

BENEFICIOS DE LA ADOPCIÓN BIM EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Autores:

Carlos Andrés Bermúdez Sarmiento
Código: 507192
cabermudez92@ucatolica.edu.co
Estudiante de Ingeniería Civil
Universidad Católica de Colombia

Jhonatan Quintero García
Código: 507178
jqintero78@ucatolica.edu.co
Estudiante de Ingeniería Civil
Universidad Católica de Colombia

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil
Modalidad: Trabajo de Investigación

Asesor:

Ph. D. Omar Giovanni Sánchez Rivera
Profesor de Planta de Ingeniería Civil
Universidad Católica de Colombia

Universidad Católica de Colombia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería civil
Bogotá D.C.
2021



Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the license. [Advertencia.](#)

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material.

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia.

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.



CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Contenido

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Antecedentes | 7 |
| 2. | Planteamiento y justificación del problema | 9 |
| 3. | Marco teórico | 11 |
| 3.1. | BIM (Building Information Modeling) | 11 |
| 3.2. | Beneficios asociados a BIM | 12 |
| 3.3. | BIM en proyectos de infraestructura vial | 14 |
| 4. | Estado del arte | 17 |
| 5. | Objetivos | 18 |
| 5.1. | Pregunta de investigación | 18 |
| 5.2. | Objetivo general | 18 |
| 5.3. | Objetivos específicos | 18 |
| 6. | Alcance y limitaciones | 19 |
| 6.1. | Bases de datos | 19 |
| 6.2. | Idioma | 19 |
| 6.3. | Software para la gestión de los documentos: | 19 |
| 7. | Metodología | 20 |
| 7.1. | Formulación de preguntas: | 20 |
| 7.2. | Búsqueda y recuperación literatura científica relacionada con la temática: | 20 |
| 7.3. | Selección documental: | 20 |
| 7.4. | Recolección de evidencias, análisis y síntesis: | 20 |
| 7.5. | Características de la muestra | 22 |
| 8. | Reporte de los resultados | 23 |
| 8.1. | Casos de estudio analizados | 23 |
| 8.2. | Casos de estudio por fecha de publicación | 28 |
| 8.3. | Casos por país en los que se llevó a cabo el estudio | 29 |
| 8.4. | Reporte por continente de los casos de estudio analizados | 30 |
| 8.5. | Datos por la fase de implementación del BIM | 31 |
| 8.6. | Beneficios encontrados | 32 |
| 8.7. | Descripción de los beneficios encontrados | 34 |
| 8.7.1. | B1 - Mejoramiento del diseño vial | 34 |
| 8.7.2. | B2 - Reducción de errores de diseño | 34 |

| | | |
|---------|--|----|
| 8.7.3. | B3 - Obtención de información precisa, integrada y detallada | 34 |
| 8.7.4. | B4 - Mejor visualización de los datos del proyecto y del entorno | 35 |
| 8.7.5. | B5 - Mejor coordinación y colaboración entre las partes interesadas | 35 |
| 8.7.6. | B6 - Mejor planificación del proyecto | 35 |
| 8.7.7. | B7 - Mejora del análisis y la selección de alternativas | 35 |
| 8.7.8. | B8 - Mejor comunicación entre las partes interesadas | 36 |
| 8.7.9. | B9 - Mejoras en los procesos de toma de decisiones | 36 |
| 8.7.10. | B10 - Reducción del tiempo del proyecto | 36 |
| 8.7.11. | B11 - Mejora de la seguridad vial | 36 |
| 8.7.12. | B12 - Mejora del control y la supervisión de la construcción | 37 |
| 8.7.13. | B13 - Reducción de los costos del proyecto | 37 |
| 8.7.14. | B14 - Aumento de la productividad durante el ciclo de vida del proyecto | 37 |
| 8.7.15. | B15 - Apoyo a la reducción de residuos | 38 |
| 8.7.16. | B16 - Mejor comprensión del proyecto | 38 |
| 8.7.17. | B17 - Mejora de la gestión y prevención de riesgos | 38 |
| 8.7.18. | B18 - Mejora de la gestión de la adquisición de terrenos | 39 |
| 8.7.19. | B19 - Reducción de las reclamaciones y disputas entre las partes interesadas | 39 |
| 8.7.20. | B20 - Mejora de los planes de control del tráfico | 39 |
| 9. | Conclusiones | 41 |
| 10. | Recomendaciones | 42 |
| 11. | Bibliografía | 44 |
| 12. | Anexos | 48 |
| 12.1. | Cronograma | 48 |
| 12.2. | Presupuesto | 49 |

Lista de figuras

| | | |
|-----------------|---|----|
| Figura 1 | Casos reportados por año sobre BIM en infraestructuras viales | 30 |
| Figura 2 | Top 5 de países con mayor número de casos publicados | 32 |
| Figura 3 | Casos reportados por continente | 33 |
| Figura 4 | Casos por fase de implementación del BIM dentro del proyecto | 34 |

Lista de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Etapas de la Revisión Sistemática | 21 |
| Tabla 2. Formato Matriz para la recolección de datos..... | 22 |
| Tabla 3. Sumario de información analizada | 22 |
| Tabla 4. Datos generales de documentos analizados | 23 |
| Tabla 5. Datos por fecha de publicación del proyecto..... | 28 |
| Tabla 6. Datos por lugar de ejecución del proyecto | 29 |
| Tabla 7. Datos por continente de ejecución de los proyectos | 30 |
| Tabla 8. Datos por fase en la cual se implementa el modelo BIM | 32 |
| Tabla 9. Principales beneficios encontrados..... | 33 |
| Tabla 10. Cronograma de ejecución. | 48 |
| Tabla 11. Presupuesto del proyecto de investigación. | 49 |

1. Antecedentes

Desde hace varias décadas se ha venido hablando del inconveniente que representa el tema de la infraestructura para el desarrollo de la economía del país. Hace cerca de 20 años Jaramillo en su estudio sobre el estado de la infraestructura en Colombia manifestaba que “el principal obstáculo de Colombia para su desarrollo económico ha sido la deficiente infraestructura y muy especialmente su red de carreteras” [1]. Si bien es cierto en Latinoamérica en general este tema está clasificado como un asunto de prioridad, los avances no representan las acciones que se deben realizar para suplir estos requerimientos. En el Reporte Global de Competitividad 2019-2020, del Foro Económico Mundial, se hace referencia a que Colombia está clasificada en el puesto 81, entre 141 países evaluados [2]. Si se analiza al tema específico de la infraestructura vial, Colombia está clasificada como una de las más pobres en este tema con una calificación de 35,4 muy por debajo de la media que para Latinoamérica está en 63 [2]. Tal como ha ocurrido en otras oportunidades, el gobierno actual ha sugerido en sus planes dar prioridad a esta problemática y se espera que se estructure acorde con los estándares que permita minimizar los riesgos identificados [3].

Existen diferentes variables en los temas relacionados con el retraso que tiene el país en los aspectos concernientes a la infraestructura vial. Variables que incluyen aspectos técnicos, sociales, políticos, procedimentales, de infraestructura, planeación, políticas públicas, ambientales, entre otros. Todos ellos requieren que exista para la eficacia de la ejecución de proyectos, estudios interdisciplinarios planificados y bajo una metodología que se desarrolle con base en la mejor evidencia y en casos de éxito derivados del aprendizaje colectivo y la puesta en marcha de estándares estudiados y aprobados a nivel mundial con las características propias de la región y del país.

El sector académico, desde los diferentes programas, intereses y áreas de investigación, ha desarrollado diversas teorías e hipótesis que buscan dar solución a esta problemática. Tal como lo manifiestan Martínez-Toro y otros, el desarrollo de infraestructuras es un tema que ha tenido un interés académico en las últimas décadas; interés centrado en la evaluación de alternativas para hacer posible la planificación y programación de actividades inherentes a su puesta en marcha [4].

Valencia-Rivera, por ejemplo, en su propuesta sobre aplicar una metodología para reducir o eliminar las actividades que no agregan valor a los proyectos de infraestructura vial, hace mención a cómo diferentes variables generan retraso, reproceso y pérdidas significativas en la ejecución de los proyectos [5]. Dentro de las variables mencionadas están lo social, lo estructural y la producción. Otra perspectiva pone de manifiesto que para el estudio de los temas relacionados con la planeación y ejecución de proyectos es necesario analizar la situación desde diferentes posturas como por ejemplo la ingeniería, el derecho y la economía [6].

Otros aspectos relacionados con los proyectos de infraestructura vial tales como los sobrecostos, la corrupción, el impacto en el desarrollo económico local, regional y del país, son entre otros los temas que desde la academia también se han venido planteando para dar el grano de arena que se requiere en la construcción de un modelo de proyecto común que permita enfocar el desarrollo del país con miras a minimizar el impacto que este retraso genera en el desarrollo económico del país [7]. Desde el área de la ingeniería civil se ha puesto un importante énfasis en proponer diferentes metodologías que permitan tratar la problemática no sólo desde lo técnico, sino desde lo logístico, lo económico, lo jurídico y lo procedimental [8] [9].

El análisis de la literatura ha permitido profundizar, no sólo en los problemas que existen en la ejecución de los proyectos, sino en las principales causas que los derivan. En este sentido se han encontrado aspectos como el sobrecosto, que es analizado claramente por Herrera y otros en su estudio de los factores que generan dichos sobrecostos [10]. El aspecto del sobrecosto es una constante en los estudios relacionados con el tema, y no sólo se da entre los países en desarrollo sino en la mayoría de los casos, como lo exponen Cantarelli quien realizó este fenómeno en Holanda [11]; o Lee quien realizó el estudio en Korea [12].

De igual forma, el análisis de la literatura ha permitido que se encuentren casuales como los expuestos por Rivera y otros quienes han analizado las razones de los retrasos de la ejecución de proyectos de infraestructura vial en 25 países en vía de desarrollo, entre los cuales está Colombia [13]. Estos estudios permiten la puesta en escena de una necesidad de trabajar para una propuesta que permita ampliar el horizonte sobre cómo desde la ingeniería civil se enfoca una solución que aporte a la disminución de todos o por lo menos algunos de estos riesgos.

2. Planteamiento y justificación del problema

En cualquier etapa de la vida de una nación la infraestructura vial se convierte en un aspecto fundamental para su desarrollo económico y permea todas las actividades de la sociedad sobre la cual se desarrollan proyectos en pro de mejorar este aspecto. La pobreza local como colectiva de un país puede estar ampliamente influenciada por su infraestructura vial. Tal como lo manifiesta Rivera [13], los países en desarrollo de todo el mundo están dando prioridad a la mejora y la vinculación de infraestructura vial. Los proyectos con este enfoque se son prioritarios en los presupuestos nacionales, dado que una buena red de carreteras contribuye al desarrollo de la economía y al crecimiento nacional [13]. Dentro de esta tendencia mundial, reflejada en la literatura, dar una mayor importancia al diseño de proyectos de infraestructura vial, obedece a como lo manifiestan Berg y otros a que “Las carreteras son las arterias por las que late la economía. Al vincular a los productores con los mercados, los trabajadores con los trabajos, los estudiantes con la escuela y los enfermos con los hospitales, las carreteras son vitales para cualquier programa de desarrollo” [14].

Pese a la creciente literatura en torno a la necesidad de implementar estrategias que permitan el éxito y mejora continua de los proyectos de infraestructura vial, así como el reconocimiento que desde los teóricos tanto desde el punto de vista social, político, económico y técnico, hay mayor importancia a reconocer las causas y no a soluciones que desde la teoría y la práctica se puedan implementar para atacar el problema y contribuir a su solución. Este fenómeno ha generado que se expongan diferentes estrategias enmarcadas en lo metodológico con base en la teoría y no con fundamentos en la aplicabilidad.

Las falencias encontradas en los proyectos de infraestructura vial y revisadas en la literatura, han permitido entender que se hace necesario la implementación de una metodología con base en desarrollos tecnológicos que aporten a la construcción de un modelo que permita intervenir y hacer seguimiento a todas las fases del proyecto. El desarrollo tecnológico, junto con las herramientas que se derivan de su aplicación, son fundamentales en la consecución de objetivos que contribuyan a la mejora de la vida del hombre y en los procesos de construcción de proyectos de infraestructura vial ha habido un gran avance que puede disminuir los riesgos que se derivan en las diferentes etapas de dichos proyectos. En este escenario y de acuerdo con lo expuesto en la literatura, se considera que la metodología BIM (*Building Information Modeling*) puede contribuir a la solución de las falencias porque el proyecto bajo este modelo se estructura de manera coherente y permite sistemáticamente el seguimiento permanente a cada una de sus fases [15].

Debido a que el BIM se ha enfocado más a proyectos de construcción de edificaciones y que ha demostrado ser un modelo con resultados bastante positivos en su aplicabilidad [16]. el presente estudio se enfoca en los beneficios que se pueden llegar a tener al adoptar el modelo a proyectos de infraestructura vial en sus diferentes fases de acuerdo con lo expuesto en la literatura [17].

Pese a que se ha demostrado su eficacia, las investigaciones relacionadas con la aplicabilidad del modelo BIM en el sector de la infraestructura vial, son demasiado escasas. Los beneficios relacionados con su aplicación no han sido del todo abordados. Por ello, el enfoque de la presente investigación será la identificación de estudios que permitan mostrar los beneficios de la adopción de BIM en los proyectos de infraestructura vial para la cual se llevará a cabo una revisión sistemática compuesta por seis etapas principales.

3. Marco teórico

3.1. BIM (Building Information Modeling)

De acuerdo con Lesniewski [18] BIM es una metodología o proceso de creación de un modelo digital paramétrico impulsado por una base de datos de un edificio o entorno construido. Dentro de la práctica del modelado de información de edificios, especialmente en proyectos grandes y complejos, se requiere la colaboración de varios miembros del equipo durante todas las fases de diseño y construcción para agregar, eliminar, modificar, mejorar o actualizar el modelo BIM en beneficio de la totalidad. proyecto y equipo (p. 551).

Por su parte la interpretación de BIM realizada en el manual de introducción a la metodología [19] es:

“Conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al proyecto que se pretende diseñar, construir o usar” (p.3).

La concepción de Chong y otros [17], ahonda aún más y menciona que el BIM va más allá de la producción de modelos 3D en general en su filosofía y aplicaciones, y no se limita totalmente a la visualización de una instalación. Abarca la creación y el uso adecuados de información digitalizada relacionada con el tiempo y los costes a lo largo de todo el proyecto, así como en el mantenimiento del ciclo de vida de sus productos (p. 05016021-1).

El BIM “permite definir y llevar a cabo los proyectos de construcción desde una perspectiva global e integrada, teniendo en todo momento presente la totalidad del proyecto de construcción”. [20]

Gimenez [20] también menciona que:

“Para los profesionales involucrados en un proyecto de construcción, BIM permite el uso de un modelo virtual de datos gestionados por un equipo de proyectistas compuesto por arquitectos, ingenieros, paisajistas, aparejadores, diseñadores, instaladores (y en general todos los técnicos de la construcción) y promotores (públicos o privados), inversores, constructoras, etc. Todos los profesionales involucrados en el proyecto aportan datos e información a un modelo único compartido. De esta forma, se reduce el riesgo de pérdidas de información que puede ocurrir cuando un nuevo profesional o grupo interactúa con el resto del equipo y modifica los datos del proyecto”.

La Eubim Traskgroup, institución de la Unión Europea encargada de estandarizar el uso del modelo BIM entre los proyectos públicos, en su *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*, define el BIM como:

“Una forma digital de construcción y operaciones de activos. Reúne tecnología, mejoras de procesos e información digital para mejorar radicalmente los resultados de proyectos y clientes y las operaciones de activos. BIM es un facilitador estratégico para mejorar la toma de decisiones tanto para edificios como para activos de infraestructura pública en todo el ciclo de vida” [16].

De acuerdo con las anteriores definiciones y concepciones del BIM, se puede concluir que es una metodología que se aplica a los proyectos de construcción en cualquiera de sus manifestaciones y que se apoya en la tecnología para llevar a cabo fases estandarizadas en la ejecución de dichos proyectos. La metodología BIM permite que la información derivada de las diferentes etapas se pueda analizar y gestionar en una forma efectiva por cada uno de los integrantes del proyecto.

3.2. Beneficios asociados a BIM

Tal como se manifiesta en el manual de la EUBIM, el BIM está siendo adoptado por varios sectores de la construcción porque permite adoptar una herramienta estratégica para conseguir ahorros de costes, productividad y eficiencia en las operaciones, mejorar la calidad de las infraestructuras y mejorar el rendimiento medioambiental [16].

En el manual del EUBIM Taskgroup se mencionan otros beneficios del BIM y entre los más destacados están:

- “Al usar un programa con tecnología BIM se puede reducir considerablemente el tiempo y coste de un proyecto siendo así mucho más eficiente en el manejo de los recursos durante el ciclo de vida del proyecto
- Los materiales, gestión de la obra y su mantenimiento pueden ser mucho más económicos al usar un sistema de estas características, herramientas como el análisis energético permitirán saber el consumo de energía del proyecto.
- La elaboración de un proyecto mediante sistema BIM puede anticipar la detección de errores” (p.6-7).

Por su parte Almeida [21] menciona los siguientes beneficios de aplicar la metodología BIM:

- Transparencia en los niveles de desarrollo del proyecto.
- Detección y compatibilización de interferencias entre diferentes especialidades.
- Generación automática de la documentación del proyecto.
- Optimización del proceso constructivo.

- Control y compatibilización de cambios en el proyecto

En su trabajo sobre la implementación de herramientas BIM en una ingeniería, Cappuyns [22] muestra los siguientes beneficios:

- Análisis de las distintas situaciones para evaluar la viabilidad, el diseño y el concepto.
- Desempeño y calidad del producto final.
- Disminución de costes y ahorro en el tiempo de desarrollo de proyectos
- Visualización del diseño en cualquier etapa del proceso.
- Correcciones automáticas gracias a la parametrización.
- Menor tiempo en elaboración de documentos y traspaso de la información.
- Entrega 2D exactos y consistentes por obtención directa del modelo 3D.
- Trabajo multidisciplinario colaborativo y simultáneo.
- Mejor coordinación en la etapa de diseño.
- Mejor comunicación entre diferentes disciplinas.
- Estimación de costos.
- Eficiencia energética y sustentabilidad (análisis)
- Planificación de la construcción (BIM 4D)
- Detección de interferencias.
- Rápida reacción a problemas en terreno y diseño. -Modelo útil para fabricación de elementos.

En la investigación realizada por Díaz [23], en la cual se dan a conocer los beneficios que se encontraron en el SmartMarket Report 2017 de Dodge Data & Analytics, que mostró los resultados de una encuesta en línea a 368 profesionales que trabajan en empresas consultoras, empresas contratistas y representantes de entidades públicas de Francia, Alemania, Reino Unido y EE.UU. entre octubre del año 2016 y febrero del año 2017, presentan entre otros los siguientes beneficios:

- Reducción de conflictos, problemas de coordinación de campo y cambios durante la construcción.
- Mejor comunicación y comprensión multipartidista desde la visualización 3D.
- Reducción de errores y omisiones en documentos de construcción.
- Costo de construcción reducido
- Retrabajo reducido
- Mayor compromiso del cliente y / o la comunidad
- Reducción de la duración total del proyecto

Por su parte, Yaser et al. [15] mencionan variados beneficios entre los que están:

- La utilización de BIM durante todo el ciclo de vida del proyecto respalda la construcción simultánea
- También puede facilitar las etapas de desarrollo del ciclo de vida de un proyecto desde la fase conceptual inicial, pasando por la fase de diseño, construcción y operación hasta la demolición.
- La mejora de la productividad y la eficiencia.
- El BIM tiene la capacidad de integrar tiempo y costo, lo que respalda la actualización en tiempo real y evalúa el proceso de seguimiento y monitoreo eficiente a lo largo de las fases del proyecto.
- El modelo BIM también se puede aplicar en la evaluación y análisis de la llamada ecología verde.
- La capacidad de aplicar BIM en diferentes procesos de gestión y análisis hace posible el logro de un alto rendimiento en la industria de la construcción.

3.3. BIM en proyectos de infraestructura vial

Este panorama teórico muestra distintos aspectos a destacar dentro de los beneficios que arroja el implementar la metodología BIM en proyectos generales de la construcción. Con relación a los beneficios específicos en el área de infraestructura vial, vale la pena destacar lo planteado por Yaser y otros [15] con relación a las etapas de preconstrucción, construcción y postconstrucción.

El BIM en la preconstrucción: La fase de preconstrucción comprende las áreas de planificación, diseño, preparación de la obra y gestión de la cadena de suministro en el diseño y la subcontratación de la construcción. Las actividades relacionadas con BIM durante esta etapa son las siguientes:

- Replanteo del terreno: El constructor y el consultor topográfico llevarán a cabo normalmente un reconocimiento sobre el terreno y un estudio de dilapidación para conocer el entorno existente. Los modelos BIM generados sobre la base de los planos existentes del emplazamiento y los dibujos construidos, si están disponibles, pueden ayudar a proporcionar a estas partes la información y las coordenadas precisas necesarias para el replanteo del emplazamiento.
- Diseño y logística del emplazamiento: Los entornos virtuales creados en los modelos BIM representarían una buena plataforma de simulación y planificación. Con el BIM y los algoritmos inteligentes, la disposición de una obra puede organizarse y planificarse automáticamente mediante una cuidadosa participación del constructor en las primeras fases antes de la construcción.
- Programación de proyectos: Mediante el uso de la simulación en cuatro dimensiones (4D) a partir de modelos BIM, los usuarios pueden visualizar la progresión de la construcción a una escala de tiempo predeterminada. Esto mejorará los procesos de dotación de recursos, seguimiento y actualización del cronograma;

- Gestión de materiales: El seguimiento de los materiales puede gestionarse con la ayuda de los modelos BIM, en los que pueden integrarse tecnologías de apoyo como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), la Identificación por Radiofrecuencia (RFID) o el Sistema de Información Geográfica (GIS) para que el suministro y la gestión de los materiales sean más eficaces y eficientes. Esto es importante, sobre todo en la gestión de la cadena de suministro del cons.
- Análisis de ingeniería: BIM es capaz de proporcionar una plataforma para simular las cargas necesarias en la construcción para garantizar la seguridad estructural y la capacidad de servicio. Ayudará a producir un diseño ajustado y a reducir los residuos innecesarios.

El BIM en la etapa de construcción: Las actividades relacionadas con BIM durante esta etapa son las siguientes:

- Inspección de la construcción: Toda la información necesaria para el diseño y la inspección de la mano de obra de la construcción y las especificaciones de los materiales que se van a utilizar se pueden encontrar en los modelos BIM. La información de los modelos BIM puede ser recuperada por los usuarios cuando la necesiten y de forma precisa, basándose en sus aportaciones tanto antes como durante la construcción;
- Gestión de recursos humanos y seguimiento del progreso: Los modelos BIM pueden integrarse con la informática móvil para la gestión de recursos y el seguimiento del progreso. Toda la información relativa al número de recursos humanos necesarios puede combinarse con la simulación 4D para ayudar a los responsables de la toma de decisiones a los responsables de la toma de decisiones a seguir el progreso de los oficios y materiales subcontratados en la obra;
- Garantía de calidad: El BIM proporciona información sobre la calidad del diseño y la construcción a partir de sus modelos. La informática móvil puede integrarse con BIM para proporcionar medios prácticos para que los trabajadores de campo de varios oficios subcontratados se ocupen de los problemas de calidad de la mano de obra de la construcción en tiempo real que se controlan con la supervisión in situ, el seguimiento del trabajo y la comprobación del calendario del proyecto. Además, las listas de comprobación de la calidad de cada tarea pueden capturarse y gestionarse dentro de los modelos BIM;
- Seguridad en la obra: BIM es capaz de demostrar los posibles riesgos de seguridad bajo una plataforma de construcción virtual. También puede simular un entorno de trabajo relativamente más seguro en la obra para las prácticas de trabajo de los oficios subcontratados;
- Control de costes: El BIM de quinta dimensión (5D) añade al modelo una dimensión adicional, que es la información relacionada con los costes. Ayuda a los usuarios del proyecto BIM a seguir y prever la información sobre el flujo de caja en cualquier fase del proyecto. Si se produce algún cambio en el modelo, también se actualizará la información del flujo de caja del proyecto en consecuencia; y

- Revisiones de construcción: BIM facilita el proceso de construcción y proporciona una buena plataforma de visualización para la formación del personal de las organizaciones interesadas.

El BIM en la etapa de postconstrucción:

- Mantenimiento planificado: BIM proporciona un sistema centralizado que podría mejorar fácilmente la visualización y la recuperación de información para un mantenimiento de calidad. El mantenimiento planificado mediante BIM mejorará el rendimiento la construcción y reducirá los costes del ciclo de vida.
- Análisis del sistema: Esta actividad examina el rendimiento real del sistema en comparación con el del modelo de diseño original. Esto permite a los usuarios de BIM, así como a sus operadores y gestores de mantenimiento, crear una simulación precisa del proyecto dentro de las limitaciones de las normas y especificaciones requeridas;
- Gestión de activos: Se trata de aumentar el valor del proyecto y maximizar su ciclo de vida mediante una gestión eficaz de las instalaciones. La gestión de activos también podría utilizar los datos contenidos en los modelos BIM para determinar las posibles implicaciones en cuanto a costes de cambiar o actualizar los activos modelados en 3D, 4D, 5D y 6D;
- Plan de emergencia: Durante los eventos de emergencia, como en los accidentes, la información crítica puede ser evaluada y valorada para las acciones posteriores. BIM podría mejorar la eficacia de la respuesta y minimizar los riesgos innecesarios. Su uso continuado ayudaría a tomar decisiones oportunas e informadas durante una emergencia.
- Gestión del transporte: BIM también es capaz de gestionar grandes volúmenes de tráfico y sofisticadas redes de transporte. Puede proporcionar una previsión proactiva medio para ayudar a la planificación y el seguimiento del flujo de tráfico.

4. Estado del arte

La literatura científica relacionada con el modelo BIM estuvo durante muchos años asociada a proyectos de construcción de edificaciones, no obstante, luego de las primeras publicaciones relacionadas con el uso de BIM en proyectos de infraestructura vial en el año 2012, se ha venido ampliando la investigación y el estudio de casos de éxito, tanto a nivel de diseño como de implementación, se ha reflejado en las publicaciones de tipo académico e investigativo. Este fenómeno, acorde con los expertos, responde principalmente a hechos como: junto con la implementación del modelo, se han generado nuevos desarrollos tecnológicos que responden a las necesidades de cada especialista involucrado; la estandarización del modelo permitiendo el uso de un lenguaje universal para los proyectos de infraestructura vial, lo cual lo hace adaptable en cualquier contexto cultural; por último, por el hecho que en algunos países se ha vuelto mandato gubernamental trabajar con este modelo para los proyectos de construcción, incluidos los proyectos de infraestructura vial.

La literatura existente, tal como se mencionó en el párrafo anterior, el uso de BIM en proyectos de infraestructura vial es relativamente reciente. Existen ya algunos acercamientos importantes que dan cuenta de la importancia del uso del BIM en esta área, como es el caso de Costin y otros [24] quienes han realizado una importante revisión de la literatura referente al tema con recopilación y análisis de contenido de 189 documentos. Es importante destacar que a nivel Latinoamérica se han realizado desde la academia algunos estudios de caso de la implementación de BIM en este tipo de proyectos y se ha empezado a discutir la importancia que genera para cada una de las fases. Díaz, [23], Acuña [25], Limas [26], Castañeda [27] y otros casos demuestran el auge y la importancia fundamentada que a nivel de la ingeniería civil se ha venido explorando la aplicabilidad de BIM.

Los documentos existentes relacionados con la adopción del modelo BIM en proyectos de infraestructura vial han tenido un crecimiento significativo a medida que los estudios de casos se dan a conocer. En este sentido, se ha pasado de 10 o 12 documentos en el año 2013 a cerca de 60 documentos en el año 2021 y en ascenso significativo. Este fenómeno enriquece el análisis de la presente investigación porque genera un grupo documental que vale la pena disgregar para conocer los diferentes puntos sobre los cuales vale la pena enfocar el trabajo de revisión.

Se hace énfasis en el trabajo desarrollado por Sánchez y otros [27] dado que el mismo contiene los resultados de una revisión sistemática de la literatura que cubre documentos publicados desde el año 2012 al 2020 y que expresan los principales beneficios del uso de BIM en proyectos viales. Los 21 casos encontrados en dicho documento, asociados a los demás documentos analizados en el transcurso de la presente investigación, dan cuenta de una creciente exploración relacionada con la implementación del modelo BIM. El trabajo de Sánchez [27] precisamente ha sido base fundamental para el desarrollo de la presente investigación y ha permitido generar un análisis exhaustivo de 31 casos de implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial.

5. Objetivos

5.1. Pregunta de investigación

¿Cuáles son los principales beneficios de la adopción BIM en proyectos de infraestructura vial?

5.2. Objetivo general

Identificar los beneficios de la adopción BIM en proyectos de infraestructura vial, mediante una revisión sistemática de literatura.

5.3. Objetivos específicos

- Identificar proyectos de infraestructura vial con implementación BIM, reportados en documentos científicos especializados.
- Identificar los beneficios BIM observados en los proyectos de infraestructura vial identificados con implementación BIM.
- Realizar un análisis de estadística descriptiva de los beneficios BIM identificados en los proyectos viales con implementación BIM.

6. Alcance y limitaciones

6.1. Bases de datos

La revisión sistemática de la literatura se llevará a cabo en bases de datos especializadas a las cuales se tiene acceso suscrito a través de la Universidad Católica de Colombia o las que se tenga en forma de acceso abierto. Entre ellas están:

- ASCE – American Society of Civil Engineering
- Springer
- Taylor & Francis
- Elsevier
- Emerald Insight
- Scopus
- Google Scholar

6.2. Idioma

Los documentos a ser analizados dentro de la revisión sistemática serán los publicados en idioma español e inglés.

6.3. Software para la gestión de los documentos:

Los softwares para la gestión de los documentos serán:

- Microsoft Excel
- Xmind
- Mendeley

7. Metodología

La investigación se llevó a cabo bajo la metodología de revisión sistemática de la literatura en la cual se analizaron los principales estudios y casos en las que se ha aplicado el Modelo BIM en la ejecución de proyectos de infraestructura vial para, de acuerdo con el análisis exhaustivo de los resultados, dar a conocer los principales beneficios que este modelo trae. En este sentido, para el análisis sistemático se ejecutaron cinco etapas con base en la metodología expuesta por Briner, R. B., & Denyer, D [28]. La **Tabla 1** resume cada una de dichas etapas de la revisión sistemática:

7.1. Formulación de preguntas:

En esta etapa se formularon las preguntas que guiaron la revisión sistemática y que dieron el curso de la revisión. Las preguntas se describen en el apartado 5 del presente documento.

7.2. Búsqueda y recuperación literatura científica relacionada con la temática:

En esta etapa se buscó en las fuentes especializadas todos aquellos documentos que contribuyeran a dar respuesta a los interrogantes planteados sobre si el uso del modelo BIM en proyectos de infraestructura vial trae beneficios para las diferentes fases de los proyectos. Es decir, el análisis buscó dar respuesta a las preguntas formuladas.

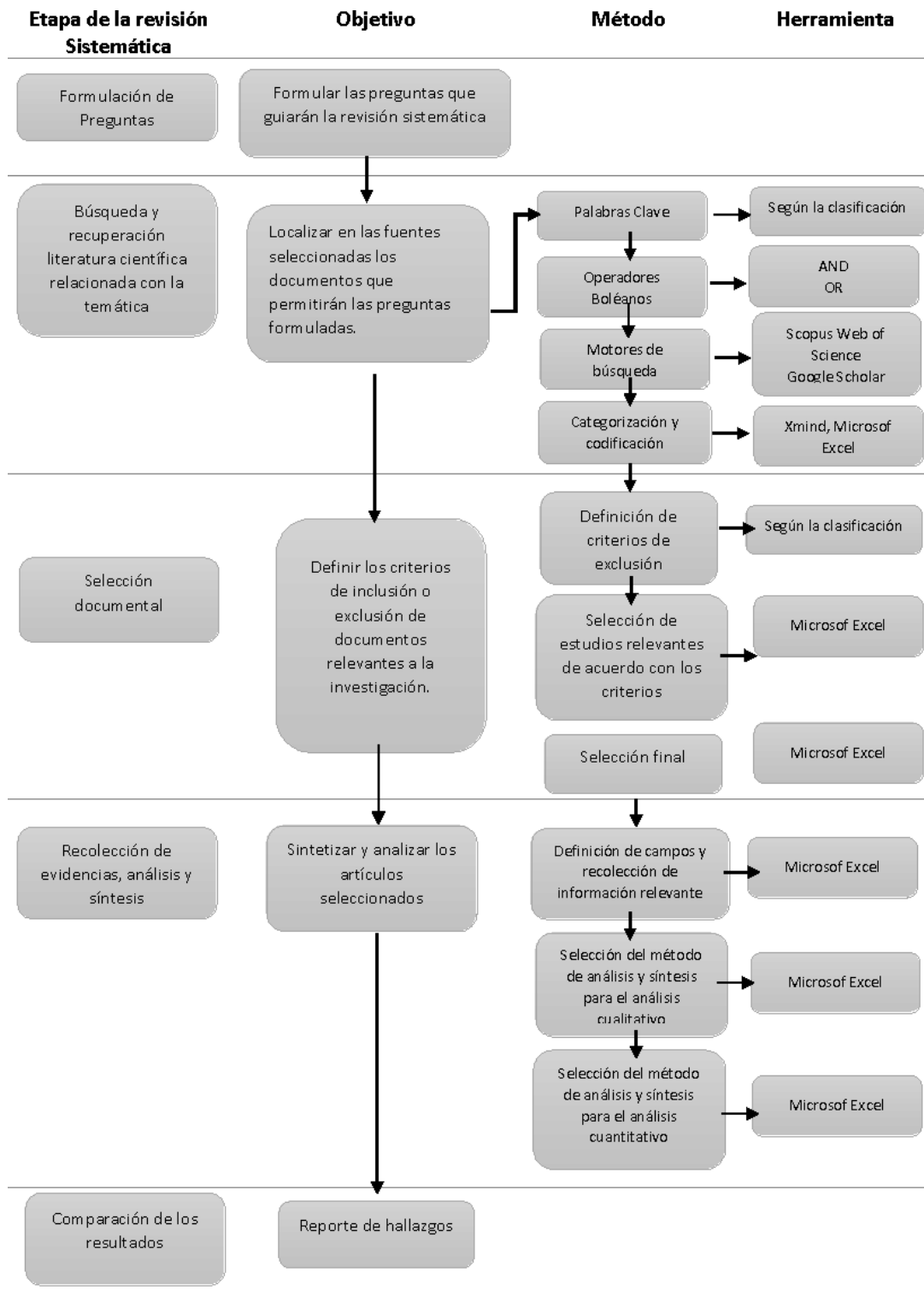
7.3. Selección documental:

Se definieron los criterios de inclusión o exclusión de documentos relevantes a la investigación, para lo cual se consolidó una matriz que permitiese verificar el aporte de los mismos para dar respuesta a las preguntas de investigación (ver **Tabla 2** – Formato Matriz de recolección de datos). Se realizó con ello una sistematización de los resultados para el posterior análisis y generación de hallazgos.

7.4. Recolección de evidencias, análisis y síntesis:

La información recolectada mediante la sistematización se analizó de acuerdo con los parámetros de la matriz, lo cual permitió generar los resultados, síntesis y análisis de los artículos seleccionados.

Tabla 1 Etapas de la Revisión Sistemática.



Fuente: Adaptado de la propuesta de Briner, R. B., & Denyer, D [28].

Tabla 2. Formato Matriz para la recolección de datos.

| Beneficios de la adopción BIM en proyectos de infraestructura vial: una revisión sistemática | | | | | | | |
|--|----------|-------------|-----|------|----------------------|------------|------------|
| Matriz de recolección de datos | | | | | | | |
| ID del Proyecto | Proyecto | Fase de uso | | | Ubicación geográfica | | Referencia |
| | | D* | C** | O*** | País | Continente | |
| C1 | | | | | | | |
| C2 | | | | | | | |

*Diseño; **Construcción; ***Operación.

7.5. Características de la muestra

En la **Tabla 3**, se muestra el sumario de la documentación consultada y analizada, de acuerdo con la selección realizada con base en los criterios establecidos.

Tabla 3. Sumario de información analizada.

| Ítem | Total |
|------------------------|-------|
| Documentos encontrados | 27 |
| Casos analizados | 31 |
| Países de estudio | 13 |
| Continentes | 5 |
| Beneficios encontrados | 20 |

Fuente: elaboración propia

8. Reporte de los resultados

Se dan a conocer a través de los siguientes numerales, sistemáticamente los principales hallazgos que se han descubierto tras el análisis de los resultados.

8.1. Casos de estudio analizados

En total se analizaron 31 casos de estudio, los cuales se encuentran distribuidos en diferentes continentes y cuyos resultados del análisis se darán en el desarrollo de los numerales del presente apartado. En general los datos se describen en la **Tabla 4** y en la figura 1.

Tabla 4. Datos generales de documentos analizados

| ID | Proyecto | D* | C** | O*** | L**** | Área | Ref |
|----|--|----|-----|------|--------|--------|------|
| C1 | A natural coastal area located in Tobermory (Ontario, Canada) - The data set consists of 11 strips over an area of approximately 10 km ² and a density of approximately 12 points/m ² . | X | | | Italia | Europa | [29] |
| C2 | The Lingxia tunnel project is located in Wenzhou city, Zhejiang province, southeast China. It is a mountainous tunnel project with a length of 1.5 km within the 41-provincial highway which serves as a transportation artery of the Zhejiang province. | X | | | China | Asia | [30] |

Continuación de la Tabla 4. Datos generales de documentos analizados

| ID | Proyecto | D* | C** | O*** | L**** | Área | Ref |
|----|---|----|-----|------|----------|-------------|------|
| C3 | Requalification and the upgrade of a section of the SS 245 road, in the north of Italy, in order to eliminate the railroad crossing of the Castelfranco – Bassano railway line. It has a rather homogeneous width of about 9.50 m (two 3.50 m wide lanes and one 1.25 m wide sidewalk) and the posted speed limit is 50 km/h. In accordance with the Italian regulations the limit values of design speed are 60 and 100 km/h | X | | | Italia | Europa | [31] |
| C4 | Existing road intersection | X | | | Colombia | Sur América | [32] |
| C5 | Level-canalized intersection | X | | | Colombia | Sur América | [32] |
| C6 | Roundabout intersection | X | | | Colombia | Sur América | [32] |
| C7 | Trumped Intersection | X | | | Colombia | Sur América | [32] |

Continuación de la Tabla 4. Datos generales de documentos analizados

| ID | Proyecto | D* | C** | O*** | L**** | Área | Ref |
|------------|--|----|-----|------|-------|---------------------------------|------|
| C8 | A two-lane rural road of 7.4 km was recreated by the authors using this methodology. The road had a 10 m cross-section (3.5 m lane width and 1.5 m shoulder width). The delineation width, 100 mm, followed the Spanish road marking standard. The minimal radius of the horizontal curves was 265 m, and the corresponding superelevation rate was 7%. | X | | | | España Europa | [33] |
| C9 | The case study data is divided in four point cloud sections of road infrastructure acquired in the Iberian Peninsula, whose most relevant data are summarized in Table 1. As it can be seen, both highway and conventional roads have been considered in this work. Three of the point clouds are used for training and validation of the guardrail classification models, while the fourth point cloud, a section of about 150 m of length, has been used for generating the IFC model. | X | | | | España Europa | [34] |
| C10 | The study area for this work consists of approximately 20 km of a highway road which was surveyed with the LYNX Mobile Mapper by Optech (Figure 1a). It consists of two LiDAR sensor heads, a navigation system that comprises an inertial measurement unit (IMU) and a two-antenna heading measurement system (GAMS), and a LadyBug 5 panoramic camera. For a complete description about the system specifications, the reader is referred to | X | | | | España Europa | [35] |
| C11 | President George Bush Turnpike and 130 interchange Turco reconstruction | X | | | | Estados Unidos Norte América | [36] |

Continuación de la Tabla 4. Datos generales de documentos analizados

| ID | Proyecto | D* | C** | O*** | L**** | Área | Ref |
|------------|---|----|-----|------|----------------------|---------------|-------|
| C12 | Turco interchange reconstruction | X | | | Canadá | Norte América | [37] |
| C13 | 500 m on road construction with four lanes in each directions | X | X | | China | Asia | [17] |
| C14 | 4.2 km of road expansion form four to six lanes | X | X | | Australia | Oceanía | [17] |
| C15 | New four-lane roadway | X | | | Alemania | Europa | [38] |
| C16 | 264 m of A19 highway | X | X | | Alemania | Europa | [38] |
| C17 | The A56 project: 4.5 miles road dual carriageway | | X | X | Inglaterra | Europa | [39] |
| C18 | Motorway construction and seven overpaps bridges | X | | | Inglaterra | Europa | [40] |
| C19 | Three lane motorway construction | X | X | | Inglaterra | Europa | [40] |
| C20 | 12 Km dual three-lane motorway | X | | | Escocia | Europa | [41] |
| C21 | 10 Km of L2 urban highway | X | | | Francia | Europa | [42] |
| C22 | 5 Km of D4 (Shalka) motorway | | X | | República Checa | Europa | [43] |
| C23 | 14 Km of D1 (Prerov - Lipnik nad Becvou) motorway | | X | | República Checa | Europa | [43] |
| C24 | 1.5 Km of the Kiseljak bypass road | X | | | Bosnia y Herzegovina | Europa | [44] |
| C25 | 21 Km long section between Köstendorf and Salzburg | X | | | Austria | Europa | [45]) |
| C26 | 1060 Km of Pan Borneo Highway Sarawak construction | X | X | | Malasia | Asia | [46] |
| C27 | 283 Km of highway in Guizhou | X | | | China | Asia | [47] |
| C28 | Section design of an Italian road project | X | | | Italia | Europa | [48] |

Continuación de la Tabla 4. Datos generales de documentos analizados

| ID | Proyecto | D* | C** | O*** | L**** | Área | Ref |
|------------|--|----|-----|------|--------|--------|------|
| C29 | 1.5 Km of road connections in Naples Harbor | X | | | Italia | Europa | [49] |
| C30 | 603 Km of road corridor in the Republic of Korea | X | | | Corea | Asia | [50] |
| C31 | 10.9 Km of road design | X | | | China | Asia | [51] |

*Diseño; **Construcción; ***Operación; **** Localización

Fuente: elaboración propia

8.2. Casos de estudio por fecha de publicación

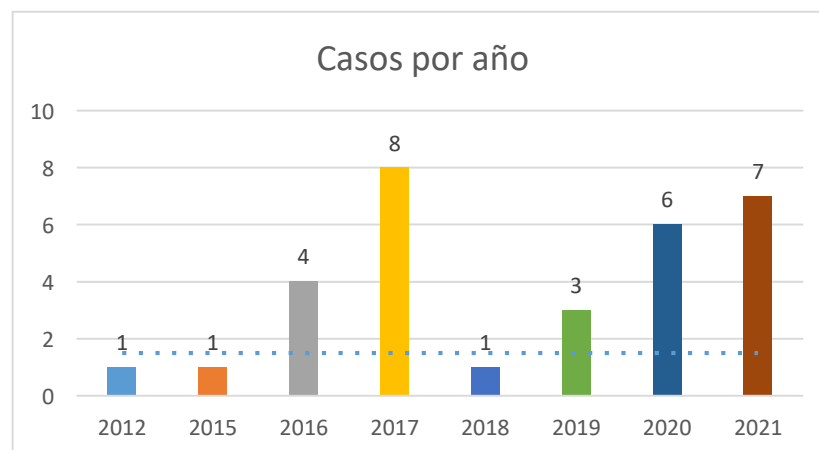
La evidencia de la literatura permite demostrar que existe una tendencia creciente en la publicación de casos relacionados con la implementación del modelo BIM en proyectos de infraestructura vial y los beneficios de dicha implementación (ver *Tabla 5* y *Figura 1*). Pese a que el año 2017 es donde se encuentran más casos de estudio, la constante publicación de documentos es una prueba fehaciente de que es un tema que merece ser evaluado por todos los involucrados en este tipo de proyectos, más aún cuando al evaluarse su eficacia los casos demuestran ser exitosos metodológicamente y mucho más si se tiene en cuenta que dichos casos son reportados en diferentes partes del mundo, es decir que, el éxito no tiene que ver aspectos geoespaciales.

Tabla 5. Datos por fecha de publicación del proyecto.

| Año | Casos |
|---------------|-----------|
| 2012 | 1 |
| 2015 | 1 |
| 2016 | 4 |
| 2017 | 8 |
| 2018 | 1 |
| 2019 | 3 |
| 2020 | 6 |
| 2021 | 7 |
| Total general | 31 |

Fuente: elaboración propia

Figura 1. Casos reportados por año sobre BIM en infraestructuras.



Fuente: elaboración propia

8.3. Casos por país en los que se llevó a cabo el estudio

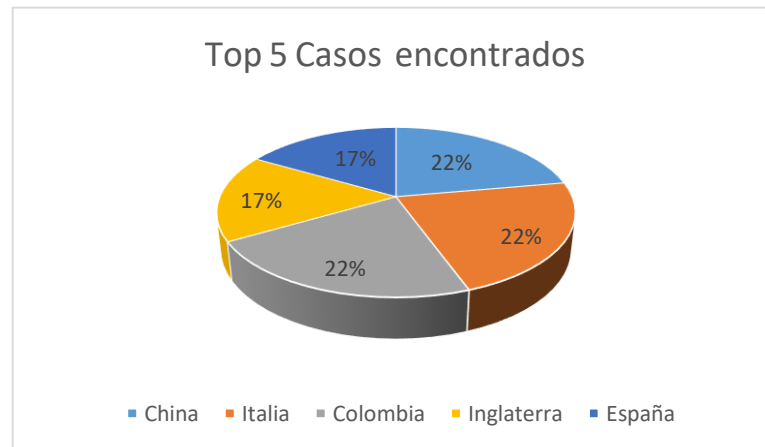
Acorde con la literatura y tal como se muestra en la **Tabla 6** y en la *Figura 2* Top 5 de países con mayor número de casos publicados, el mayor número de casos se concentra en 5 países en los cuales se ha implementado el modelo BIM y se ha documentado su ejecución como caso de éxito. Estos casos representan un total del 68% de los sucesos encontrados, lo cual permite demostrar que existe una tendencia al alza para verificar la eficacia del modelo y que la literatura científica permite manifestar que el estudio del modelo conlleva a su implementación en otros países gracias a la fundamentación teórica y práctica. Es viable que la literatura no demuestre en su totalidad los casos implementados a nivel mundial, pero es claro que existe una propagación global de la eficacia del modelo y que los especialistas coinciden en resaltar los beneficios asociados a la implementación del mismo en diferentes etapas de los proyectos sobre los cuales se documentaron los casos de estudio. Los 31 casos estudiados, en los cuales se pudieron verificar los beneficios de la implementación del modelo BIM para proyectos de infraestructura vial, permiten a la vez sugerir que el modelo debe seguir estudiándose e implementado en otros países porque los resultados de la literatura analizada demuestran su eficacia.

Tabla 6. Datos por lugar de ejecución del proyecto

| País | Casos |
|----------------------|-------|
| China | 4 |
| Italia | 4 |
| Colombia | 4 |
| Inglaterra | 3 |
| España | 3 |
| República Checa | 2 |
| Alemania | 2 |
| Malasia | 1 |
| Austria | 1 |
| Australia | 1 |
| Canadá | 1 |
| Corea | 1 |
| Estados Unidos | 1 |
| Bosnia y Herzegovina | 1 |
| Francia | 1 |
| Escocia | 1 |
| Total | 31 |

Fuente: elaboración propia

Figura 2. Top 5 de países con mayor número de casos publicados



Fuente: elaboración propia

8.4. Reporte por continente de los casos de estudio analizados

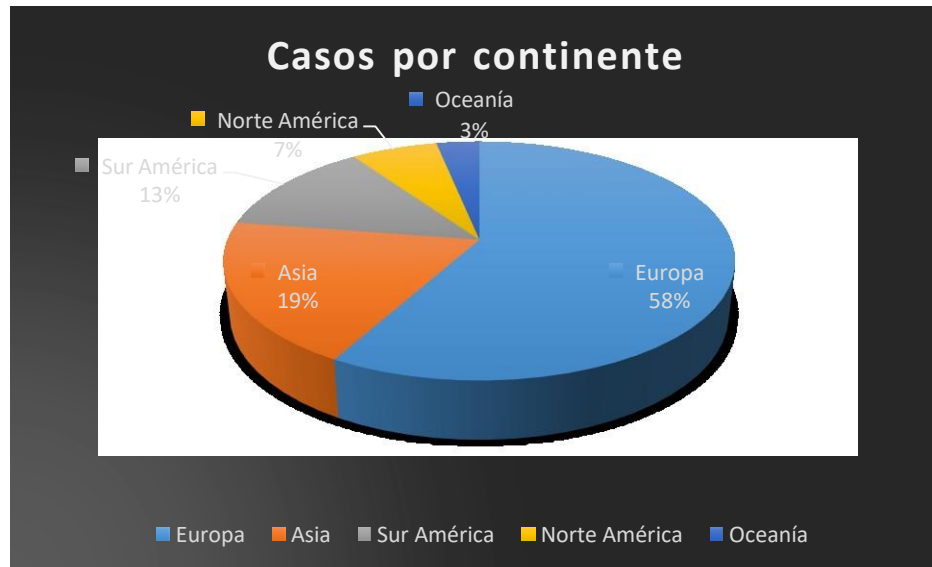
Es evidente que Europa, lugar donde surge el modelo BIM, es el continente donde mayor se han llevado a cabo casos de implementación del mismo (ver **Tabla 7, Figura 3**). De igual forma, la literatura ha podido demostrar que el modelo es viable de implementar a nivel global porque su eficacia es comprobada en diferentes partes del mundo. Es decir, se corrobora que, por ser un modelo metodológico basado en la evidencia, puede ser realizado en cualquier proyecto de infraestructura vial que requiera de características universales de diseño, construcción y operación.

Tabla 7. Datos por continente de ejecución de los proyectos

| Continente | Casos |
|---------------|-------|
| Europa | 18 |
| Asia | 6 |
| Sur América | 4 |
| Norte América | 2 |
| Oceanía | 1 |
| Total general | 31 |

Fuente: elaboración propia

Figura 3 Casos reportados por continente



Fuente: elaboración propia

Es importante resaltar con este panorama, la necesidad de la aplicabilidad del modelo, que ya siendo comprobada su efectividad, genera confiabilidad para que cada uno de los integrantes de los proyectos vean en él un modelo estandarizado y óptimo para su implementación y seguimiento, lo cual redundará en beneficio para las naciones.

8.5. Datos por la fase de implementación del BIM

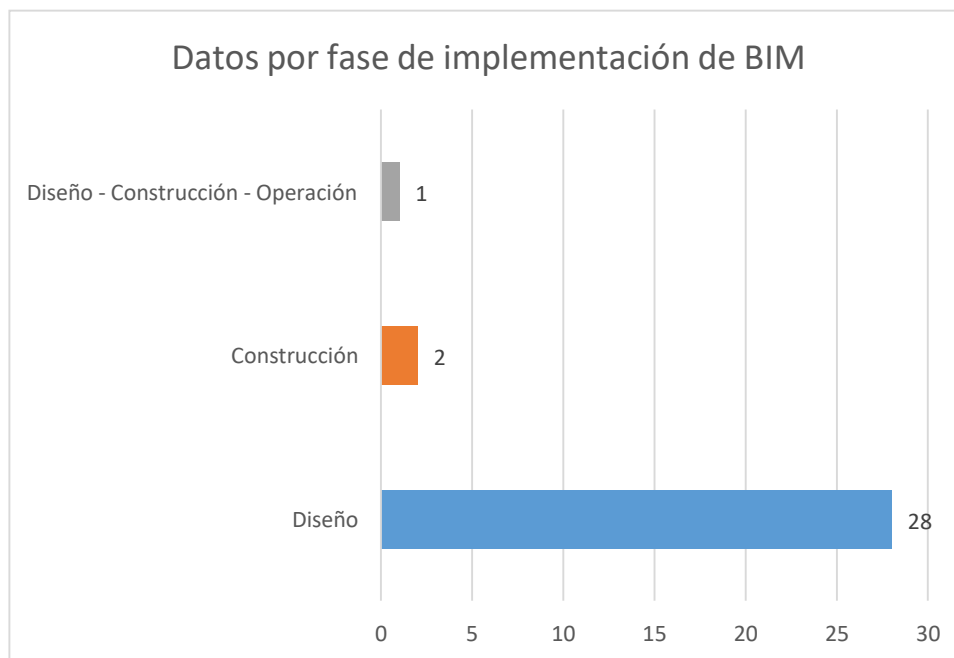
Dadas las características del modelo BIM, cuyo principal desarrollo se lleva a cabo en el diseño de los proyectos, los casos de estudio precisamente evidencian que el mayor número de uso del modelo BIM es en la etapa de diseño. No obstante, los casos en los cuales se usó el modelo BIM en la fase de construcción o de operación fueron de igual forma exitosos y demostraron que el modelo no sólo sirve para la fase preliminar a la implementación del proyecto, sino que son exitosos en cualquier fase de desarrollo de los mismos, asegurando los beneficios que se mencionan en cada uno de los proyectos documentados. La **Tabla 8** y la **Figura 4** muestran precisamente que la evidencia encontrada demuestra que el modelo ha tenido mayor alcance en las etapas de diseño de los proyectos viales (90%).

Tabla 8. Datos por fase en la cual se implementa el modelo BIM

| Fase del proyecto | Casos |
|----------------------|-----------|
| Diseño | 28 |
| Construcción | 2 |
| Operación | 1 |
| Total general | 31 |

Fuente: elaboración propia

Figura 4. Casos por fase de implementación del BIM dentro del proyecto.



Fuente: elaboración propia

8.6. Beneficios encontrados

El principal hallazgo, tal como lo demuestra el análisis de la literatura y que se puede corroborar con lo expuesto en la **Tabla 9**, consiste en que, todos los documentos analizados contienen al menos 1 de los beneficios de los 20 encontrados en la revisión de la literatura, relacionados con el uso del modelo BIM en proyectos de infraestructura vial. El 74% de los casos estudiados muestran que el mayor beneficio de la implementación del modelo BIM en este tipo de proyectos, se refiere a la mejora del diseño de las carreteras; el 71% corresponde al beneficio reducción de errores de diseño; un porcentaje igual (71%), corresponde al beneficio de obtención de información precisa, integrada y detallada; seguido de los beneficios de mejor visualización de los datos del proyecto y del entorno con un 65% visible

en los casos reportados y mejor coordinación y colaboración entre las partes interesadas con un 61% de presencia en los casos analizados.

Si bien el mayor beneficio se encuentra en la fase de diseño, tal como se demostró en el numeral anterior, el uso del modelo es aplicable a cada una de las etapas o fases del proyecto. La información de la **Tabla 9** puede corroborar que los beneficios pueden hallarse en fases de diseño, construcción y operación del proyecto dada la integridad y disposición de la información en todos los aspectos del proyecto y de cada uno de los integrantes.

Tabla 9. Principales beneficios encontrados.

| ID beneficio | Beneficio | Casos | % frecuencia (n=31) |
|-----------------------|---|-------|---------------------|
| B₁ | Mejora del diseño de las carreteras | 23 | 74% |
| B₂ | Reducción de los errores de diseño | 22 | 71% |
| B₃ | Obtención de información precisa, integrada y detallada | 22 | 71% |
| B₄ | Mejor visualización de los datos del proyecto y del entorno | 20 | 65% |
| B₅ | Mejor coordinación y colaboración entre las partes interesadas | 19 | 61% |
| B₆ | Mejor planificación del proyecto | 16 | 52% |
| B₇ | Mejora del análisis y la selección de alternativas | 13 | 42% |
| B₉ | Mejoras en los procesos de toma de decisiones | 13 | 42% |
| B₁₀ | Reducción del tiempo del proyecto | 12 | 39% |
| B₈ | Mejor comunicación entre las partes interesadas | 11 | 35% |
| B₁₃ | Reducción de los costos del proyecto | 10 | 32% |
| B₁₁ | Mejora de la seguridad vial | 9 | 29% |
| B₁₆ | Mejor comprensión del proyecto | 8 | 26% |
| B₁₇ | Mejora de la gestión y prevención de riesgos | 6 | 19% |
| B₂₀ | Mejora de los planes de control del tráfico | 6 | 19% |
| B₁₂ | Mejora del control y la supervisión de la construcción | 5 | 16% |
| B₁₄ | Aumento de la productividad durante el ciclo de vida del proyecto | 5 | 16% |
| B₁₈ | Mejora de la gestión de la adquisición de terrenos | 5 | 16% |

Continuación de la Tabla 9. Principales beneficios encontrados

| ID beneficio | Beneficio | Casos | % frecuencia (n=31) |
|--------------|--|-------|---------------------|
| B15 | Apoyo a la reducción de residuos | 2 | 6% |
| B19 | Reducción de las reclamaciones y disputas entre las partes interesadas | 1 | 3% |

Fuente: elaboración propia con base en la revisión de la literatura

8.7. Descripción de los beneficios encontrados

8.7.1. B1 - Mejoramiento del diseño vial

Se ha demostrado, de acuerdo con varios estudios, que el BIM permite mejorar el diseño vial mediante la implementación de herramientas de automatización, gracias a que dichas herramientas cuentan con funcionalidades avanzadas de diseño geométrico, que permiten controlar el diseño del trazado de alineamiento horizontal y vertical, el diseño de interacción con el entorno, diseño de los carriles de aceleración y desaceleración, diseño para la asignación de bombeo y peralte entre otros parámetros que permiten la toma de decisiones y mitigar riesgos de seguridad a lo largo del proyecto.

8.7.2. B2 - Reducción de errores de diseño

Las herramientas automatizadas que se generan mediante la aplicación del BIM, permiten mitigar riesgos de diseño, tales como: configuración geométrica, compatibilidad entre los diferentes elementos del proyecto, compatibilidad entre las cuotas del terreno, compatibilidad entre los radios de curvatura y las calzadas, compatibilidad en la transición de los peraltes, entre otros; todo ello hace posible que se mejoren diversos temas relacionadas con la seguridad del proyecto, debido a que desde el diseño se identifican aspectos geométricos que son posibles corregir, analizar y evaluar, permitiendo mitigar el riesgo y evitar que se presenten dichos errores en el proceso de construcción, lo cual conlleva a una demora en la ejecución,

8.7.3. B3 - Obtención de información precisa, integrada y detallada

En el diseño vial la integración de la información desde el punto de vista del BIM puede darse desde diferentes parámetros, tales como: información de los predios, información estructural, información del medio ambiente, información del entorno, información de redes eléctricas y redes hidráulicas, información de canales de aguas lluvias y en general toda aquella información que se requiere para la toma de decisiones. Esto permite que varias disciplinas que están involucradas en la generación de información tengan una sola fuente de verificación y de insumo de nuevos datos que permiten darle integridad al proyecto, que a su vez permite conseguir y extraer datos con un alto nivel de detalle.

8.7.4. B4 - Mejor visualización de los datos del proyecto y del entorno

Son varias las ventajas y beneficios que la visualización de los datos del proyecto a través del BIM ofrece a los diseñadores, dueños y en general el grupo de stakeholder que está involucrado en el proyecto, dado que permite, entre otros aspectos, el entendimiento de las características del proyecto en las diferentes fases; participar en los procesos de toma de decisiones para dar ideas que mejoren la relación costo beneficio de los proyectos; proponer y llevar a cabo acciones de mejora que permitan mitigar errores antes de la ejecución del proyecto y en general hacer un seguimiento continuo y predictivo de los sucesos, entorno y principales aspectos del proyecto. Asimismo, mediante la posibilidad de visualización final de los cambios, se pueden evaluar alternativas, verificando cómo los elementos incluidos se modifican o corrigen desde el diseño y la forma en que estos cambios se relacionan con el resto de elementos que conforman el proyecto.

8.7.5. B5 - Mejor coordinación y colaboración entre las partes interesadas

El carácter multidisciplinar de los proyectos de infraestructura vial, requiere la participación de diferentes profesionales que aportan conocimientos y experiencias. La interacción que se requiere entre ellos en las diferentes fases del proyecto, puede llegar a ser tan compleja, que en un momento determinado puede retrasar la ejecución. Uno de los beneficios del modelo BIM permite precisamente que estos participantes interactúen y puedan entender mejor la totalidad del proyecto y la fase en la cual existe su participación, así como en reuniones programadas se puedan exponer, debatir y evaluar diferentes aspectos del proyecto, así como generar alternativas de mejora del mismo.

8.7.6. B6 - Mejor planificación del proyecto

En el proceso de planeación de las obras viales se deben incluir diferentes aspectos, uno de los más importantes corresponde a la integración de las fases y de los participantes del proyecto en cada una de dichas fases, así como la visión en conjunto de cada una de las actividades proyectadas. A través de la metodología BIM, existe la posibilidad de adelantarse a los posibles problemas que puedan surgir en el desarrollo de la obra, permitiendo una optimización de tiempos y minimización de desperdicios. La planeación a través de BIM incluye un alto grado de detalle tanto a nivel del plan de costos como del cronograma, lo cual genera un índice favorable en el momento de la ejecución del proyecto. De igual manera, a través de la metodología BIM se puede liderar la planificación, desarrollo y administración de los recursos humanos y tecnológicos para la implementación y actualización del proyecto, lo cual genera disminución de tiempos y costos.

8.7.7. B7 - Mejora del análisis y la selección de alternativas

La posibilidad ofrecida por la metodología BIM de que el proyecto cuente desde su inicio con una representación muy cercana a la realidad permite a los integrantes plantear diferentes alternativas para la optimización de actividades, de costos, de tiempos y de mejoras del proyecto. En este sentido, la posibilidad de un mejor entendimiento del proyecto, de su estructura general y de la integración de toda la información referente a su ejecución permite a los participantes, en todos los niveles, ofrecer diferentes y mejores posibilidades para su ejecución, lo cual genera un valor agregado para la toma de decisiones.

8.7.8. B8 - Mejor comunicación entre las partes interesadas

Gracias a que la metodología BIM posibilita que la información relacionada con el proyecto esté en la nube, las actualizaciones, modificaciones o mejoras del proyecto se ven en tiempo real generando que todos los participantes puedan, no solo estar informados sobre un determinado aspecto, sino dar a conocer su opinión sobre dichos cambios y a la vez generar el insumo que se requiere de acuerdo con el rol de cada participante. El BIM permite una comunicación en tiempo real para cada uno de los integrantes del proyecto, esto genera disminución de tiempo y facilita la toma de decisiones.

8.7.9. B9 - Mejoras en los procesos de toma de decisiones

Uno de los principales objetivos sobre los cuales se fundamenta el BIM es la centralización del proyecto en un solo modelo de información tanto a nivel visual como técnico, optimizando los procesos de toma de decisiones por parte de los integrantes del proyecto. La funcionalidad por procesos progresivos sobre los cuales trabaja el BIM hace posible un flujo constante de información que permite la toma de decisiones sobre las diferentes actividades, esto gracias a la relación sistematizada entre los procesos de comunicación, interoperabilidad, y el uso de las herramientas tecnológicas.

8.7.10. B10 - Reducción del tiempo del proyecto

Las herramientas con las cuales cuenta el BIM permiten obtener de forma más rápida y exacta información de equipos y presupuestos en tiempo real, lo cual mejora la comunicación, se reducen tiempos de espera para obtener información, así como las interferencias que suelen existir durante las diferentes fases del proyecto. De esta manera, el tiempo de diseño, planeación y posterior ejecución se reduce gracias a que permite un monitoreo constante que puede reducir en gran medida la duración del proyecto, esto desde la aprobación hasta la ejecución final.

8.7.11. B11 - Mejora de la seguridad vial

Gracias a las herramientas automatizadas de revisión del diseño incorporadas en el modelo BIM, se hace posible la inspección detallada de diferentes parámetros geométricos que influyen en la seguridad vial entre los cuales están: distancias de visibilidad, distancias de adelantamiento, distancias de parada, compatibilidad geométrica, coherencia entre los

elementos geométricos, entre otros. Al realizar este tipo de análisis en las etapas tempranas del proyecto, se hace posible identificar riesgos potenciales de seguridad vial y actuar para su mitigación. De igual forma, el modelo BIM al llevar a cabo simulaciones en tiempo real sobre el tráfico, permite la comprobación del funcionamiento de las instalaciones (eficacia de las medidas de seguridad vial, distribución de trabajos en obra, etc.), o aspectos relacionados con los conflictos en caso de requerirse una futura ampliación.

8.7.12. B12 - Mejora del control y la supervisión de la construcción

El amplio nivel de detalle con el cual es desarrollado el modelo BIM, hace posible que las tareas de monitoreo, seguimiento y control del progreso de la construcción se realicen en tiempo real, lo cual conlleva a mejorar los procesos debido a que incrementa la eficiencia de la comunicación, la interacción de las diferentes partes involucradas durante el proceso de construcción de la obra, así como el resultado de una acción llevada a cabo durante una determinada etapa. Aspectos como el control y cálculo de cantidades ejecutadas en un tiempo determinado, así como las cantidades faltantes, hacen que la aplicación del modelo genere valor agregado en las diferentes etapas del proyecto. De igual forma, BIM proporciona una sofisticada plataforma en la que es posible visualizar el flujo total del trabajo, lo cual facilita la estimación de horarios y costos asociados, contribuyendo a la toma de decisiones.

8.7.13. B13 - Reducción de los costos del proyecto

Las diferentes investigaciones en las cuales se ha tratado la implementación del modelo BIM en el diseño, implementación y seguimiento de obras civiles, dentro de las cuales están los proyectos de obras viales, coinciden en aseverar que los costos asociados al proyecto disminuyen notablemente, en especial porque se evitan los retrasos, las pérdidas y los desperdicios, fenómenos que al no controlarse generan un mayor costo en varios de los ítems que componen la estructura desglosada de trabajo. Es decir, la implementación del modelo BIM desde etapas tempranas, hace posible la detección de diferentes falencias del diseño, las cuales pueden ser identificadas y ajustadas para evitar que se conviertan en actividades imprevistas asociadas con costos también imprevistos que conllevan a un aumento significativo de los costos del proyecto. Las investigaciones realizadas a nivel mundial coinciden en demostrar que la implementación eficiente del modelo BIM, durante las etapas tempranas de los proyectos, hacen posible minimizar la posibilidad del fenómeno del sobre costo.

8.7.14. B14 - Aumento de la productividad durante el ciclo de vida del proyecto

Dado que el modelo BIM está constituido por una base de datos digital en la que se integra toda la información de las diferentes disciplinas de diseño que interactúan en un proyecto vial, se impone un rigor metodológico a los diseñadores y a cada uno de los participantes para detallar todos los entregables de información relacionados con los elementos del proyecto. El tener un alto nivel de detalle hace que los requerimientos de información a

medida que avanza el proyecto sean menores en cada etapa, lo cual permite que los tomadores de decisiones cuenten con información actualizada, coherente y completa, facilitando la tarea de examinar, evaluar y seleccionar diversas alternativas en tiempos reducidos lo cual es directamente proporcional a una alta productividad. Es bien conocido que, si se seleccionan las mejores alternativas, se produce un fenómeno de mayor productividad y una relación estrecha entre beneficio - costo. De igual manera, al tener un modelo BIM con un alto nivel de detalle en la etapa de construcción, es posible llevar mejores procesos en el monitoreo y control sobre trabajadores y equipos permitiendo identificar fuentes de baja productividad y la implementación de acciones de mejora y mitigación del riesgo.

8.7.15. B15 - Apoyo a la reducción de residuos

Al tener una réplica digital del proyecto y el entorno, se hace posible identificar los procesos constructivos más eficientes en términos de reducción de residuos. Un caso específico por ejemplo es el diseño de flujos de trabajo minimizando el transporte de materiales. Otra fuente para disminución de residuos puede darse al planificar el almacenamiento de los materiales para evitar la pérdida o deterioro. De otra parte, debido a que los procesos de construcción de infraestructura vial tienen un carácter altamente mecanizado, la réplica virtual del modelo BIM, propicia la planificación del uso de maquinaria permitiendo reducir los desperdicios por traslados innecesarios.

8.7.16. B16 - Mejor comprensión del proyecto

Dado que el modelo BIM es una réplica digital, hace posible que los participantes del proyecto de infraestructura vial puedan tener una visión e interpretación clara de los alcances del mismo, beneficiando los procesos de toma de decisiones, en especial porque al obtener una visión clara del alcance de las diferentes disciplinas del proyecto, es viable la identificación y solución de diversos aspectos que pueden comprometer el éxito del mismo. De igual forma, el entendimiento del proyecto a través de la visualización, propicia la aplicación de herramientas de gestión visual que pueden enfocarse en la detección de métodos constructivos con bajos niveles de eficiencia, información faltante del diseño, falta de coherencia entre las disciplinas del diseño, entre otros.

8.7.17. B17 - Mejora de la gestión y prevención de riesgos

Al contar con una réplica digital del proyecto y diversas plataformas de simulación se hace posible hacer un análisis detallado de una réplica virtual de las condiciones existentes del sitio donde se construirá el proyecto. La visualización y análisis con herramientas informáticas de la réplica digital pueden contribuir a detectar y prevenir riesgos relacionados con diferentes variables tales como eventos climáticos adversos los cuales pueden llegar a tener una gran afectación en el desarrollo del proyecto. Otros riesgos que pueden ser mitigados con la implementación de la metodología BIM tienen que ver con la seguridad tanto a nivel de la operación de la vía, como el desarrollo del proceso de construcción. Así

mismo es posible mitigar los riesgos financieros gracias a las herramientas automatizadas con las que cuenta BIM para hacer estimación de costos en etapas tempranas, de esta manera los planificadores y dueños del proyecto pueden obtener un estimado inicial del recurso financiero requerido para la ejecución del proyecto, lo cual permite anticipar acciones tales como la gestión de financiamiento del proyecto, acumulación de capitales y otras medidas que garanticen la no interrupción del proceso constructivo por falta de recursos financieros. Otro aspecto importante que se deriva desde el punto de vista de financiero, tiene que ver con la posibilidad de adquisición temprana de insumos que, al ser adquiridos con anticipación, pueden reducir los costos futuros.

8.7.18. B18 - Mejora de la gestión de la adquisición de terrenos

Los proyectos de infraestructura vial se caracterizan por requerir grandes extensiones de terreno, debido a su naturaleza horizontal, la adquisición de dichos terrenos suele convertirse en un factor de retrasos y sobrecostos, por lo cual se requiere planificar de manera detallada la adquisición con un tiempo de anticipación del proceso de construcción. En este aspecto el BIM brinda un beneficio para apoyar las actividades de gestión en la adquisición de terrenos, ya que al contar con una réplica digital es posible identificar con antelación los predios que se deben adquirir para hacer realidad el proyecto vial; una vez identificados los predios es posible realizar una planeación de la adquisición de dichos predios acorde con el cronograma establecido y los tiempos precisos de ejecución del proyecto. Este proceso facilita la tarea del constructor, disminuyendo el tiempo que pueda gastarse al tener que postergar las labores por falta de acceso a los predios. De igual forma, pueden reducirse los costos administrativos asociados a la adquisición descontrolada de terrenos para el desarrollo del proyecto.

8.7.19. B19 - Reducción de las reclamaciones y disputas entre las partes interesadas

Las funcionalidades de trabajo colaborativo en los entornos BIM permiten flujos de trabajo en los cuales la comunicación de información entre los distintos participantes es fluida, logrando que se disminuyan los conflictos y las reclamaciones dado que se mejoran notablemente los intercambios de información, los cambios de datos y la posibilidad de compartir en tiempo real con todos los participantes, generando así que cada uno de ellos fundamenten sus actividades con las versiones más recientes de la información del proyecto, contribuyendo a evitar disparidades entre los participantes del proyecto. De otra parte, el tener una réplica virtual del proyecto hace posible que se organicen espacios de trabajo colaborativo en los cuales los participantes de las distintas disciplinas del proyecto tengan una mejor concepción del alcance de los procesos de sus disciplinas y la manera como se influye en los trabajos de los demás participantes, permitiendo conocer el beneficio general por encima de lo particular de cada participante o disciplina.

8.7.20. B20 - Mejora de los planes de control del tráfico

Gracias a las funcionalidades de BIM, es posible mezclar las simulaciones del tráfico con las simulaciones del proceso de construcción, cuya integración hace posible tener una réplica digital tanto del proceso de construcción como del proceso de manejo de tráfico que se debe realizar durante el desarrollo del proyecto. En este sentido, es posible plantear diversas modificaciones, permitiendo a los planificadores evaluar y proponer distintas alternativas de planes de control de tráfico en los cuales se puedan proponer métodos de optimización multiobjetivos, algunos de los cuales pueden enfocarse en la reducción de emisiones, reducción de costos, reducción de tiempos, reducción de materiales de construcción, mejoramiento de la señalización vial, reducción de movimientos de tierra, reducción del impacto del proceso de construcción en el tráfico, reducción en las vibraciones y sonido del tráfico, reducción del impacto ambiental del proceso constructivo en el sitio del proyectos, entre otros.

9. Conclusiones

- El análisis de la literatura especializada permite verificar que la metodología BIM aplicada a los proyectos de infraestructura vial está siendo una tendencia a nivel mundial y que los beneficios que conlleva su aplicabilidad son reflejados en cada uno de los documentos estudiados. Los resultados demuestran que existen estudios de aplicabilidad en todos los continentes, pero con un alto desarrollo en Europa. Este fenómeno puede responder al hecho de que el modelo fue creado en dicho continente, así como las mayores investigaciones en torno a su implementación con casos de éxito.
- El hecho de que la mayor parte de los casos se encuentren en Europa, puede estar también asociado a la obligatoriedad exigida en los países de la Unión Europea para que los proyectos de esta tipología se realicen bajo el modelo BIM, lo cual puede tomarse como modelo para que se estandarice en países de América Latina y en general en los países subdesarrollados.
- Se ha confirmado a través del análisis que, la aplicabilidad de la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial trae grandes beneficios para los proyectos y que puede usarse en las diferentes fases del proyecto. Pese a que el índice de aplicabilidad en la literatura estudiada corresponde a la fase de diseño, se puede comprobar que trae beneficios en otras fases como la construcción y operación del mismo.
- Los 20 beneficios identificados de aplicación del modelo BIM en proyectos de infraestructura vial, los cuales demuestran su efectividad, dejan percibir que los principales beneficios tienen que ver con el diseño, la reducción de errores, la obtención de información precisa, integrada y detallada. No obstante, en todas las fases y características del proyecto, los beneficios son latentes en todos los estudios analizados, permitiendo generar datos estructurados y concluyendo que la metodología es exitosa para este tipo de proyectos.
- El trabajo investigativo sobre el modelo BIM desde la academia en las escuelas de ingeniería civil es fundamental para que los futuros ingenieros se encuentren preparados para trabajar de manera universal y acorde con estándares y tendencias mundiales.

10. Recomendaciones

- Tal como ha demostrado la literatura analizada, la implementación del BIM genera beneficios importantes en la industria de la construcción de proyectos viales, por ello se considera que, a nivel latinoamericano y específicamente en el ámbito nacional, es recomendable que este modelo de trabajo se utilice en proyectos de este tipo, especialmente para estar a la par con tendencias y estándares internacionales.
- De igual forma, se considera de vital importancia que la industria de la construcción en el ámbito de las carreteras y proyectos de infraestructura vial involucre a todas las partes interesadas en la implementación del modelo, lo cual, tal como se lo ha demostrado el estudio, traerá beneficios de este.
- El análisis de los casos de estudio también permite enfatizar en el hecho que, si se empieza a trabajar la implementación del BIM a nivel colombiano, es de vital importancia que se tenga un plan para todas las etapas del proyecto que se vayan a realizar, porque la documentación asociada permite no solamente el seguimiento en el diseño, fase fundamental del proyecto, sino en la construcción y posterior evaluación de los beneficios asociados.
- La literatura demostró que varios de los casos de éxito estudiados, corresponden a países donde la implementación del BIM es requisito para la participación en proyectos de este tipo, razón por la cual se recomienda que debe ser política de Estado la regulación y estandarización la implementación de proyectos viales bajo este modelo estudiado.
- La evidencia encontrada permitió reconocer como beneficio la obtención de información precisa y detallada de todas las partes involucradas, este beneficio puede constituirse en un banco de conocimientos que generen menos egresos para futuros proyectos porque se cuenta con detalles específicos que pueden ser base para dar continuidad a otros proyectos similares en cuya fase de diseño y recolección de información se invierte tiempo y dinero, por eso se recomienda su uso.
- Dado que a nivel Colombia los proyectos suelen durar demasiado tiempo por aspectos relacionados con la planeación, es importante resaltar que uno de los mayores beneficios identificados es el factor reducción del tiempo, lo cual puede tomarse como un valor agregado que beneficia a todas las partes interesadas, razón por la cual se recomienda la implementación.
- El valor de la información que se deriva de las diferentes fases del proyecto se constituye en un insumo importante, no solo a nivel del proyecto, sino a nivel de la academia y la investigación dado que sirve de modelo para la enseñanza basada en la evidencia.
- La investigación desde la academia debe considerarse como un aspecto importante en el desarrollo de buenas estrategias para la implementación de modelos

internacionales exitosos. El caso de los beneficios del BIM visto desde la investigación académica es importante porque permite una transferencia de conocimiento que desde la universidad contribuye a la mejora de los proyectos sociales.

11. Bibliografía

- [1] L. F. Jaramillo Correa, “El estado de la infraestructura en Colombia frente al reto de la Globalización - Dialnet,” *Poliantea*, vol. 1, no. 2, 2004, Accessed: Apr. 11, 2021. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4784634>.
- [2] Financial Advisory – Infrastructure & Capital Projects, “Reporte Global de Competitividad 2019.” Accessed: Apr. 11, 2021. [Online]. Available: https://www.tec.ac.cr/sites/default/files/media/doc/deloitte-reporte-global-competitividad_2019.pdf.
- [3] Bnamericas, “Proyectos de infraestructura podrían estimular recuperación económica de Colombia - BNamericas,” Nov. 26, 2020.
- [4] G. Mauricio Martínez-Toro, L. Milena Cárdenas-Ardila, G. Carolina Ariza-Zabala, and J. Andrick Parra-Valencia, “Dynamics and learning scenarios for the road infrastructure development system: Colombian case Dinámica y escenarios de aprendizaje para el sistema de desarrollo de la infraestructura vial: El caso de Colombia,” *Prospectiva*, vol. 19, no. 1, Feb. 2021, doi: 10.15665/rp.v19i1.2308.
- [5] B. Valencia-Rivera, “Aplicación de Lean Construction al sector de la infraestructura vial en Colombia,” 2018.
- [6] D. A. Granados-Morales, “Fallas en el desarrollo de infraestructura en Colombia. Proceso del túnel de la línea,” 2017.
- [7] A. A. Moreno-Natera and L. A. Villa-Sanmiguel, “Análisis de variantes causantes de retrasos de obras viales en la región Caribe,” Universidad de la Costa, Barranquilla, 2020.
- [8] M. del P. Narváez Rosero, “Lineamientos y estrategias para la gestión vial sostenible en vías terciarias en Colombia,” Uniandes, Bogotá, 2018.
- [9] L. A. López-López, C. C. Roa Molina, and L. Á. dir. Moreno Anselmi, “Manual de contratación pública para contratos de obra de infraestructura vial (INVIAS-IDU-UMV),” Facultad de Ingeniería, Bogotá, 2015.
- [10] R. F. Herrera, O. Sánchez, K. Castañeda, and H. Porras, “Cost overrun causative factors in road infrastructure projects: a frequency and importance analysis,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 16, p. 5506, Aug. 2020, doi: 10.3390/app10165506.
- [11] C. C. Cantarelli, B. Van Wee, E. J. E. Molin, and B. Flyvbjerg, “Different cost performance: Different determinants?. The case of cost overruns in Dutch transport infrastructure projects,” *Transp. Policy*, vol. 22, pp. 88–95, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.tranpol.2012.04.002.
- [12] J.-K. Lee, “Cost Overrun and Cause in Korean Social Overhead Capital Projects: Roads, Rails, Airports, and Ports,” *J. Urban Plan. Dev.*, vol. 134, no. 2, pp. 59–62, Jun. 2008, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9488(2008)134:2(59).
- [13] L. Rivera, H. Baguec, and C. Yeom, “A Study on Causes of Delay in Road Construction Projects across 25 Developing Countries,” *Infrastructures*, vol. 5, no. 10, p. 84, Oct. 2020, doi: 10.3390/infrastructures5100084.
- [14] C. Berg, U. Deichman, and H. Selod, “How roads support development,” 2015. <https://blogs.worldbank.org/developmenttalk/how-roads-support-development> (accessed Apr. 12, 2021).

- [15] Y. Y. Al-Ashmori *et al.*, “BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 11, no. 4, pp. 1013–1019, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.asej.2020.02.002.
- [16] EUBIM Taskgroup, “Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth,” 2019. Accessed: Mar. 28, 2021. [Online]. Available: http://www.eubim.eu/downloads/EU_BIM_Task_Group_Handbook_FINAL.PDF.
- [17] H. Y. Chong, R. Lopez, J. Wang, X. Wang, and Z. Zhao, “Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects,” *J. Manag. Eng.*, vol. 32, no. 6, 2016, doi: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000460.
- [18] L. Lesniewski and B. Berkebile, “Sustainable Design and Construction, Integrated Delivery Processes and Building Information Modeling,” in *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*, 2018.
- [19] BAI Diseño y Construcción., *Manual de introducción de la metodología BIM*. Bogotá: BAI Diseño y Construcción., 2017.
- [20] M. Gimenez, “Qué es BIM o Modelado de Información de Construcción - Blog de Hiberus Tecnología,” 2019. <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/que-es-bim-construccion/> (accessed Mar. 28, 2021).
- [21] A. Almeida Del Savio, “Beneficios del BIM en la ingeniería,” *El Ing. Lima*, no. 86, p. 40, 2018, Accessed: Mar. 28, 2021. [Online]. Available: http://repositorio-anterior.ulima.edu.pe/bitstream/handle/ulima/6981/Almeida_Alexandre_beneficios_BIM.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [22] J. M. Cappuyns, “Estudio de implementación de herramientas BIM en una ingeniería,” Universitar Politécnica de Calunya, Barcelona, 2020.
- [23] J. A. Díaz Linarez, “Gestión de proyectos utilizando las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial,” Universidad Nacional de San Martín, Lima, 2020.
- [24] A. Costin, A. Adibfar, H. Hu, and S. S. Chen, “Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations,” *Autom. Constr.*, vol. 94, pp. 257–281, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.07.001.
- [25] F. X. Acuña Correa, “Aplicación de modelo BIM para proyectos de infraestructura vial,” PUCE, 2016.
- [26] D. F. Limas Mendigaño, “Metodología BIM aplicada a la fase de prefactibilidad de un proyecto vial de tercer orden en Colombia,” Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2020.
- [27] O. Sánchez, K. Castañeda, R. F. Herrera, and E. Pellicer, “Benefits of building information modelling in road projects for cost overrun factors migration,” 2021.
- [28] R. B. . D. D. Briner, “Systematic review and evidence synthesis as a practice and scholarship tool.,” in *Handbook of evidence-based management: Companies, classrooms and research*, 2012.
- [29] L. Barazzetti, M. Previtali, and M. Scaioni, “Roads Detection and Parametrization in Integrated BIM-GIS Using LiDAR,” *Infrastructures*, vol. 5, no. 7, Jul. 2020, doi: 10.3390/infrastructures5070055.



- [30] L. Chen, P. Shi, Q. Tang, W. Liu, and Q. Wu, "Development and application of a specification-compliant highway tunnel facility management system based on BIM," *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, vol. 97, p. 103262, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103262>.
- [31] V. Vignali, E. M. Acerra, C. Lantieri, F. Di Vincenzo, G. Piacentini, and S. Pancaldi, "Building information Modelling (BIM) application for an existing road infrastructure," 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103752.
- [32] K. Castañeda, O. Sánchez, R. F. Herrera, E. Pellicer, and H. Porras, "BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design," *Autom. Constr.*, vol. 131, p. 103911, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.AUTCON.2021.103911.
- [33] J. F. Dols and J. Molina, "Development of Driving Simulation Scenarios Based on Building Information Modeling (BIM) for Road Safety Analysis," 2021, doi: 10.3390/su13042039.
- [34] A. Justo, M. Soilán, A. Sánchez-Rodríguez, and B. Riveiro, "Scan-to-BIM for the infrastructure domain: Generation of IFC-compliant models of road infrastructure assets and semantics using 3D point cloud data," *Autom. Constr.*, vol. 127, p. 103703, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.AUTCON.2021.103703.
- [35] M. Soilán, A. Justo, A. Sánchez-Rodríguez, and B. Riveiro, "3D Point Cloud to BIM: Semi-Automated Framework to Define IFC Alignment Entities from MLS-Acquired LiDAR Data of Highway Roads," *Remote Sens. 2020, Vol. 12, Page 2301*, vol. 12, no. 14, p. 2301, Jul. 2020, doi: 10.3390/RS12142301.
- [36] N. O'Brien, W. J., Gau, P., Schmeits, C., Goyat, J., & Khwaja, "Benefits of 3D/4D CAD model applications for constructability review intransportation projects," *Transp. Res. Board.*, 2012.
- [37] M. Mawlana, F. Vahdatikhaki, A. Doriani, and A. Hammad, "Integrating 4D modeling and discrete event simulation for phasing evaluation of elevated urban highway reconstruction projects," *Autom. Constr.*, vol. 60, pp. 25–38, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.AUTCON.2015.09.005.
- [38] A. Borrmann, M. Hochmuth, M. König, T. Liebich, and D. Singer, "Germany's governmental BIM initiative-Assessing the performance of the BIM pilot projects."
- [39] Z. Aziz, Z. Riaz, and M. Arslan, "Leveraging BIM and Big Data to deliver well maintained highways," *Facilities*, vol. 35, no. 13–14, pp. 818–832, 2017, doi: 10.1108/F-02-2016-0021/FULL/XML.
- [40] A. Tezel and Z. Aziz, "Visual management in highways construction and maintenance in England," *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 24, no. 3, pp. 486–513, 2017, doi: 10.1108/ECAM-02-2016-0052/FULL/XML.
- [41] B. Kumar, H. Cai, and M. Hastak, "An Assessment of Benefits of Using BIM on an Infrastructure Project," *Int. Conf. Sustain. Infrastruct. 2017 Technol. - Proc. Int. Conf. Sustain. Infrastruct. 2017*, pp. 88–95, 2017, doi: 10.1061/9780784481219.008.
- [42] C. E. Tolmer, C. Castaing, Y. Diab, and D. Morand, "Adapting LOD definition to meet BIM uses requirements and data modeling for linear infrastructures projects: using system and requirement engineering," *Vis. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–18, Dec. 2017, doi: 10.1186/S40327-017-0059-9/FIGURES/14.
- [43] A. B. Abd Hamid, M. Z. Mohd Taib, A. H. N Abdul Razak, al -, S. Vitásek, and P. Matějka, "Utilization of BIM for automation of quantity takeoffs and cost estimation

- in transport infrastructure construction projects in the Czech Republic,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 236, no. 1, p. 012110, Sep. 2017, doi: 10.1088/1757-899X/236/1/012110.
- [44] S. Džumhur, Ž. Ljevo, and J. Marić, “BIM Project Execution Planning Suited for Road Infrastructure Pilot Project in Bosnia and Herzegovina,” *Lect. Notes Networks Syst.*, vol. 28, pp. 560–570, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-71321-2_50.
- [45] B. Kohlböck, E. Griesser, S. Hillisch, H. Birgmann, and A. Fasching, “The BIM pilot project Köstendorf – Salzburg,” *Geomech. Tunn.*, vol. 11, no. 4, pp. 325–334, Aug. 2018, doi: 10.1002/GEOT.201800019.
- [46] Z. Akob *et al.*, “Deployment of GIS + BIM in the construction of Pan Borneo Highway Sarawak, Malaysia,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 512, no. 1, p. 012037, Apr. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/512/1/012037.
- [47] L. Zhao, Z. Liu, and J. Mbachu, “An Integrated BIM–GIS Method for Planning of Water Distribution System,” *ISPRS Int. J. Geo-Information 2019, Vol. 8, Page 331*, vol. 8, no. 8, p. 331, Jul. 2019, doi: 10.3390/IJGI8080331.
- [48] S. A. Biancardo, A. Capano, S. G. de Oliveira, and A. Tibaut, “Integration of BIM and Procedural Modeling Tools for Road Design,” *Infrastructures 2020, Vol. 5, Page 37*, vol. 5, no. 4, p. 37, Apr. 2020, doi: 10.3390/INFRASTRUCTURES5040037.
- [49] S. A. Biancardo, N. Viscione, A. Cerbone, and E. Dessì, “BIM-Based Design for Road Infrastructure: A Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls,” *Infrastructures 2020, Vol. 5, Page 59*, vol. 5, no. 7, p. 59, Jul. 2020, doi: 10.3390/INFRASTRUCTURES5070059.
- [50] S. S. Lee, K. T. Kim, W. A. Tanoli, and J. W. Seo, “Flexible 3D Model Partitioning System for nD-Based BIM Implementation of Alignment-Based Civil Infrastructure,” *J. Manag. Eng.*, vol. 36, no. 1, p. 04019037, Sep. 2019, doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000725.
- [51] J. Zhang, C. Zhao, H. Li, H. Huijser, and M. Skitmore, “Exploring an Interdisciplinary BIM-Based Joint Capstone Course in Highway Engineering,” *J. Civ. Eng. Educ.*, vol. 146, no. 3, p. 05020004, Apr. 2020, doi: 10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000017.

12. Anexos

12.1. Cronograma

Para la elaboración del cronograma de ejecución, se incluyó cada una de las etapas las cuales se dividieron en tres grandes cortes los cuales a su vez se distribuyeron en 15 semanas de trabajo acordes con el calendario académico. La ejecución incluye los seis pasos propuestos en la metodología que *grosso modo* incluye: 1) la formulación de la pregunta; 2) la búsqueda y recuperación de literatura científica relacionada con la temática; 3) la selección documental; 4) la recolección de evidencias, el análisis y síntesis; 5) la comparación de los resultados y 6) el reporte de los resultados. La **Tabla 10** muestra el bosquejo del cronograma de trabajo a realizarse.

Tabla 10. Cronograma de ejecución.

| Cortes | Semana | Paso 1 | Paso 2 | Paso 3 | Paso 4 | Paso 5 | Paso 6 |
|---------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| C1 | S1 | | | | | | |
| | S2 | | | | | | |
| | S3 | | | | | | |
| | S4 | | | | | | |
| | S5 | | | | | | |
| C2 | S6 | | | | | | |
| | S7 | | | | | | |
| | S8 | | | | | | |
| | S9 | | | | | | |
| | S10 | | | | | | |
| C3 | S11 | | | | | | |
| | S12 | | | | | | |
| | S13 | | | | | | |
| | S14 | | | | | | |
| | S15 | | | | | | |
| Paso 1 | Formulación de preguntas | | | | | | |
| Paso 2 | Búsqueda y recuperación de literatura científica | | | | | | |
| Paso 3 | Selección documental | | | | | | |
| Paso 4 | Recolección de evidencias, análisis y síntesis | | | | | | |
| Paso 5 | Comparación de los resultados | | | | | | |
| Paso 6 | Reporte de los resultados | | | | | | |

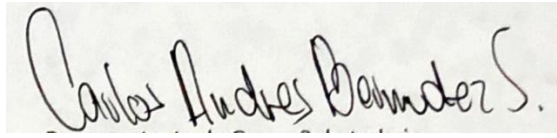
Fuente: Elaboración propia

12.2. Presupuesto

Tabla 11. Presupuesto del proyecto de investigación.

| ID | Descripción | Fuente | U.M. | Cant. | Val. Unitario | Val. Parcial |
|-----|--|--|------|-------|-----------------|----------------------|
| 1 | Recursos humanos | | | | | |
| 1.1 | Asesor Trabajo de Grado | UCDC | Hr | 64 | \$ 32.000 | \$ 2.048.000 |
| 1.2 | Asesor Invitado Trabajo de Grado | Otro | Hr | 64 | \$ 32.000 | \$ 2.048.000 |
| 1.3 | Estudiante 1 | Estudiante | Mes | 6 | \$ 776.666 | \$ 4.659.998 |
| 1.4 | Estudiante 2 | Estudiante | Mes | 6 | \$ 776.666 | \$ 4.659.998 |
| | | | | | Subtotal | \$ 13.415.996 |
| ID | Descripción | Fuente | U.M. | Cant. | Val. Unitario | Val. Parcial |
| 2 | Software | | | | | |
| 2.1 | Mendeley | Otro | UN | 2 | \$ 0 | \$ 0 |
| 2.2 | Xmind | Otro | UN | 2 | \$ 0 | \$ 0 |
| 2.3 | Microsoft Office (Versión de Estudiante) | Estudiante | UN | 2 | \$ 0 | \$ 0 |
| 2.4 | Cisco Webex | UCDC | Mes | 8 | \$ 42.000 | \$ 336.000 |
| | | | | | Subtotal | \$ 336.000 |
| ID | Descripción | Fuente | U.M. | Cant. | Val. Unitario | Val. Parcial |
| 3 | Equipos y otros | | | | | |
| 3.1 | Computador de escritorio o portátil | Estudiante | UN | 1 | \$ 3.500.000 | \$3.500.000 |
| 3.2 | Computador de escritorio o portátil | Estudiante | UN | 1 | \$ 3.200.000 | \$ 3.200.000 |
| 3.3 | Internet banda ancha 50 MB | Estudiante | Mes | 8 | \$ 100.000 | \$ 800.000 |
| | | | | | Subtotal | \$ 7.500.000 |
| ID | Descripción | Fuente | U.M. | Cant. | Val. Unitario | Val. Parcial |
| 4 | Materiales y otros | | | | | |
| 4.1 | Fotocopias e impresiones | Estudiante | Mes | 8 | \$ 15.000 | \$ 120.000 |
| 4.2 | Artículos Científicos | UCDC | UN | 89 | \$ 75.000 | \$ 6.675.000 |
| 4.3 | Libros | UCDC | UN | 6 | \$ 92.000 | \$ 552.000 |
| | | | | | Subtotal | \$ 7.347.000 |
| | | Costo Total | | | | \$ 28.598.996 |
| | | Costo asumido por la UCDC | | | | \$ 9.059.000 |
| | | Costo asumido por el Estudiante | | | | \$ 17.491.996 |
| | | Costo asumido por otro | | | | \$ 2.048.000 |

Fuente: Elaboración propia.



CARLOS ANDRÉS BERMÚDEZ SARMIENTO

NOMBRE ESTUDIANTE 1

Código: 507192

Estudiante de Ingeniería Civil

Universidad Católica de Colombia



JHONATAN QUINTERO GARCÍA

NOMBRE ESTUDIANTE 2

Código: 507178

Estudiante de Ingeniería Civil

Universidad Católica de Colombia

Ph. D. (c) OMAR GIOVANNY SÁNCHEZ RIVERA

Asesor del Trabajo de Grado

Profesor de planta de Ingeniería Civil

Universidad Católica de Colombia