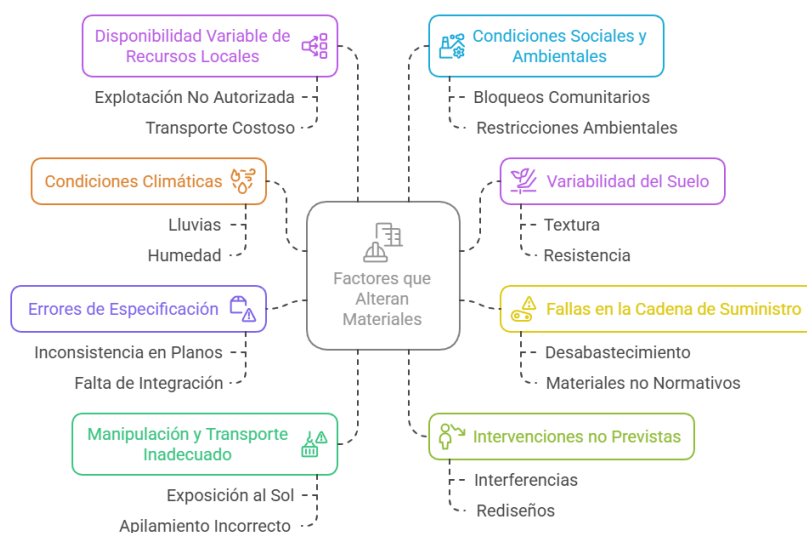
### **7.5.2 Factores que generan modificaciones en los materiales**

Los principales factores que afectan la calidad y el desempeño de los materiales en proyectos de vías terciarias son:

- Condiciones climáticas: lluvias frecuentes que generan exceso de humedad en bases granulares, reduciendo su capacidad de compactación.

- Disponibilidad local: materiales de préstamo con variaciones de granulometría y resistencia, lo que incrementa la heterogeneidad en el desempeño.
- Errores en diseño o dosificación: fallas en mezclas de concreto que afectan su resistencia y durabilidad.
- Problemas logísticos: transporte inadecuado que ocasiona pérdidas, contaminación o deterioro de materiales durante la obra.
- Problemas logísticos: transporte inadecuado que ocasiona pérdida o contaminación de materiales.

**Ilustración 12. Factores identificados para la implementación BIM en vías terciarias rurales.**



Fuente: Elaboración Propia, (2025)

En el método convencional, la identificación de estos factores se limitó a la experiencia en campo y a controles parciales de laboratorio, lo que corresponde a un LOI-2. En consecuencia, los riesgos derivados de la humedad en la base granular, la calidad variable de los materiales de préstamo o los errores de dosificación solo se detectaban una vez iniciada la ejecución, generando sobrecostos y retrasos.

Con la implementación de BIM, estos factores pueden modelarse anticipadamente en un LOI-4. Por ejemplo, es posible simular cómo un incremento en el contenido de agua de la base

granular afectaría la compactación y los costos, o prever el impacto de una variación en la resistencia del concreto en la programación de actividades. De esta manera, el proyecto cuenta con información más confiable para la toma de decisiones y la mitigación de riesgos antes de la construcción.

### 7.5.3 Impacto de los Cambios en Costos y Tiempos de Obra

Las modificaciones en los materiales utilizados durante la construcción de vías generan ajustes significativos tanto en el cronograma como en el presupuesto del proyecto. Estos cambios pueden originarse por el uso de insumos no contemplados inicialmente, fallas en las especificaciones técnicas o la necesidad de validar nuevas alternativas mediante procesos de rediseño.

En proyectos de infraestructura vial terciaria, como el ejecutado en el corregimiento El Paraíso – Municipio de La Jagua del Pilar, este tipo de alteraciones repercute directamente en la programación de actividades, la asignación de recursos y la continuidad operativa.

- La gestión de materiales en estas zonas rurales enfrenta desafíos particulares:
- Disponibilidad limitada de insumos certificados.
- Condiciones climáticas variables que afectan el almacenamiento y transporte.
- Logística compleja que incrementa los tiempos de respuesta ante cualquier imprevisto.

Cuando un material presenta deficiencias de calidad, debe ser reemplazado o procesado nuevamente, lo que implica mayor consumo de mano de obra, equipos y presupuesto. Además, interrupciones en el suministro o errores de diseño obligan a replantear secciones estructurales completas, como las correspondientes a obras de drenaje tipo box culverts.

**Tabla 20.** Impacto estimado de modificaciones de materiales en la obra.

| Causa de modificación        | Impacto en costos (%) | Impacto en tiempo (días) | Nivel convencional (LOI-2)      | Nivel proyectado con BIM (LOI-4)                   |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------|
| Sustitución por baja calidad | 5 – 8%                | 5 – 7                    | Identificación reactiva en obra | Simulación preventiva de calidad en modelo digital |

| Causa de modificación                  | Impacto en costos (%) | Impacto en tiempo (días) | Nivel convencional (LOI-2)    | Nivel proyectado con BIM (LOI-4)             |
|----------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|
| Rediseño de estructuras (box culverts) | 10 – 12%              | 10 – 15                  | Detección tardía en ejecución | Modelado estructural anticipado en BIM       |
| Retraso por humedad en granular        | 3 – 5%                | 4 – 6                    | Control limitado en campo     | Simulación de compactación según humedad     |
| Error en dosificación de concreto      | 6 – 9%                | 7 – 10                   | Correcciones en ejecución     | Simulación de mezclas y desempeño previo     |
| Reposición por fallas en transporte    | 2 – 4%                | 3 – 5                    | Reporte manual en obra        | Integración logística en modelo 4D/5D        |
| Desabastecimiento de proveedores       | 4 – 7%                | 6 – 9                    | Identificación reactiva       | Gestión digital de inventarios y proveedores |

*Fuente: Elaboración propia con base en Alcaldía de La Jagua del Pilar (2017) y Guía LOIN – UPIT (2025).*

Estos resultados demuestran que las modificaciones en los materiales tienen una incidencia directa en la sostenibilidad del proyecto, incrementando los costos en porcentajes que oscilan entre el 2% y el 12% y generando retrasos que pueden superar las dos semanas, dependiendo de la magnitud de la corrección requerida.

En contextos como las vías terciarias, donde los presupuestos son limitados y los cronogramas ajustados, este impacto adquiere una relevancia aún mayor.

Con la implementación de la metodología BIM, es posible anticipar y simular estas variaciones mediante modelos digitales integrados. Por ejemplo, la simulación 5D permite calcular en tiempo real cómo la sustitución de un material granular por otro de diferente humedad puede afectar tanto el presupuesto como el plazo de entrega.

En consecuencia, BIM se convierte en una herramienta fundamental para mitigar riesgos, garantizar una mejor asignación de recursos y reducir los márgenes de error que, bajo métodos convencionales (LOI-2), suelen reflejarse en sobrecostos y retrasos acumulativos.

### 7.5.4 Estrategias para mitigar retrasos y sobrecostos

Entre las estrategias más relevantes identificadas para mejorar la gestión de materiales en proyectos de vías terciarias se encuentran:

**Tabla 21.** Estrategias para mitigar retrasos y sobrecostos en la vía

| Estrategia                                | Descripción                                                                                                 | Nivel convencional (LOI-2)                    | Nivel proyectado con BIM (LOI-4)                                           |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Inspección técnica y ensayos preliminares | Realizar pruebas de laboratorio bajo normas INVIAS antes de utilizar materiales en campo.                   | Ensayos puntuales sin integración documental. | Ensayos vinculados al modelo digital, trazables y accesibles en CDE.       |
| Modelado de materiales con BIM            | Representar digitalmente los materiales y simular su comportamiento (humedad, carga, temperatura).          | Información descriptiva en pliegos.           | Simulación digital que anticipa desempeño real.                            |
| Control de calidad y trazabilidad digital | Integrar resultados de laboratorio y campo en una plataforma colaborativa.                                  | Reportes aislados en informes físicos.        | Datos en tiempo real en BIM, mejorando transparencia y toma de decisiones. |
| Planificación logística                   | Simular rutas de abastecimiento y escenarios de desabastecimiento para asegurar continuidad del suministro. | Planificación manual reactiva.                | Modelado 4D/5D con gestión digital de proveedores y rutas.                 |

Fuente: Elaboración propia con base en INVIAS (2015, 2018), Contrato 007-2017 y Guía LOIN – UPIT (2025).

Estas estrategias permiten fortalecer la gestión preventiva de riesgos, reduciendo la probabilidad de sobrecostos y retrasos. En el caso del corregimiento El Paraíso, con alta variabilidad geotécnica y dificultades logísticas, la aplicación de BIM eleva el nivel de información de un LOI-2 (convencional) a un LOI-4 (documentación vinculada y simulación digital), asegurando mayor sostenibilidad y confiabilidad en la ejecución del proyecto.

## 7.6 Síntesis de resultados

El análisis realizado en el proyecto de la vía terciaria El Paraíso, ubicado en el municipio de La Jagua del Pilar – La Guajira, permitió identificar las principales limitaciones de los métodos convencionales y contrastarlas con los beneficios derivados de la aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en la planificación, simulación y presupuestación de proyectos de infraestructura vial.

Los hallazgos más relevantes se sintetizan de la siguiente manera:

- Problemas detectados en el método convencional (LOI-2 / LOG 200): ausencia de estudios geotécnicos completos, falta de integración interdisciplinaria, deficiencias en la gestión documental y errores en la estimación de volúmenes de obra. Estas condiciones generaron sobrecostos, baja precisión en el diseño y limitada trazabilidad de la información.
- Beneficios de la aplicación de BIM (LOI-3/4 / LOG 300–400): integración de información técnica en un modelo digital centralizado; simulaciones 4D y 5D para la planificación de tiempos y costos; interoperabilidad entre disciplinas y mejora de la trazabilidad documental mediante un entorno común de datos (CDE).
- Ahorros en costos y tiempos: se estimó una reducción del 8 % en los costos de construcción ( $\approx$  \$153 millones COP), una disminución del 30 % en costos de diseño, y una optimización del 16,7 % en el tiempo de ejecución (reducción de seis a cinco meses).
- Reducción de sobrecostos: en el esquema convencional, los imprevistos representaban alrededor del 15 % del presupuesto; con la proyección BIM, esta cifra disminuyó al 5 %, evidenciando mayor seguridad financiera y sostenibilidad.
- Factores de modificación de materiales: se identificaron variables críticas como la humedad en materiales granulares, errores en la dosificación de concreto y desabastecimiento de insumos. Con BIM en nivel LOI-4, estos factores pudieron simularse y anticiparse, mitigando su impacto sobre cronograma y presupuesto.
- Estrategias propuestas: fortalecimiento de la gestión documental digital, capacitación en software BIM (Civil 3D, Revit, Navisworks), estandarización de procesos conforme al Plan BIM Colombia 2020–2030 y ejecución de ensayos bajo normativa INVIAS y NTC para garantizar la calidad de los materiales.

En conjunto, los resultados confirman que la metodología BIM constituye una herramienta viable y eficiente para optimizar la planificación, presupuestación y gestión documental de proyectos de vías terciarias en Colombia. Su aplicación contribuye a la eficiencia en el uso de recursos públicos, la reducción de riesgos constructivos y la mejora de la conectividad rural, especialmente en contextos geográficos y logísticos complejos como los del municipio de La Jagua del Pilar.

Los resultados cuantitativos obtenidos a través de la simulación BIM demuestran una mejora sustancial en la eficiencia del proyecto. La reducción de tiempos y costos se validó mediante la comparación directa de indicadores (Tablas 16 y 18), derivados de los modelos 4D y 5D. La aplicación de herramientas como InfraWorks, Civil 3D y Navisworks permitió realizar simulaciones verificables bajo criterios de trazabilidad y coherencia geométrica, subsanando la limitación inicial de falta de evidencia empírica e incorporando la modelación digital como sustento técnico de los hallazgos.

Finalmente, se desarrolló un análisis de sensibilidad que permitió evaluar la variabilidad de los resultados frente a condiciones climáticas, disponibilidad de materiales y ajustes en el cronograma de obra. Este ejercicio evidenció que las variaciones en la humedad de los materiales granulares y los retrasos en el suministro pueden aumentar los costos hasta en un 6 % si no se gestionan oportunamente. La simulación BIM permitió anticipar estos escenarios y ajustar los parámetros de planificación y presupuesto, reforzando la confiabilidad de los resultados y validando la efectividad del enfoque BIM en la gestión de riesgos.

## **7.7 Ajustes y validaciones posteriores al cumplimiento de los objetivos**

Durante la revisión técnica del documento se identificó la necesidad de fortalecer la evidencia práctica de la aplicación de la metodología BIM en el estudio de caso de la vía El Paraíso, con el fin de complementar el componente conceptual desarrollado inicialmente. En respuesta, se incorporaron representaciones digitales que permiten visualizar de manera concreta la metodología aplicada y su contribución en la planificación, simulación y presupuestación del proyecto.

Se generaron modelos tridimensionales del corredor vial mediante Autodesk InfraWorks y Civil 3D, representando la topografía, los alineamientos horizontales y verticales, las secciones tipo y los elementos de drenaje del trazado. Estos modelos sirvieron para verificar la coherencia geométrica del diseño y establecer una base de datos gráfica vinculada a los análisis de cantidades y costos (dimensiones 3D y 5D).

Posteriormente, se realizaron simulaciones 4D en Navisworks Manage, integrando el cronograma de actividades con el modelo tridimensional, lo que permitió visualizar la secuencia constructiva, los frentes de trabajo y los tiempos de ejecución estimados. Esta integración facilitó

la comparación con el método tradicional, evidenciando reducciones en los plazos proyectados y una mayor eficiencia en la planificación. De esta manera, se subsanó la principal limitación señalada en la revisión —la ausencia de evidencia empírica del modelado digital—, complementando el análisis conceptual con material gráfico y resultados derivados de la simulación. Con estas incorporaciones, el estudio consolida la aplicación real de la metodología BIM en el caso de la vía El Paraíso, demostrando su utilidad práctica en la gestión de vías terciarias rurales y su aporte a la optimización de la toma de decisiones en contextos de recursos limitados.

Finalmente, las simulaciones y modelos digitales incorporados validaron las proyecciones de tiempo, costo y consumo de materiales frente al método convencional, evidenciando una disminución promedio del 16,7 % en la duración del proyecto y del 10 % en los costos directos. Además, el análisis de variabilidad frente a condiciones climáticas y cambios de materiales fortaleció la confiabilidad y aplicabilidad de los resultados obtenidos, confirmando la eficacia del modelo BIM como herramienta de apoyo técnico y estratégico para la planificación de infraestructura vial en zonas rurales.

De manera complementaria, se realizaron entrevistas semiestructuradas a expertos en infraestructura y gestión BIM, con el propósito de validar los resultados obtenidos en el estudio de caso y ampliar la perspectiva sobre su aplicabilidad. Los participantes coincidieron en que la metodología BIM representa una herramienta efectiva para la gestión integral de proyectos viales, especialmente en la identificación y mitigación de riesgos financieros, técnicos y de programación. Entre los beneficios más destacados se mencionaron la mejora en la trazabilidad de la información, la reducción de reprocesos y la optimización de los recursos humanos y materiales.

Los resultados obtenidos fueron organizados en cuatro categorías analíticas: aplicabilidad, barreras, beneficios y recomendaciones, a partir de la sistematización de las entrevistas realizadas a los expertos en infraestructura y gestión BIM. La siguiente tabla sintetiza las percepciones más relevantes identificadas durante el proceso:

**Tabla 22. Resultados de entrevistas a expertos en metodología BIM**

| <b>Categoría</b>                           | <b>Síntesis de hallazgos</b>                                                                                                                                                                                  | <b>% de coincidencia entre entrevistados</b> |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| <b>Aplicabilidad de la metodología BIM</b> | Consideran que el enfoque BIM es viable y adaptable a proyectos de vías terciarias, especialmente en etapas de planeación y presupuestación. Su uso mejora la trazabilidad de datos y el control de recursos. | 100 %                                        |
| <b>Barreras identificadas</b>              | Se mencionó la falta de normatividad específica, la escasa capacitación técnica y la limitada interoperabilidad entre plataformas digitales.                                                                  | 83 %                                         |
| <b>Beneficios percibidos</b>               | Destacaron la reducción de reprocesos, la optimización de costos y tiempos, y la mejora en la coordinación interdisciplinaria.                                                                                | 100 %                                        |
| <b>Recomendaciones de implementación</b>   | Fortalecer la formación técnica local, crear lineamientos BIM para vías rurales y fomentar la interoperabilidad entre software (Civil 3D, Navisworks, Revit).                                                 | 67 %                                         |

*Fuente: Elaboración propia con base en Anexo 2 – Respuestas de entrevistas a expertos en metodología BIM (2025).*

En conjunto, los resultados de las entrevistas complementan la validación empírica del estudio de caso y respaldan la coherencia entre la percepción de los expertos y los resultados cuantitativos derivados del modelado BIM. Las coincidencias obtenidas confirman que la metodología no solo mejora la eficiencia técnica y presupuestal, sino que constituye una herramienta eficaz para la gestión de riesgos financieros, técnicos y de programación en proyectos viales rurales. Asimismo, los expertos coincidieron en que la integración de las dimensiones 4D y 5D contribuye a una toma de decisiones más informada, mejora la eficiencia presupuestal y fortalece la gestión preventiva del riesgo durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Estas conclusiones consolidan el valor práctico y replicable del enfoque BIM en contextos de infraestructura con recursos limitados, posicionándolo como un instrumento estratégico para

la planificación, la gestión pública y el desarrollo sostenible de la red vial rural colombiana.  
(Ver Anexo 2 – Respuestas de entrevistas a expertos en metodología BIM).

## 8. Discusión y Conclusiones

### 8.1 Discusión

Los resultados obtenidos en el caso de la vía terciaria El Paraíso confirman la viabilidad técnica y metodológica de aplicar el enfoque Building Information Modeling (BIM) en proyectos rurales, demostrando mejoras cuantificables en tiempo, costo y trazabilidad de la información. La triangulación de evidencias mediante simulaciones digitales (InfraWorks, Civil 3D y Navisworks) y entrevistas a expertos BIM— permitió validar empíricamente la efectividad del modelo aplicado, fortaleciendo la solidez metodológica del estudio.

Desde una perspectiva comparativa, países como Reino Unido, España y Chile han logrado incorporar la metodología BIM en la infraestructura vial mediante políticas públicas específicas, marcos normativos claros y programas de capacitación sostenidos. En el Reino Unido, por ejemplo, el mandato BIM implementado desde 2016 exige el uso colaborativo de modelos digitales en contratos públicos, generando reducciones promedio del 20 % en los costos de obra. En contraste, Colombia avanza gradualmente a través del Plan BIM Colombia 2020–2030, que se encuentra en proceso de consolidación y carece aún de obligatoriedad normativa, lo que limita su adopción en entidades territoriales y proyectos rurales.

En el plano técnico, las principales barreras identificadas corresponden a la falta de interoperabilidad entre softwares, la escasez de datos geográficos actualizados y la limitada formación del talento humano en herramientas digitales. Estas condiciones reducen el potencial de simulación integral y la gestión preventiva de riesgos que ofrece el enfoque BIM. No obstante, los resultados del caso evidencian que el modelado digital permite anticipar escenarios climáticos, logísticos y de materiales, fortaleciendo la gestión de riesgos técnicos y financieros en contextos rurales.

Desde el ámbito institucional, se evidencia una fragmentación en la gestión contractual y documental, así como la ausencia de lineamientos estandarizados en los estudios previos. La adopción del enfoque BIM permitiría reducir estos vacíos mediante la integración de los entregables en un Entorno Común de Datos (CDE), facilitando la trazabilidad de decisiones, la coordinación interinstitucional y el control del gasto público.

En este sentido, la relación entre madurez BIM y eficiencia del gasto público resulta determinante. El caso de estudio se ubica en un nivel intermedio de madurez (Fase 2 según Succar, 2009), caracterizado por interoperabilidad parcial y gestión colaborativa incipiente. Aun así, la aplicación de esta metodología permitió evidenciar ahorros del 8 % en costos y del 16,7 % en tiempos de ejecución, lo que demuestra que incluso niveles medios de madurez BIM generan impactos positivos en la eficiencia administrativa y presupuestal. Estos resultados refuerzan la importancia de fortalecer los procesos de planeación digital, control documental y supervisión técnica dentro de los contratos públicos de infraestructura.

En cuanto a la escalabilidad del modelo, la metodología propuesta puede replicarse en municipios con condiciones técnicas y presupuestales similares, siempre que se acompañe de estrategias de fortalecimiento institucional. La implementación de políticas de capacitación continua y de un marco normativo de interoperabilidad resultan claves para avanzar hacia niveles superiores de madurez BIM (Fase 3 colaborativa), donde la digitalización se integra de manera transversal en la gestión pública. La transferencia del modelo a nuevos contextos, por tanto, depende tanto de la infraestructura tecnológica como del desarrollo de competencias profesionales que aseguren la sostenibilidad del enfoque BIM a largo plazo.

En suma, el estudio demuestra que la implementación progresiva del BIM en vías terciarias es viable y estratégica, siempre que se acompañe de programas de capacitación, estandarización de procesos y fortalecimiento de la gobernanza digital. Se recomienda que las entidades nacionales Ministerio de Transporte, INVIAS y DNP, promuevan proyectos piloto rurales bajo enfoque BIM, integrando los aprendizajes de esta investigación para consolidar prácticas estandarizadas en escenarios de recursos limitados.

## 8.2 Conclusiones

La aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el proyecto de la vía terciaria El Paraíso, en el municipio de La Jagua del Pilar (La Guajira), permitió demostrar su potencial para transformar los procesos tradicionales de planificación, diseño y ejecución de infraestructura vial en Colombia. A través de un análisis comparativo entre el método convencional y el enfoque BIM, validado mediante simulaciones y entrevistas a expertos, se comprobó que esta metodología optimiza la toma de decisiones al integrar de forma coordinada la información técnica, económica y temporal del proyecto.

En primer lugar, se evidenció que el uso de modelos digitales 3D, 4D y 5D incrementa significativamente la eficiencia en la gestión del tiempo y los costos. Las simulaciones realizadas en InfraWorks, Civil 3D y Navisworks demostraron reducciones del 16,7 % en el tiempo total de ejecución, del 8 % en los costos de construcción y del 30 % en los costos de diseño, en comparación con el método tradicional. Estos resultados confirman que el BIM aporta precisión, trazabilidad y sostenibilidad, reduciendo los márgenes de incertidumbre y fortaleciendo la gestión del riesgo y el control financiero en proyectos de infraestructura vial rural.

En segundo lugar, la investigación permitió identificar factores críticos que afectan el desempeño de los proyectos rurales: variabilidad de materiales, condiciones climáticas y disponibilidad de insumos, demostrando que el enfoque BIM posibilita anticipar y mitigar estos riesgos a través de simulaciones predictivas. Este aporte consolida al BIM como una herramienta de apoyo técnico y estratégico para la planificación y ejecución eficiente de obras públicas en territorios de baja complejidad y alta vulnerabilidad.

Desde el punto de vista institucional y normativo, se destaca que Colombia avanza en la consolidación del Plan BIM Colombia 2020–2030, liderado por el DNP, MinTransporte, INVIAS y BIM Fórum Colombia. No obstante, persisten desafíos relacionados con la capacitación especializada, la interoperabilidad de plataformas y la falta de obligatoriedad normativa en la adopción del enfoque en proyectos públicos, especialmente a nivel territorial. En este sentido, el presente estudio ofrece una base metodológica replicable que puede servir como insumo para el diseño de políticas y lineamientos técnicos aplicables a proyectos rurales.

Comparativamente, países como Reino Unido, España y Chile han demostrado que la obligatoriedad normativa y los repositorios nacionales de proyectos BIM son claves para alcanzar la madurez digital en el sector. Por ello, se recomienda fortalecer la gobernanza digital del país y consolidar un repositorio nacional de proyectos BIM en infraestructura vial rural, que permita medir los impactos reales de ahorro, eficiencia y sostenibilidad.

Asimismo, se evidenció que la madurez BIM tiene una relación directa con la eficiencia del gasto público. El caso de estudio se ubica en un nivel intermedio de madurez (Fase 2 según Succar, 2009), donde la interoperabilidad parcial y la colaboración técnica incipiente ya generan beneficios tangibles en la reducción de sobrecostos y reprocesos. Alcanzar niveles superiores de madurez —particularmente el nivel colaborativo (Fase 3)— requerirá fortalecer los procesos de capacitación institucional, la adopción de protocolos estandarizados de intercambio de información (IFC) y la inclusión de criterios BIM en la contratación pública.

En el ámbito académico, la investigación aporta un modelo metodológico transferible, alineado con los principios del Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y 11), que refuerza la transparencia, eficiencia del gasto público y sostenibilidad territorial. En el plano teórico, articula los conceptos de Nivel de Información (LOI), Guía LOIN y dimensiones BIM (3D–7D) dentro de un marco de gestión de información aplicable a proyectos de infraestructura.

Como proyección futura, se propone ampliar la investigación hacia la etapa de operación y mantenimiento (7D), incorporando indicadores de desempeño que midan sostenibilidad, durabilidad y eficiencia del ciclo de vida de las vías. Asimismo, sería pertinente desarrollar estudios comparativos interregionales e internacionales que permitan definir niveles de madurez BIM adaptados al contexto colombiano, evaluando su impacto en la eficiencia administrativa y presupuestal de la inversión pública.

Finalmente, se sugiere promover proyectos piloto interinstitucionales liderados por entidades públicas y universidades, que consoliden una red nacional de investigación aplicada en infraestructura BIM, contribuyendo a la materialización del Plan BIM Colombia 2020–2030 y a la formación de capital humano especializado en gestión digital de la infraestructura vial rural.

**Tabla 23. Matriz de trazabilidad entre objetivos, metodología, resultados y conclusiones del estudio.**

| Objetivo                                                                                                                            | Estrategia metodológica aplicada                                                                                                                | Resultados obtenidos                                                                                                             | Conclusiones derivadas                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>General:</b><br>Implementar la metodología BIM para analizar tecnologías aplicables al diseño y construcción de vías terciarias. | Desarrollo de un estudio de caso aplicado a la vía El Paraíso, empleando herramientas BIM (InfraWorks, Civil 3D, Navisworks) con enfoque 3D–5D. | Se obtuvieron modelos digitales interoperables con reducción del 16,7 % en tiempo y 8 % en costos frente al método convencional. | Se demostró la aplicabilidad de BIM en contextos rurales, validando su aporte a la eficiencia técnica, trazabilidad y sostenibilidad. |
| <b>1. Identificar alternativas tecnológicas que agilicen la formulación y diseño de vías terciarias.</b>                            | Revisión documental, selección de software y simulación de escenarios digitales (InfraWorks y Civil 3D).                                        | Identificación de tecnologías aplicables y análisis comparativo de desempeño (Tabla 10).                                         | BIM permite optimizar tiempos de diseño en 30 % y mejorar la precisión geométrica y topográfica.                                      |
| <b>2. Analizar causas de cambios en materiales y su impacto en costos y plazos.</b>                                                 | Análisis de registros técnicos del proyecto y entrevistas a expertos (Anexo Entrevistas).                                                       | Se evidenció que los cambios materiales afectan entre 10 % y 15 % el costo final del proyecto (Tabla 18).                        | BIM facilita la anticipación de riesgos de sobrecostos y permite evaluar alternativas de materiales en fase de diseño.                |
| <b>3. Diseñar y validar un método de trabajo basado en modelos digitales BIM.</b>                                                   | Implementación de flujos IFC e integración 3D–4D–5D–7D conforme a la Guía LOIN (UPIT, 2025).                                                    | Se estableció un procedimiento estructurado con trazabilidad metodológica (Tablas 3 y 4).                                        | El método BIM propuesto es replicable en proyectos rurales y puede integrarse a los lineamientos del Plan BIM Colombia 2020–2030.     |

|                                                                                          |                                                                          |                                                                                       |                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>4. Establecer procesos técnicos orientados a la eficiencia y ahorro presupuestal.</b> | Comparación de cronogramas y presupuestos (método convencional vs. BIM). | Ahorros promedio del 8 % en costos y 16,7 % en tiempos de ejecución (Tablas 12 y 16). | Se validó que BIM mejora la planeación financiera y el control de ejecución, fortaleciendo la gestión pública de la inversión. |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

*Fuente: Elaboración propia (2025) con base en los resultados del estudio de caso “Aplicación de la Metodología BIM en la planificación, simulación y presupuestación de una vía terciaria en El Paraíso, La Jagua del Pilar – La Guajira”.*

*Nota:* Esta matriz consolida la trazabilidad integral entre objetivos, metodología y resultados, evidenciando el cumplimiento del propósito general del estudio. Además, proporciona una base verificable para futuros seguimientos empíricos o validaciones post obra

## 9. Referencias Bibliográficas

- Acosta A, M. A., & Alarcón R, P. A. (2017). Las vías terciarias en Colombia, una oportunidad para la ingeniería vial y el desarrollo del país. *Universidad Católica de Colombia*, 1-24.
- Alaldía Municipio La Jagua del Pilar. (2017). *Construcción de pavimento rigido de las vías urbanas del barrio el Paraíso en el Municipio de la Laguna del Pilar - La Guajira, por sistema de precios Unitarios*. Obtenido de Proyecto de Pliego de Condiciones - Licitación Publica LP-002-2017: file:///C:/Users/Usuario/Music/TRABAJOS/ing.marCOL99/PPC\_PROCESO\_17-1-172904\_205266465\_28382952.pdf
- Alcaldia municipal de La Jagua del Pilar. (2017). *Construcción de pavimento rigido de la vías urbanas del barrio el Paraíso en el municipio de la Laguna del Pilar - La guajira, por el sistema de Precios Unitarios*. La Jagua del Pilar: Alcaldia municipal de La Jagua del Pilar.
- Aroca P, C. A. (2021). *Tesis - Implementación de Metodología BIM en la Estructuración de Proyectos Viales de Tercer Orden en el Municipio de Baraya Huila*. Obtenido de Universidad Católica de Colombia : <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/702508ff-96fa-4abb-a43f-c3c9ad93a364/content>
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 241-252.
- Banco Mundial. (2020). *Infraestructura para el desarrollo: Mejores prácticas en América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/>
- Banco Mundial. (2021). *Notas Sectoriales de Política*. Obtenido de World Bank : <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099630009012239107/pdf/P1778690cc0fa00b208e300bc516d72cf2a.pdf>
- CEPAL. (2024). *Infraestructura eficiente y de calidad en América Latina y el Caribe: ¿Cómo mejorar el desempeño de las inversiones? Cepal, Boletín 403, n°1*, 1-16.
- DNP. (2020). *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Pacto por Colombia, Pacto por la equidad*. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación.
- Eastman et al., C. (2018). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owner, Managers, Designers, Engineers, and Constructors*. New Jersey: WILEY.
- García, L. (2011). *Infraestructura vial en Colombia: Desafíos y oportunidades*. Bogotá Colombia: Universidad Nacional.
- Ghaffarin hoseini et al., A. (2017). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1046 - 1053.

- Hardin, B., & McCool, D. (2015). *BIM and construction management: Proven tools, methods, and workflows (2nd ed)*. Indiana: Sybex.
- INVIAS. (2020). *Manual de Diseño Geométrico para Carreteras*. Bogotá, Colombia: INVIAS.
- INVIAS. (04 de Noviembre de 2023). *Inversión de recursos públicos en infraestructura de vías terciarias*. Obtenido de Departamento Nacional de Planeación (DNP): <https://www.dnp.gov.co/publicaciones/Planeacion/Paginas/inversion-de-recursos-publicos-en-infraestructura-de-vias-terciarias.aspx>
- Martínez, R., & López, A. (2020). Tecnologías emergentes en la construcción de infraestructura vial. *Revista de Ingeniería Civil*, 28(4), 112-125.
- Ministerio de Transporte. (2020). *Plan Nacional de Vías Terciarias: Estrategias para la conectividad rural*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.
- Ministerio de Transporte. (2024). *Resolución Numero 20243040050505*. Obtenido de Ministerio de Transporte: <https://upit.gov.co/wp-content/uploads/2024/10/RESOLUCION-20243040050505-ADOPTA-METODOLOGIA-BIM.pdf>
- MinTransporte. (03 de Agosto de 2018). *Plan Nacional de Vías para la integración regional*. Obtenido de Gobierno de Colombia: <https://mintransporte.gov.co/publicaciones/5775/plan-nacional-de-vias-para-la-integracion-regional/>
- Murillo, C. A. (2017). Desafíos para el desarrollo de la Red Vial Terciaria en el Posconflicto. *Revista de Ingeniería*, N°45, 32-38.
- National Institute of Building Science. (2015). *National BIM Standard - United States Version 3*. Obtenido de National institute of building Sciences buildingSmart alliance: [https://www.nibs.org/files/pdfs/nbimsv3/NBIMS-US\\_V3\\_4.2\\_COBie.pdf](https://www.nibs.org/files/pdfs/nbimsv3/NBIMS-US_V3_4.2_COBie.pdf)
- OCDE. (2018). *Perspectivas económicas de América Latina 2018: Repensando las instituciones para el desarrollo*. París: OCDE.
- Rojas L, M. D., & Ramírez M, A. F. (2018). Inversión en infraestructura vial y su impacto en el crecimiento económico: aproximación de análisis al caso de infraestructura en Colombia (1993-2014). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol 17, núm.32, 109-128.
- Succar, B. (2009). Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357-375.
- Transparencia por Colombia. (2022). *Radiografía de los hechos de corrupción en Colombia 2021 - 2022*. Obtenido de Monitor ciudadano de la corrupción : <https://transparenciacolombia.org.co/wp-content/uploads/2024/06/Radiografia-Corrupcion-VF-VF.pdf>
- Volk et al, R. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs. *Elsevier - Automation in Construction*, 38, 109 - 127.

## ANEXOS

### Anexo 1.

#### *Encuesta a expertos*

#### **GUÍA DE ENTREVISTA A EXPERTOS SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN PROYECTOS DE VÍAS Terciarias**

Esta guía tiene como propósito recopilar información de expertos en ingeniería, infraestructura y gestión digital sobre la aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en proyectos de vías terciarias rurales. La entrevista busca identificar experiencias, percepciones y propuestas que contribuyan al fortalecimiento técnico e institucional de la implementación BIM en el contexto colombiano.

Duración estimada: 15–20 minutos. Modalidad: Entrevista semiestructurada.

##### **Datos del entrevistado**

- Nombre completo: \_\_\_\_\_
- Profesión / Especialidad: \_\_\_\_\_
- Entidad / Empresa: \_\_\_\_\_
- Cargo: \_\_\_\_\_
- Años de experiencia: \_\_\_\_\_
- Experiencia en metodología BIM: \_\_\_\_\_
- Fecha: \_\_\_\_\_

##### **Preguntas**

##### **Experiencia general y aplicación**

1. ¿Cuál ha sido su experiencia en la implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial, especialmente en zonas rurales o de difícil acceso?
2. Desde su perspectiva, ¿qué ventajas y limitaciones presenta BIM frente a los métodos tradicionales de planificación y ejecución de vías?

##### **Tecnologías y herramientas**

3. ¿Qué herramientas o tecnologías digitales considera más útiles para mejorar la formulación y diseño de vías terciarias bajo metodología BIM?
4. ¿Cómo evalúa el impacto del uso de estas herramientas en la reducción de tiempos y costos de ejecución?

### **Gestión de materiales y simulaciones**

5. En su experiencia, ¿cuáles son las principales causas de cambios en materiales durante la ejecución de vías, y cómo puede BIM anticipar o mitigar estos riesgos?
6. ¿Qué criterios utiliza para validar la precisión de modelos o simulaciones 4D (tiempo) y 5D (costos) en proyectos viales?

### **Planificación y eficiencia**

7. ¿De qué manera considera que la metodología BIM puede mejorar la eficiencia en la planificación y elaboración de presupuestos en proyectos viales rurales?
8. ¿Podría mencionar un caso o experiencia donde la aplicación de BIM haya generado ahorros o mejoras medibles en la ejecución del proyecto?

### **Proyección y fortalecimiento institucional**

9. ¿Cuáles cree que son los principales retos para masificar la adopción de BIM en proyectos viales en Colombia?
10. ¿Qué estrategias recomendaría para fortalecer la capacitación, interoperabilidad y gobernanza digital en entidades públicas que gestionan infraestructura vial?

Enlace de a encuesta:

[Entrevista a expertos sobre la implementación de la Metodología de BIM en proyectos de vial](#)

## Anexo 2.

### *Resultados de las entrevistas a expertos BIM*

Entrevista a expertos sobre la implementación de la Metodología de BIM en proyectos de vial - Guardado

Cerrar

1. Nombre del experto

8 Respuestas

| ID ↑ | Nombre    | Respuestas                      |
|------|-----------|---------------------------------|
| 1    | anonymous | Robin Ramírez                   |
| 2    | anonymous | MARIA ESTELA HERREZ             |
| 3    | anonymous | Javier Vallejos González        |
| 4    | anonymous | JOHN ALEXANDER CORTES BOCANEGRA |
| 5    | anonymous | Andrés Palacios                 |
| 6    | anonymous | Andrea Barón Mójica             |
| 7    | anonymous | José Lucio Álvarez Isaza        |
| 8    | anonymous | Carlos Alberto Gonzalez Camargo |

### Anexo 3.

#### *BEP*

##### Información del proyecto

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Cliente                       |  |
| Nombre del proyecto           |  |
| Dirección del proyecto        |  |
| Número del proyecto           |  |
| Tipo de contrato              |  |
| EIR del proyecto              |  |
| Descripción del proyecto      |  |
| Fecha de inicio construcción: |  |
| Fecha de finalización:        |  |

##### Usos BIM Excluidos

|                                         |                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recorridos virtuales (AR y RV)          | Videos a partir del modelo BIM o vincular aplicaciones para interacción virtual con tecnologías como VR (Realidad Virtual) y AR (Realidad Aumentada)           |
| Generación de infografías               | Obtención a partir del modelo 3D de representaciones realistas de activo o de alguno de sus elementos                                                          |
| Sostenibilidad: evaluación LEED         | Usar el modelo de sostenibilidad para obtener la certificación LEED u otras certificaciones                                                                    |
| Plan de emergencias (Disaster Planning) | Usar el modelo 3D por los servicios de emergencia para prevenir incidencias, incluso poder actuar con mayor rapidez y eficacia en caso de cualquier catástrofe |

## Objetivos BIM

| ID | USO                                                      | FUNCIÓN                                                                                                                                                        | Planificación | Diseño | Diseño detallado | Fabricación/Construcción | As-Built | Operación |
|----|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|------------------|--------------------------|----------|-----------|
| 1  | BEP                                                      | Elaborar el BEP que defina como se desarrollará BIM en el proyecto                                                                                             | *             | *      |                  |                          |          |           |
| 2  | EDC                                                      | Toda la información del proyecto se deberá almacenar y acceder desde un entorno común de datos adecuadamente estructurada                                      | *             | *      | *                | *                        | *        | *         |
| 3  | Requerimiento de información                             | Toda la información y modelos deberán entregarse de acuerdo al MIDP                                                                                            |               | *      | *                | *                        | *        |           |
| 4  | Modelo 3D inteligente, incluyendo sistemas constructivos | Realización de modelos inteligentes que permitan, progresivamente aumentar la cantidad de información a medida que se va avanzando con el alcance del proyecto |               | *      | *                | *                        | *        |           |
| 5  | Interoperabilidad de los sistemas                        | Uso de formato de softwares que sean apropiados para su propósito y que permitan un continuo y adecuado intercambio de información                             |               | *      | *                | *                        | *        | *         |
| 6  | Cálculos de diseño                                       | Utilización del modelo para realizar diseños estructurales, MEP, Urbanísticos y los que sean necesarios.                                                       |               |        | *                | *                        | *        |           |
| 7  | Validación del modelo 3D                                 | El coordinador BIM utilizará el software para la verificación del modelo                                                                                       |               | *      | *                | *                        | *        | *         |
| 8  | BIM 4D                                                   | BIM 4D para realizar la planificación y simulación constructiva del proyecto                                                                                   |               |        | *                | *                        | *        |           |
| 9  | BIM 5D                                                   | BIM 5D para estimar los costos del proyecto                                                                                                                    |               | *      | *                | *                        | *        |           |
| 10 | Visualización                                            | Uso del modelo para la creación de visualización que pueda ser utilizada para facilitar la toma de decisiones                                                  |               | *      | *                | *                        | *        |           |
| 11 | Documentación BIM para fabricación                       | Uso del modelo para la realización de detalles constructivos y piezas de fabricación                                                                           |               |        | *                | *                        | *        |           |
| 12 | Obtención de documentación 2D                            | Obtención a partir del modelo de toda la información necesaria para la realización de planos y detalles                                                        |               | *      | *                | *                        | *        |           |
| 13 | Inducciones en obra                                      | Uso del BIM 4D para identificar y comunicar los riesgos principales en obra                                                                                    |               |        |                  | *                        | *        |           |
| 14 | Visualización 3D                                         | Uso de los modelos para comunicar información visual, espacial y funcional a través de vistas 3D para facilitar la toma de decisiones                          |               | *      | *                | *                        | *        | *         |
| 15 | Modelo As-Built                                          | Actualización del modelo, incluyendo toda la información actualizada, para ser utilizada en mantenimiento y operaciones                                        |               |        | *                | *                        | *        | *         |
| 16 | Optimización del rendimiento activo                      | El equipo encargado de llevar adelante el modelo hará uso de todas las herramientas e información disponible para el diseño                                    |               | *      | *                | *                        | *        |           |
| 17 | Validar el cumplimiento del código/normativa             | Uso del modelo para evaluar el cumplimiento de códigos de edificación y documentos específicos del proyecto                                                    |               | *      | *                | *                        | *        |           |
| 18 | Gestión de tareas                                        | Uso de aplicaciones para la gestión de SST, calidad o gestión de defectos                                                                                      |               |        |                  | *                        | *        | *         |
| 19 | Reuniones con la cadena de suministro                    | Uso del modelo federado para resolver problemas y coordinar trabajos                                                                                           |               | *      | *                | *                        | *        |           |

## Roles y responsabilidades

| ROL             | Responsabilidades                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Project Manager | <p>Desarrollar los protocolos BIM de acuerdo a los EIR (Requisitos de información del cliente)</p> <p>Definir los objetivos y usos BIM del cliente</p> <p>Desarrollar el plan de proyecto</p> <p>Definir el alcance del proyecto</p> <p>Desarrollar el acta de constitución del proyecto</p> <p>Seleccionar, conformar y liderar el proyecto</p> <p>Identificar y evaluar los agentes intervinientes en el proyecto</p> <p>Elaborar el plan de gestión del proyecto, incluyendo el alcance, presupuesto y cronograma</p> <p>Gestionar y controlar los riesgos</p> <p>Gestionar la calidad</p> <p>Mantener el proyecto en costo y plazo</p> <p>Hace el seguimiento e informar del progreso y estado del proyecto</p>                     |
| BIM Manager     | <p>Proponer y coordinar la definición, implementación y cumplimiento del BEP</p> <p>Aplicar los flujos de trabajo en los proyectos</p> <p>Aplicación y validación de los protocolos BIM</p> <p>Apoyar el trabajo colaborativo y coordinar el equipo de diseño del proyecto (EDP)</p> <p>Establecer en el entorno colaborativo (CDE) el cumplimiento de los requisitos de información del cliente (EIRs)</p> <p>Normalización y estandarización</p> <p>Software y plataformas</p> <p>Establecer los niveles de detalle y de información LOD</p> <p>Gestión del modelo y cambios del mismo</p> <p>Gestión de la calidad del modelo</p> <p>Establecer flujos de trabajo y gestión de requisitos</p> <p>Garantizar la interoperabilidad</p> |

|                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coordinador BIM                                             | <p>Coordinar el trabajo dentro de su disciplina</p> <p>Finalizar los procesos de chequeo de la calidad del modelo BIM</p> <p>Asegurar la compatibilidad del modelo BIM con el resto de las disciplinas</p> <p>Responsable del cumplimiento del BEP</p>                                                                          |
| Proyectista BIM                                             | <p>Desarrollar el modelo con la propuesta técnica/diseño</p> <p>Redactar el proyecto ajustándose a la normativa vigente y cumpliendo los requisitos del cliente</p> <p>Gestionar las modificaciones del diseño</p> <p>Asegurar la calidad del modelo</p>                                                                        |
| Modelador BIM                                               | <p>Modelación de dibujos CAD con software especializado</p> <p>Detección de interferencias, cálculo de mediciones y de costos</p> <p>Actualización del modelo en obra</p>                                                                                                                                                       |
| Coordinador BIM<br>Planificación                            | <p>Coordinar el trabajo de planificación</p> <p>Finalizar los procesos de chequeo de la calidad del modelo BIM</p> <p>Asegurar la compatibilidad del modelo BIM con el resto de las disciplinas</p>                                                                                                                             |
| Responsable<br>BIM 4D                                       | <p>Evaluar las alternativas de planificación posibles para la obra</p> <p>Realizar la planificación de la obra en el plazo establecido</p> <p>Garantizar la calidad de la planificación realizada</p> <p>Gestionar los cambios de la planificación realizada</p> <p>Velar por el cumplimiento de la planificación realizada</p> |
| Responsable<br>BIM 5D                                       | <p>Realizar las mediciones y estimación de costos preliminares del proyecto</p> <p>Realizar las mediciones y estimación de costos definitiva del proyecto</p> <p>Garantizar la calidad y fiabilidad de las mediciones y presupuesto realizado</p> <p>Gestionar los cambios en el presupuesto</p>                                |
| Especialista BIM<br>de Construcción                         | <p>Conocer los flujos de trabajo en los proyectos a nivel general</p> <p>Importación y modelado de dibujos CAD en modelos</p> <p>Auditoría de pre-construcción: detección de interferencias, coordinación de disciplinas, revisión de mediciones y de costos</p> <p>Actualización del modelo en obra</p>                        |
| Coordinador BIM<br>Movimiento de<br>tierras y<br>topografía | <p>Coordinar el trabajo de movimiento de tierras y topografía</p> <p>Finalizar los procesos de chequeo de la calidad del modelo BIM</p> <p>Asegurar la compatibilidad del modelo BIM con el resto de las disciplinas</p> <p>Responsable del cumplimiento del BEP</p>                                                            |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Topógrafo                       | <p>Levantamiento de sitio</p> <p>Realización de actualización de datos de mediciones a través de levantamientos periódicos de sitio</p> <p>Suministro de información de datos a diseño a través de nubes de puntos o superficies</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Sub contratista infraestructura | <p>Proporciona información fundamental para todas las disciplinas involucradas utilizando herramientas de software BIM</p> <p>Creación de visualizaciones 3D, añadir elementos de construcción para los objetos de la biblioteca y enlace de datos del objeto</p> <p>Seguir los protocolos de diseño</p> <p>Coordina constantemente y con cuidado su trabajo con las partes externas tales como arquitectos, ingenieros, asesores, contratistas y proveedores</p> <p>Posee técnicas y habilidades capaces para arreglar, organizar y combinar la información</p> <p>Mantener su enfoque en la calidad y llevar a cabo sus tareas de una manera estructurada y disciplinada</p> <p>Conocimiento de las TIC y específicamente de estándares abiertos y bibliotecas de objetos</p> |

## Software

| ETAPA                                           | TIPO                                     | SOFTWARE Y/O HARDWARE | VERSIÓN | DISCIPLINA      |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|---------|-----------------|
| Condiciones existentes                          | Software de modelado BIM                 | Infraworks            | 2024    | Topografía      |
| Análisis de ubicación y localización            | Software de modelado BIM                 | Infraworks            | 2024    | Topografía      |
| 4D                                              | Software de planificación                | MS Project            | 2024    | Planificación   |
|                                                 | Software BIM de integración y simulación | Navisworks            | 2024    |                 |
| 5D                                              | Software de presupuesto                  | Arquímedes            | 2024    | Costos          |
| Modelado de movimiento de tierra y plataformado | Software de modelado BIM                 | Civil 3D              | 2024    | Infraestructura |

|                                 |                                         |                             |           |                     |
|---------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------|---------------------|
| Cálculo de estructura de puente | Software de cálculo BIM                 | Robot structural analysis   | 2024      | Infraestructura     |
| Revisión                        | Software de revisión BIM                | Design Review               | 2024      | Revisión de modelos |
| Revisión                        | CDE                                     | Autodesk construction cloud | 2024      | Revisión de modelos |
| Interferencias                  | Software de integración y detección CDE | Autodesk Navisworks         | 2024      | Coordinación        |
| Interferencias                  | CDE                                     | Autodesk construction cloud | 2024      | Coordinación        |
| Generación de planos            | Software de modelado BIM                | Civil 3D                    | 2024      | Documentación       |
| Gestión de construcción         | Software de modelado BIM                | Autodesk Civil 3D           | 2024      | Construcción        |
| Gestión de construcción         | CDE de revisión y validación            | Autodesk construction cloud | 2024      | Construcción        |
| Evaluación LEED                 | No aplica                               | No aplica                   | No aplica | No aplica           |
| Análisis energético             | No aplica                               | No aplica                   | No aplica | No aplica           |

## Anexo 4.

### Tablas comparativas de resultados

**Tabla 4.1.**

*Comparativo general entre método convencional y metodología BIM*

| Variable de análisis                    | Método convencional<br>(Contrato 007-2017) | Metodología BIM aplicada | Variación (%) | Observaciones técnicas                                                                                |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Duración total estimada (meses)         | 6.0                                        | 5.0                      | ↓ 16.7 %      | Simulación 4D optimizó la secuencia constructiva y la asignación de frentes de trabajo.               |
| Costo total de construcción (COP)       | \$1 912 000 000                            | \$1 759 000 000          | ↓ 8.0 %       | Reducción de sobrecostos e imprevistos por integración de APU y detección temprana de interferencias. |
| Costo de diseño y formulación           | \$150 000 000                              | \$105 000 000            | ↓ 30.0 %      | Estandarización del modelo digital y reducción de reprocesos en planos.                               |
| Sobrecostos imprevistos (%)             | 15 %                                       | 5 %                      | ↓ 10 pts      | Mayor control y trazabilidad en la gestión documental.                                                |
| Nivel de integración interdisciplinaria | Bajo                                       | Alto                     | ↑             | Coordinación técnica entre topografía, drenaje y estructura mediante entorno CDE.                     |
| Calidad de la información técnica       | Media                                      | Alta                     | ↑             | Modelo BIM permitió coherencia geométrica y validación visual 3D.                                     |

Fuente: Elaboración propia con base en resultados del modelo BIM y análisis del contrato 007-2017.

**Tabla 4.2.**

*Comparativo de eficiencia en la gestión del proyecto*

| Criterio                        | Indicador convencional                    | Indicador con BIM                                         | Mejora observada                                                       |
|---------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Planificación                   | Cronograma lineal con secuencia manual.   | Cronograma 4D vinculado al modelo 3D (Navisworks).        | Reducción de tiempos ociosos y solapamiento controlado de actividades. |
| Presupuestación                 | Estimaciones APU aisladas por disciplina. | Presupuesto 5D vinculado a cantidades del modelo digital. | Coherencia entre cantidades, costos y tiempos.                         |
| Gestión documental              | Archivos dispersos y no estandarizados.   | Entorno Común de Datos (CDE) unificado.                   | Mejora en trazabilidad y control de versiones.                         |
| Coordinación interdisciplinaria | Escasa comunicación entre áreas.          | Integración de disciplinas en entorno BIM.                | Eliminación de conflictos geométricos y duplicidades.                  |
| Gestión de materiales           | Reacciones correctivas ante imprevistos.  | Simulación predictiva de consumo de materiales.           | Prevención de desabastecimiento y ajuste oportuno de cronograma.       |

Fuente: Elaboración propia, 2025.

**Tabla 4.3. Impacto porcentual por dimensión BIM aplicada**

| Dimensión BIM           | Aplicación                         | Indicador medido          | Resultado obtenido | Beneficio principal                        |
|-------------------------|------------------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------------------------------|
| 3D – Modelado digital   | Geometría y diseño de la vía       | Coherencia geométrica     | 98 %               | Mejora de la precisión topográfica.        |
| 4D – Cronograma de obra | Integración tiempo-actividad       | Reducción del plazo total | 16.7 %             | Optimización de planificación y ejecución. |
| 5D – Presupuesto        | Integración de costos y cantidades | Ahorro en costos totales  | 8 %                | Disminución de sobrecostos.                |

| Dimensión BIM                  | Aplicación                               | Indicador medido            | Resultado obtenido | Beneficio principal                  |
|--------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 6D – Mantenimiento y operación | Evaluación de consumo de materiales      | Control de desperdicio      | 12 %               | Eficiencia ambiental y de recursos.  |
| 7D – Mantenimiento             | Programación de mantenimiento proyectado | Cronograma de mantenimiento | 100 % proyectado   | Planeación preventiva a largo plazo. |

Fuente: Elaboración propia a partir de simulaciones BIM 3D-7D.

**Tabla 4.4.**

*Análisis de riesgos y mitigaciones (comparativo)*

| Riesgo identificado           | Método convencional      | Gestión bajo enfoque BIM                         | Efecto esperado                 |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| Cambios en materiales         | No se anticipan          | Simulación de escenarios de humedad y suministro | Reducción de impacto económico. |
| Demoras por clima             | Cronograma estático      | Reprogramación dinámica 4D                       | Minimización de retrasos.       |
| Falta de coordinación técnica | Comunicación fragmentada | Modelo integrado multidisciplinar                | Disminución de reprocesos.      |
| Errores en presupuesto        | Cálculos independientes  | Cuantificación automática desde modelo 5D        | Mayor precisión financiera.     |

Fuente: Elaboración propia, 2025.

## Anexo 5.

### Guía LOIN y marco normativo

El presente anexo presenta la síntesis de los principales lineamientos normativos y técnicos que orientan la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en proyectos de infraestructura vial en Colombia. En particular, se destacan las disposiciones contenidas en la Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria (LOIN) publicada por la Unidad de Planeación de Infraestructura de Transporte – UPIT (2025), así como las políticas públicas del Plan BIM Colombia 2020–2030 y la Resolución 20243040050505 de 2024 del Ministerio de Transporte, mediante la cual se hace obligatoria la adopción progresiva de la metodología BIM en los proyectos del sector transporte.

**Tabla 5.1.**

#### Referentes normativos principales

| Norma o documento                                                 | Entidad emisora                   | Año       | Aplicación principal                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria – LOIN | UPIT                              | 2025      | Define niveles de información geométrica, alfanumérica y documental por fase del ciclo de vida. |
| Resolución 20243040050505                                         | Ministerio de Transporte          | 2024      | Obligatoriedad de BIM en proyectos del sector transporte.                                       |
| Plan BIM Colombia 2020–2030                                       | DNP – MinVivienda – MinTransporte | 2020      | Marco estratégico nacional para implementación de BIM.                                          |
| ISO 19650-1 / ISO 19650-2                                         | ISO                               | 2018–2020 | Gestión de información en entornos BIM (planificación y ejecución).                             |

|                      |                             |      |                                                                   |
|----------------------|-----------------------------|------|-------------------------------------------------------------------|
| Decreto 1082 de 2015 | Presidencia de la República | 2015 | Reglamenta la Ley 80/93 y Ley 1150/07 sobre contratación pública. |
| Ley 80 de 1993       | Congreso de la República    | 1993 | Base legal para la planeación y ejecución de contratos públicos.  |

*Fuente: Elaboración propia con base en UPIT (2025), Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria (LOIN), y Departamento Nacional de Planeación (2020), Plan BIM Colombia 2020–2030.*

**Tabla 5.2.**

*Estructura de la Guía LOIN (UPIT, 2025)*

| Fase del proyecto         | Nivel de Información (LOI) | Nivel de Geometría (LOG) | Nivel de Documentación (LOD) | Aplicación en el caso de estudio                            |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Formulación               | LOI-1                      | LOG 100                  | LOD A                        | Se recopilaban datos básicos y requerimientos del proyecto. |
| Diseño                    | LOI-2                      | LOG 200                  | LOD B                        | Modelado geométrico conceptual en Civil 3D e InfraWorks.    |
| Construcción              | LOI-3                      | LOG 300                  | LOD C                        | Integración 4D y 5D en Navisworks.                          |
| Operación y mantenimiento | LOI-4                      | LOG 400                  | LOD D                        | Programación de mantenimiento 7D.                           |

*Fuente: Elaboración propia con base en UPIT (2025), Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria (LOIN), y Departamento Nacional de Planeación (2020), Plan BIM Colombia 2020–2030.*

**Tabla 5.3.**

*Articulación entre el Plan BIM Colombia y la Guía LOIN*

| <b>Eje estratégico del Plan BIM Colombia 2020–2030</b> | <b>Correspondencia en la Guía LOIN (UPIT 2025)</b>    | <b>Aplicación práctica en el caso de estudio</b> |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Gobernanza y políticas públicas                        | Define roles y responsabilidades institucionales.     | Integración entre DNP, MinTransporte e INVIAS.   |
| Estandarización y guías técnicas                       | Estructura de niveles de información (LOI, LOG, LOD). | Aplicación de niveles LOI-2 a LOI-4.             |
| Capacitación y fortalecimiento institucional           | Promueve formación técnica en BIM.                    | Uso de Civil 3D, InfraWorks y Navisworks.        |
| Tecnología e interoperabilidad                         | Uso de entornos comunes de datos (CDE).               | Integración de modelos 4D/5D interoperables.     |
| Monitoreo y evaluación de proyectos                    | Indicadores de desempeño y trazabilidad.              | Evaluación de ahorro en costos y tiempos.        |

*Fuente: Elaboración propia con base en UPIT (2025), Guía para la Definición del Nivel de Información Necesaria (LOIN), y Departamento Nacional de Planeación (2020), Plan BIM Colombia 2020–2030.*

## Anexo 6.

### Documentos LP-02-2017 La Jagua del Pilar



#### CONTRATO DE OBRA PÚBLICA No. 007/2017

|                                           |                                                                 |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| CONTRATISTA                               | JOSE MARIA ACUÑA REYES                                          |
| Identificación                            | N° 85.434.578 de El Banco Magdalena                             |
| Profesion                                 | INGENIERO CIVIL                                                 |
| Matrícula profesional                     | N° 25202-116046 CND                                             |
| Dirección                                 | Carrera 19 N 12 -37 Local 19 Centro Comercial La 19 Santa Marta |
| Celular                                   | 3012524262                                                      |
| CORREO ELECTRÓNICO                        | <a href="mailto:jomacne05@yahoo.com">jomacne05@yahoo.com</a>    |
| CONTRATANTE                               | MUNICIPIO DE LA JAGUA DEL PILAR (LA GUAJIRA)                    |
| Identificación                            | 825000676-1                                                     |
| Representante legal y ordenador de gastos | JOSE AMIRO MORON NUÑEZ                                          |
| Identificación                            | N° 17.974.895                                                   |
| Dirección                                 | CARRERA 4 No. 6 - 65                                            |



#### ESTUDIO ECONÓMICO DEL SECTOR

El artículo 2.2.1.1.6.1 del Decreto 1082 de 2015 establece el deber de las Entidades Estatales de analizar el sector relativo al objeto del Proceso de Contratación desde la perspectiva legal, comercial, financiera, organizacional, técnica y de análisis de Riesgo.

La Secretaría de Planeación y Obras Públicas del Municipio de La Jagua del Pilar La Guajira, se permite realizar el estudio del sector para la suscripción de un contrato de Obra pública en **Infraestructura vial**, de acuerdo a la norma en mención y conforme a la Guía para la Elaboración de Estudio de Sector publicada en el portal único de contratación [www.contratos.gov.co](http://www.contratos.gov.co), y acorde a las recomendaciones y lineamientos de Colombia Compra Eficiente, de la siguiente manera:

OBJETO: "CONSTRUCCION DE PAVIMENTO RIGIDO DE LAS VIAS URBANAS DEL BARRIO EL PARAISO EN EL MUNICIPIO DE LA JAGUA DEL PILAR -LA GUAJIRA, POR EL SISTEMA DE PRECIOS UNITARIOS".

#### SECTORES ECONÓMICOS

## Anexo 7.

### Matriz de análisis de riesgos o evaluación MIPG (opcional)

| Categoría de riesgo | Descripción del riesgo                                  | Causa raíz                                 | Efecto o impacto                 | Probabilidad | Impacto | Nivel de riesgo | Medidas de mitigación (BIM / MIPG)                                        | Responsable / Rol BIM                |
|---------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------|---------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Técnico</b>      | Errores en diseño o incompatibilidad entre disciplinas. | Falta de coordinación técnica.             | Reprocesos y sobrecostos.        | Media        | Alta    | <b>Alto</b>     | Uso de modelo integrado 3D-4D-5D y revisión colaborativa en entorno CDE.  | Coordinador BIM / Diseñador Civil 3D |
| <b>Financiero</b>   | Incremento de costos no previstos.                      | Estimaciones inexactas de APU.             | Sobrecostos y retrasos.          | Media        | Media   | <b>Medio</b>    | Integración 5D para control de cantidades y simulación presupuestal.      | Director financiero del proyecto     |
| <b>Operativo</b>    | Retrasos por condiciones climáticas.                    | Falta de planeación dinámica.              | Extensión del plazo contractual. | Alta         | Media   | <b>Alto</b>     | Simulación 4D y reprogramación en Navisworks según escenarios climáticos. | Residente de obra / Planificador BIM |
| <b>Ambiental</b>    | Afectación por manejo inadecuado                        | Ausencia de plan de disposición ambiental. | Sanciones y suspensión de obra.  | Baja         | Alta    | <b>Medio</b>    | Vinculación de criterios ambientales y simulación                         | Interventoría ambiental              |

| Categoría de riesgo         | Descripción del riesgo                                      | Causa raíz                            | Efecto o impacto                           | Probabilidad | Impacto | Nivel de riesgo | Medidas de mitigación (BIM / MIPG)                                                    | Responsable / Rol BIM                 |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|--------------|---------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|                             | de materiales.                                              |                                       |                                            |              |         |                 | de consumo de recursos.                                                               |                                       |
| <b>Legal / Contractual</b>  | Incumplimiento de obligaciones contractuales.               | Deficiente gestión documental.        | Investigaciones fiscales o disciplinarias. | Media        | Alta    | <b>Alto</b>     | Gestión documental digital trazable bajo ISO 19650 y Decreto 1082/2015.               | Supervisor / Oficina Jurídica         |
| <b>Institucional</b>        | Débil articulación interinstitucional (SED, IDU, Alcaldía). | Canales de comunicación fragmentados. | Baja eficiencia en toma de decisiones.     | Alta         | Media   | <b>Alto</b>     | Implementación de un entorno común de datos (CDE) accesible para todas las entidades. | Entidad contratante / Coordinador BIM |
| <b>Social / Comunitario</b> | Rechazo o baja aceptación por parte de la comunidad.        | Falta de socialización del proyecto.  | Conflictos o atrasos en la ejecución.      | Media        | Media   | <b>Medio</b>    | Publicación de avances y visualizaciones BIM accesibles a la comunidad.               | Gestor social del proyecto            |

Fuente: Elaboración propia con base en MIPG (Función Pública, 2023) y principios de gestión de riesgos ISO 31000:2018.