

Protocolo para la Presentación del Anteproyecto de Grado Opción Trabajo Dirigido

* Este espacio lo diligencia el área de trabajos de grado
Referencia del proyecto* _____

Información General

Información del estudiante 1	Nombre: Laura Juliana Rubio Parra
	Programa de maestría: Gerencia de Proyectos
	Tipo y número de documento: CC 1020833088
	Correo institucional: lrubiop33088@universidadean.edu.co
	Teléfonos de contacto: 3185478900
	Correo electrónico alternativo: laurarubio.roa@gmail.com
Campo de investigación:	Emprendimiento y Gerencia
Grupo de investigación:	DIRECCIÓN & GESTIÓN DE PROYECTOS NELSON ANTONIO MORENO MONSALVE Categoría A COL0158995
Línea de investigación:	Modelos, metodologías y sistemas de gestión para la Gerencia de Proyectos.
Empresa: Nombre, sector, datos de contacto.	Empresa Férrea Regional Sector Transporte Telefono: (60)(1) 8807630
Título tentativo del proyecto:	Metodología BIM para la eficiencia en el seguimiento y supervisión a los proyectos de transporte masivo dirigidos por la Empresa Férrea Regional.

Lugar y fecha de presentación: Bogotá, 29 de Mayo de 2025.

Tabla de contenidos

Planteamiento del Problema	3
Objetivos	7
Justificación	7
Viabilidad del proyecto	10
Marco institucional	11
Marco de Referencia	16
Diseño Metodológico	28
Contribuciones originales esperadas	36
Cronograma	37
Referencias	38

Planteamiento del Problema

En Colombia, los sistemas de transporte masivo tipo BRT (Bus de Tránsito Rápido) y ferroviarios —Metro de Medellín, Metro de Bogotá, Regiotram de Occidente, Tranvía de Ayacucho y MIO de Cali— operan en un contexto de rápida urbanización, con más del 80 % de la población concentrada en áreas metropolitanas y una demanda creciente de soluciones de movilidad sostenible (Departamento Nacional de Planeación, 2020; DANE, 2023). Estas infraestructuras han requerido inversiones superiores a USD 8 000 millones en la última década, superando 1 200 km de redes y transportando alrededor de 7 millones de usuarios diarios (Ministerio de Transporte, 2024).

La expansión de sistemas de transporte masivo requiere planificación urbana integrada, coordinación institucional y cumplimiento de normas sobre riesgo climático, accesibilidad y participación ciudadana. Además, las alianzas público-privadas facilitan la cofinanciación, reducen riesgos financieros y fomentan la innovación tecnológica. (Decreto 1077 de 2015)

Sin embargo, las recientes evaluaciones técnicas indican brechas en la integración de la planeación regional con la gestión predial, limitando el avance de estudios de factibilidad y la adquisición oportuna de predios (Contraloría General de la República, 2022), la falta de coordinación interdisciplinaria en los proyectos provoca sobrecostos (Área Metropolitana del Valle de Aburra, 2024) y la falta de estándares de archivos abiertos tipo IFC dificulta la detección de interferencias, como por ejemplo en las redes de servicios públicos (Contraloría de Bogotá D.C., 2015, p. 71). Por lo anterior se sustenta la necesidad de fortalecer los mecanismos de gobernanza interinstitucional para articular la política nacional de movilidad con los planes de desarrollo departamentales y municipales, asegurando así la viabilidad y resiliencia de la infraestructura de transporte masivo.

Fases de Planeación según Resolución UMUS 20243040018695 (2024)

- **Prefactibilidad (NI¹ ≥ 15%):** análisis preliminar de corredores, estimación de demanda macro, aproximación de costos y evaluación somera de impactos (UMUS, Resolución 20243040018695, Art. 2).
- **Factibilidad (NI ≥ 35%):** ingeniería básica, definición de trazado final, estudios ambientales y sociales detallados, plan de manejo integral, matriz de riesgos y evaluación económica con VAN y TIR (UMUS, Resolución 20243040018695, Art. 3).
- **Diseño (NI ≥ 60%):** ingeniería de detalle, especificaciones técnicas y planos ejecutivos (UMUS, Resolución 20243040018695, Art. 4).
- **Construcción:** ejecución de obra, montaje de estaciones y sistemas, con control de calidad y seguridad industrial (UMUS, Resolución 20243040018695, Art. 5).
- **Operación:** pruebas funcionales, certificación de disponibilidad, monitoreo de indicadores y mantenimiento (UMUS, Resolución 20243040018695, Art. 6).

Problemáticas Técnicas en Fases de Planeación y Construcción

- **Geotecnia y Estructuras:** estudios de suelos incompletos generan rediseños de cimentaciones y retrabajos en pilotes (Metro de Bogotá, 2024, sección 4.1).
- **Topografía y Trazado:** alineaciones con baja precisión provocan interferencias en redes viales y servicios públicos (Personería Distrital de Bogotá, 2024).

¹ NI: Nivel de Ingeniería

- **Interoperabilidad:** falta de estándares IFC y flujos integrados entre CAD y SIG dificulta la detección de colisiones con redes MEP (Contraloría de Bogotá D.C., 2015, p. 71).
- **Coordinación Multidisciplinaria:** la sincronización deficiente entre disciplinas incrementa sobrecostos de colisiones tardías en el Metro de Medellín (Área Metropolitana, 2024).
- **Gestión de Materiales:** ausencia de trazabilidad digital de prefabricados reduce la verificación en sitio y eleva riesgos de calidad.

Como alternativa de solución a estas dificultades se ha planteado a nivel internacional la metodología BIM, la cual se presenta como un enfoque integral e innovador que unifica la modelación digital 3D, el análisis geotécnico, la coordinación multidisciplinaria y la gestión contractual, optimizando la supervisión, el seguimiento y el control integral del ciclo de vida en los proyectos de infraestructura. Colombia por su parte, adoptó en 2020 la *Estrategia Nacional BIM*, impulsada por el Ministerio de Transporte, que fija metas progresivas: BIM en el 35 % de proyectos cofinanciados por el gobierno para 2023, el 85 % en 2025 y el 100 % para 2026 (Ministerio de Transporte, 2020), **lo cual representa una necesidad por parte de la Entidades Nacionales, Gubernamentales, y Distritales en la adopción de esta metodología** de manera interna para la formulación, estructuración, ejecución y supervisión de los proyectos de interés Nacional que son Cofinanciados por la Nación, que para el caso particular de la Empresa Férrea Regional es el Ministerio de Transporte quien evalúa y aprueba las iniciativas de ejecución para nuevos proyectos y quien en la actualidad cofinancia los proyectos a cargo de la Entidad.

Esta metodología se ha implementado alrededor del mundo con grandes beneficios para los proyectos sobre los cuales se presenta un resumen de los resultados obtenidos:

©Universidad Ean SNIES 2812 | Vigilada Mineducación | Personería Jurídica Res. n.º. 2898 del Minjusticia - 16/05/69

El Nogal: Cl 79 n.º 11 - 45 | NIT: 860.026.058-1

Centro de contacto: 60 1 593 6464 | Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia, Suramérica
universidadean.edu.co

Tabla 1

Comparativa de proyectos BIM en transporte

Proyecto (País)	Tipo de sistema	Implementación BIM clave	Resultados Clave
Crossrail – Elizabeth Line (UK)	Tren suburbano / Metro	CDE unificado; Modelos 3D/4D/5D; Integración de >100 contratos	Ahorros: ~£10 M/año en TI por estandarización de plataformas. 4D evitó £8 M en contingencias (mejor secuenciación). 5D ahorró £1,2 M/contrato en gestión de avance. Operación: Modelo de activos entregado para mantenimiento eficiente. (Taylor, 2018)
Metro Noroeste de Sídney (AUS)	Metro automatizado	Modelado 3D multidisciplinar (Revit); Navisworks para choques; Prefabricación	Costos/tiempo: Reducción de plazos y costos constructivos gracias a menos retrabajos y uso de prefabricados. Sostenibilidad: Menor desperdicio de materiales y operación más eficiente por diseño optimizado. (BIMCommunity, 2020)
HSR Beijing–Zhangjiakou (China)	Tren alta velocidad	BIM full-lifecycle (Bentley OpenRail/OpenBuildings); Diseño paramétrico; CDE colaborativa	Tiempo: -6 meses en modelado geológico; -3 meses en diseño total, ahorrando ¥3 Millones. Calidad: 0 errores graves en obra tras detección de colisiones. Futuro: Benchmark para mantenimiento y estándares BIM en China. (Bentley Systems, 2019)
Línea 10 Metro Valencia (España)	Metro ligero / Tranvía	Civil 3D (vía); Revit (estaciones/túneles); Coordinación 3D en Navisworks	Eficiencia: Colaboración interdisciplinaria mejorada, evitando errores y <i>rework</i> . Control: Mayor control de calidad, verificaciones automatizadas y entrega dentro de plazo y presupuesto. Innovación: Uso de realidad virtual para validar diseño con stakeholders. (Autodesk, s.f.)
Troncal BRT Cali – Bogotá (Col)	BRT (Bus Rapid Transit)	Escaneo de condiciones existentes; Coordinación 3D; Auditoría digital de diseños	Conflictos resueltos: >200 interferencias detectadas y corregidas antes de obra. Certidumbre: Menos incertidumbre e improvisación en construcción, plazos cumplidos. Social: Mejor comunicación pública, mayor aceptación ciudadana del proyecto. (UPIT, s.f.)

Nota: En el cuadro se presentan algunos de los proyectos a nivel internacional que han implementado esta metodología y los beneficios obtenidos para cada uno de ellos.

Objetivos

Objetivo General

Formular un plan de implementación de la metodología BIM para la Empresa Férrea Regional

Objetivos Específicos

1. Definir un Equipo de trabajo estratégico dentro de la Entidad que promueva y gestione todo el proceso de implementación dentro de la entidad.
2. Diagnosticar el estado actual de los procesos, procedimientos, flujo de trabajo, capacidades técnicas y demás gestiones necesarias internas en la EFR, identificando brechas y oportunidades de mejora.
3. Ajustar Procedimientos y flujos de trabajo BIM que estandaricen la información y faciliten la toma de decisiones.
4. Proponer un cronograma y plan de capacitación para la implementación gradual de BIM en la estructura organizacional de la EFR.
5. Determinar los objetivos de implementación de la metodología dentro de la empresa a corto, mediano y largo plazo.

Justificación

La adopción de BIM alinea a la EFR con las mejores prácticas internacionales y las políticas nacionales de modernización tecnológica (CONPES 3167, 2002; CONPES 3991, 2020). Esta metodología permite integrar modelos digitales 3D con datos de gestión, lo cual reduce errores en campo, minimiza retrasos por interferencias y mejora la comunicación entre actores (Choclan & Soler, 2014).

La Estrategia Nacional BIM 2020–2026, liderada por el Ministerio de Transporte, establece un marco de acción para incorporar la modelación de información en proyectos públicos de infraestructura, promoviendo la interoperabilidad, la capacitación de talento humano y la estandarización de procesos digitales (Ministerio de Transporte, 2020). Gracias a esta iniciativa, se han realizado pilotos exitosos y actualización de términos de referencia en estudios de factibilidad, logrando reducciones en tiempos de revisión de diseños y costos asociados a reprocesos en obras de gran escala, como se referencia en la tabla 1.

Asimismo, para la EFR, alinearse con estos lineamientos implica acceso a convocatorias de cofinanciación nacional, programas de formación especializados y alianzas con proveedores tecnológicos, fortaleciendo la transición digital y garantizando la sostenibilidad de sus proyectos de transporte masivo.

Los proyectos en ejecución de la EFR presentan retos que evidencian la necesidad de una visión integrada:

- **Regiotram de Occidente:** Tren ligero de 39,6 km que unirá Bogotá con los municipios de la Sabana Occidente del departamento, diseñado para 80 000 pasajeros/día. Iniciado bajo el Contrato EFR-001-2020 con puesta en marcha prevista para 2024, acumuló más de 36 meses de retraso por ajustes de trazado ante objeciones ambientales y demoras en estudios prediales, afectando la coordinación con la Secretaría de Ambiente y los municipios intermediarios (Pardo, 2025; Empresa Férrea Regional SAS, Informe de Rendición de Cuentas 2024, 2024).
- **TransMilenio a Soacha Fases II y III:** Extensión de 3.9 km de carril exclusivo con portal y Estación Intermedia en Soacha para 100 000 usuarios/día. Con un avance

del 48,95 % en octubre de 2024, la fase II enfrentó interferencias con redes de acueducto y gas domiciliario, mientras la fase III presentó objeciones en diseños de patio-portal, lo que obligó a prórrogas contractuales y adiciones presupuestales (Empresa Férrea Regional SAS, Informe de Gestión EFR 2024, 2024).

- **Regiotram del Norte (en estructuración):** Tren ligero de 40 km proyectado entre Bogotá y Zipaquirá, en fase de prefactibilidad para 60 000 pasajeros/día. Muestra brechas en definición técnica y retrasos en convenio de cofinanciación por cumplimiento de requisitos técnicos, poniendo en riesgo los cronogramas de licitación y el cierre financiero inicial (Empresa Férrea Regional SAS, Plan Estratégico 2024, 2024).

Estos proyectos han enfrentado dificultades recurrentes que comprometen su ejecución eficiente y oportuna. Entre los principales desafíos se encuentran los retrasos significativos ocasionados por ajustes en el trazado ante observaciones ambientales, la falta de articulación interinstitucional con los entes territoriales, demoras en la gestión predial por falta de definiciones técnicas y las interferencias no resueltas oportunamente, como las relacionadas con redes de servicios públicos (Empresa Férrea Regional SAS, Informe de Gestión EFR 2024, 2024). Estas problemáticas evidencian debilidades en los procesos de planeación, gestión predial, coordinación multidisciplinaria y seguimiento técnico, las cuales se ven acentuadas por la fragmentación de la información y la ausencia de herramientas integradas de gestión. En este contexto, la implementación de la metodología BIM representa una oportunidad estratégica para la EFR, ya que permitiría consolidar modelos digitales interoperables, georreferenciar procesos prediales y automatizar la detección de interferencias. De esta manera, se fortalecerían los mecanismos de supervisión, seguimiento y control durante todo el ciclo de vida de los proyectos. Además, es importante resaltar que el uso de BIM será un requisito normativo para acceder a la cofinanciación de

futuros proyectos, como el Regiotram del Norte, según lo establecido en la Estrategia Nacional BIM y la Resolución UMUS 20243040018695 de 2024.

Viabilidad del proyecto

Tabla 2

Criterios de factibilidad del proyecto

Criterio	Factibilidad (siendo 1 menor y 5 mayor)
Acceso a la información	4
Apoyo e interés de la alta dirección	5
Disponibilidad de recursos requeridos	5
Probabilidad de avance en el tiempo establecido	4
Tamaño de la empresa para soportar y desarrollar el plan de mejora a proponer	4
Promedio	4,4

Nota: Evaluación de Viabilidad del proyecto de investigación.

La EFR es miembro permanente de la Mesa de Articulación Interinstitucional BIM (MAI BIM), establecida por la Resolución 20243040050505 del 17 de octubre de 2024 del Ministerio de Transporte. Coordinada por la UPIT, integra entidades públicas, universidades, sector privado y proveedores tecnológicos para definir estándares IFC, protocolos de implementación y modelos de gobernanza digital. Desde su conformación, la MAI BIM ha producido guías metodológicas, manuales de buenas prácticas y documentos técnicos publicados en la plataforma UPIT, facilitando el acceso público a directrices sobre modelación, interoperabilidad y gestión de datos (UPIT, 2024). La participación estratégica de la EFR en comités técnicos y sesiones de validación garantiza la adecuación de estos lineamientos al contexto regional y fortalece su capacidad para incorporar BIM en proyectos clave.

La Subdirección de Integración y Sostenibilidad incluye en su Plan de Acción 2025 la participación en la Mesa de Articulación MAI BIM, la ejecución de proyectos piloto con herramientas georreferenciadas y la capacitación del personal en estándares digitales, consolidando el liderazgo de la EFR en la transición tecnológica del sector transporte (Empresa Férrea Regional SAS, Plan de Acción 2025).

Según el Manual de Gestión de Proyectos, Supervisión e Interventoría de la EFR (2024, sección 3.2), el esquema de seguimiento a los proyectos se centra en informes mensuales de avance y comités de seguimiento para analizar indicadores de alcance, tiempo, costo, calidad y riesgos. La **Subdirección de Integración, Sostenibilidad y Entorno** complementa este esquema incorporando el análisis ambiental, social, predial y de tránsito a través de reportes georreferenciados que facilitan la identificación de interferencias y riesgos específicos. El Plan de Acción 2025 fortalecerá aún más el seguimiento mediante reuniones de validación interdisciplinarias, reportes de avance semanales y auditorías internas trimestrales, garantizando así la supervisión efectiva de los proyectos masivos de la EFR (Empresa Férrea Regional SAS, Plan de Acción 2025).

Marco institucional

La Empresa Férrea Regional S.A.S. (EFR) es una Empresa Industrial y Comercial del Estado (EIC) adscrita a la Gobernación de Cundinamarca, constituida mediante escritura pública No. 1280 del 15 de diciembre de 2010. Como ente gestor de Movilidad Urbana Sostenible, la EFR lidera la planificación, estructuración, construcción, operación y mantenimiento de proyectos masivos de transporte, alineándose con las políticas del Ministerio de Transporte y los lineamientos de la UMUS para garantizar cofinanciación,

cumplimiento de estándares de accesibilidad universal y sostenibilidad ambiental (UMUS, 2024; Ley 1508 de 2012).

En su calidad de EIC², la EFR no solo ejecuta infraestructura física, sino que también ofrece servicios de consultoría y asesoría técnica, gestiona alianzas público-privadas y estructura fideicomisos para proyectos de gran envergadura (Departamento Nacional de Planeación, 2020). Su modelo de negocio combina recursos públicos y privados mediante concesiones, contratos de obra y esquemas de APP, orientado a la rentabilidad social y financiera del transporte regional.

Mediante actos administrativos internos (Resolución No. 016 de 2015 y Resolución No. 012 de 2022) se estableció la misión, visión, objetivos institucionales y mapa de procesos, fundamentados en la transparencia, eficiencia y sostenibilidad. La misión institucional es “*gestionar e implementar sistemas de transporte regional sostenibles, seguros y eficientes que transformen la vida de las personas*” mientras que la visión proyecta para 2030 “*ser líderes en la gestión y operación de sistemas de transporte regional innovadores, sostenibles y modernos que contribuyan al desarrollo social y económico del territorio*” (Empresa Férrea Regional SAS, Plan Estratégico 2024, 2024).

Ilustración 1

Mapa de procesos EFR

² Empresa industrial y comercial



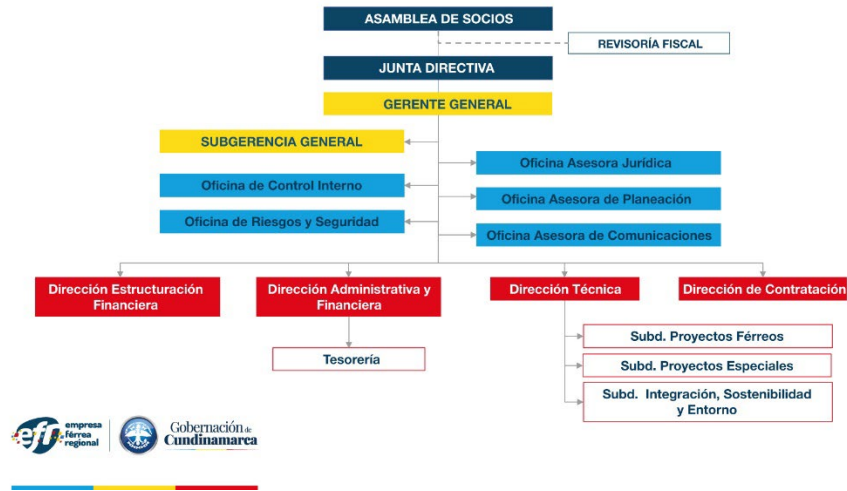
Nota: Imagen descriptiva Mapa de Procesos Estratégicos, Misionales, de Apoyo y de evaluación de la EFR, Tomado de (Empresa Férrea Regional , 2024)

Entre sus referentes estratégicos destacan el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026; el Plan Departamental de Desarrollo Cundinamarca 2024–2028 “Gobernando más que un Plan” (Gobernación de Cundinamarca, 2023); los documentos CONPES de Movilidad Urbana; la Estrategia Nacional BIM 2020–2026; y el Modelo Integrado de Planeación y Gestión (MIPG), que orientan sus procesos hacia la eficiencia, transparencia y participación ciudadana (Ministerio de Transporte, 2024; Estrategia Nacional BIM 2020–2026, 2020; Gobernación de Cundinamarca, 2023).

Cuenta con una estructura orgánica conformada por Gerencia General, Direcciones Técnica, Administrativa y Financiera, Oficina Jurídica y subdirecciones especializadas (EFR, 2023). Supervisa proyectos como Regiotram de Occidente y TransMilenio Soacha, priorizados en el Plan Departamental de Desarrollo 2024–2028 y declarados de importancia estratégica en CONPES 3902 y 3882 de 2017.

Ilustración 2

Estructura Organizacional EFR



Nota: Estructura de Desglose Organizacional de la Empresa Férrea Regional. Tomado de (Empresa Férrea Regional, 2024)

A continuación, se describen los proyectos a cargo de la EFR los cuales forman parte de su misionalidad:

1 Regiotram de Occidente

El Regiotram de Occidente es un tren ligero de 39,6 km que conectará el centro de Bogotá con Funza, Mosquera, Madrid y Facatativá, con 17 estaciones las cuales están repartidas 2 por municipio y 9 en Bogotá, el Regiotram tiene capacidad para 130 000 pasajeros/día y tendrá una inversión de 3.6 Billones de pesos Colombianos. Su funcionamiento es por sistemas de eléctricos de catenaria lo que lo hace un sistema Ecológico con el medio ambiente, además de construirse sobre la actual vía del tren lo cual evita nuevos impactos ambientales y lo exime de licencia ambiental Según Decreto 510 de 2024 (Empresa Férrea Regional SAS, Informe de Rendición de Cuentas 2024, 2024).

2 TransMilenio a Soacha Fases II y III

Con la extensión de Transmilenio Soacha Fase II y III se atenderá una demanda de **400.000 pasajeros/día**. El proyecto tiene una longitud total de 4,4 km distribuidos en dos fases:

FASE II: Extensión 1.3 km

- Construcción puente vehicular Calle 22.
- Construcción de dos estaciones sencillas.
- Construcción de una estación intermedia.

FASE III: Extensión 3.1 km - Construcción de dos estaciones sencillas.

- Construcción Patio Portal El Vínculo.
 - Área de intervención 110.000 m²
 - -Capacidad para 296 buses (entre articulados [136] y biarticulados [160])
 - -9 plataformas de parada para servicio intermunicipal.
 - -6 plataformas de parada para buses articulados y biarticulados
 - Patio portal de los más grandes del sistema Transmilenio.
- Construcción de 4 puentes peatonales.

(Empresa Férrea Regional SAS, Informe de Gestión EFR 2024, 2024).

3 Regiotram del Norte

En fase de prefactibilidad, el Regiotram del Norte proyecta un tren ligero de 40 km entre Bogotá y Zipaquirá, con 12 estaciones y demanda estimada de 60 000 pasajeros/día. El estudio contempla inversión de COP 1,5 billones. (Empresa Férrea Regional SAS, Plan Estratégico 2024, 2024).

Marco de Referencia

Colombia se caracteriza por una alta concentración de población en sus áreas metropolitanas, especialmente en la Región Metropolitana de Bogotá y los corredores regionales de Cundinamarca. En estos entornos, la movilidad masiva —tanto ferroviaria como mediante sistemas BRT (Bus Rapid Transit)— es esencial para garantizar la conectividad entre zonas urbanas y suburbanas, facilitar el acceso a empleo, educación y servicios, y mitigar la congestión vehicular y la contaminación atmosférica (Ministerio de Desarrollo Urbano, 2021). La Empresa Férrea Regional (EFR), como Empresa Industrial y Comercial del Estado adscrita a la Gobernación de Cundinamarca, tiene la misión de planificar, estructurar, ejecutar y supervisar la infraestructura de transporte masivo, alineándose con los planes sectoriales del Ministerio de Transporte y los lineamientos de la UMUS.

El sector de movilidad urbana sostenible en Colombia ha experimentado una transformación profunda en las últimas dos décadas. Entre 2000 y 2020, la población metropolitana creció un 25 %, concentrando más del 80 % de los habitantes en ciudades principales (DANE, 2023). Este auge demográfico, junto con el aumento de la motorización, impulsó inversiones anuales superiores a USD 800 millones en sistemas de transporte masivo —desde corredores BRT hasta líneas férreas de alta demanda— financiadas con recursos públicos y alianzas público-privadas (Ministerio de Transporte, 2024).

Los primeros corredores BRT, como TransMilenio en Bogotá (2000), demostraron que un sistema de autobuses sobre carriles exclusivos podía reducir tiempos de viaje en un 40 % y mejorar la accesibilidad (TransMilenio S.A., 2021). Posteriormente, Medellín (2010) y Cali (2008) implementaron modelos adaptados a su topografía y escala poblacional. Actualmente, más de 1 000 km de corredores BRT y más de 200 km de líneas férreas

cubren las principales áreas urbanas, transportando casi 8 millones de viajes diarios (Ministerio de Transporte, 2024).

La Ley 1508 de 2012 formalizó las APP como mecanismo de financiación de grandes obras de infraestructura, mientras la Ley 105 de 1993 y sus decretos reglamentarios definieron competencias de autoridades nacionales y territoriales en transporte urbano (Ley 105 de 1993). La creación de la UMUS en 2019 fortaleció la coordinación interinstitucional, estableciendo criterios para accesibilidad universal, reducción de emisiones y gobernanza urbana (UMUS, Resolución 20243040018695, 2024). Los POT y planes departamentales incorporan lineamientos que garantizan la integración modal, la zonificación de estaciones y la protección de corredores de movilidad (DNP, 2020).

Los principales actores del sector incluyen:

- **Ministerio de Transporte y UMUS:** lideran políticas, cofinancian y supervisan proyectos.
- **Entes Gestores Locales (IDU, TransMilenio S.A., Metrocali, Metro de Medellín, Metro Bogotá y EFR):** planifican, estructuran, contratan y operan los sistemas bajo esquemas de concesión y APP.
- **Sector Privado y Academia:** aportan ingeniería, tecnología (modelación BIM/SIG) y formación técnica.

Este ecosistema colaborativo ha permitido la creación de fideicomisos y bonos verdes para asegurar el mantenimiento y expansión de la red, con mecanismos de evaluación continua mediante indicadores de desempeño y satisfacción del usuario.

Tipologías, Cobertura y Financiamiento

Tabla 3

Tipologías, Cobertura y Financiamiento

Tipología	Descripción	Red (aprox.) Viajes diarios	
BRT	Carriles exclusivos, estaciones con plataforma y recaudo electrónico	600 km	5 millones
Metro	Líneas férreas automatizadas con alta frecuencia	200 km	1,5 millones
Tren ligero	Sistemas ferroviarios con menores impactos civiles	100 km	0,8 millones
Cercanías	Servicios urbanos–interurbanos en ejes de cercanías	40 km proy.	0,5 millones

Nota: Esta tabla describe de manera general los tipo de sistemas de Transporte Masiva y su covetura así como su capacidad promedio diaria.

El financiamiento combina recursos del Presupuesto General de la Nación, cofinanciación territorial, valorización, peajes y esquemas APP. Estudios del BID estiman que cada dólar invertido en transporte masivo genera USD 4 de beneficio económico y reduce emisiones de CO₂ en un 12 % anual (BID, 2022). Sin embargo estos sistemas también presentan retos en su estructuración, construcción, ejecución y Mantenimiento como lo son principalmente:

1. **Integración Modal:** conectar BRT, metro, tren ligero, ciclovías y transporte zonal mediante nodos intermodales.
2. **Gestión Predial:** agilizar procesos prediales, evitando demoras de hasta 36 meses como en el Regiotram de Occidente.
3. **Interoperabilidad Tecnológica:** estandarizar IFC, CAD y SIG para modelación integral y seguimiento.
4. **Financiamiento Sostenible:** fomentar bonos verdes y esquemas de tarifa fija que garanticen operación y mantenimiento.
5. **Participación Ciudadana:** fortalecer consultas previas y control social para mejorar la legitimidad de los proyectos.

Para consolidar una movilidad urbana sostenible en Colombia, es esencial articular planificación estratégica, innovación tecnológica y gobernanza inclusiva, de la mano de metodologías como BIM que integren todo el ciclo de vida de la infraestructura.

Por lo anterior se analiza la forma de adopción de la metodología BIM en el mundo y como esta ha contribuido a optimizar los procesos de seguimiento y supervisión de los proyectos de transporte, mejorando la planificación, el control de costos y la detección temprana de desviaciones, esto teniendo en cuenta las fases de planeación estratégica, supervisión contractual y puesta en marcha de los proyectos de transporte masivo, evaluando:

- **Modelo BIM de gestión:** Diseño y validación del *BIM Execution Plan* (BEP) y cláusulas contractuales que integren cronograma (4D), costos (5D) y control de calidad (6D).
- **Madurez BIM institucional:** Nivel de adopción de procesos, estándares y competencias técnicas dentro de las entidades y empresas que aplican esta metodología.
- **Flujos de información y gobernanza:** Articulación interfuncional entre especialidades técnicas y estructuras de gobierno de proyectos.

A nivel internacional, la incorporación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura de transporte ha sido liderada por gobiernos que reconocieron tempranamente su potencial para transformar la forma de planificar, diseñar, construir y operar sistemas complejos. En el Reino Unido, la *Government Construction Strategy* de 2011 estableció la obligatoriedad del BIM Nivel 2 en todos los contratos públicos a partir de

2016, impulsando un enfoque colaborativo en el que diseñadores, constructores y operadores compartieron un modelo digital único, lo cual derivó en ahorros promedio superiores al 20 % en costos y reducciones significativas en plazos de entrega (Office of Government Commerce, 2011). Este mandato fue acompañado por la creación del *BIM Task Group*, órgano intersectorial que desarrolló estándares, guías de implementación y programas de formación para garantizar la adopción uniforme de la metodología.

En España, el Real Decreto 1515/2018 constituyó la Comisión Interministerial BIM, encargada de promover la utilización de BIM en la contratación pública de infraestructuras civiles y edificios estatales. Desde julio de 2019, BIM se exige en grandes obras de ingeniería civil y edificación pública, con la meta de mejorar la gestión documental, la calidad de los procesos y la sostenibilidad de los activos, así como de facilitar el mantenimiento a largo plazo mediante gemelos digitales (Gobierno de España, 2018). A su vez, la UE, a través del *EU BIM Task Group* (2017), publicó el *Manual para la introducción de BIM por el sector público europeo*, que ofrece un marco estratégico, casos de éxito y recomendaciones técnicas para estandarizar el uso de formatos abiertos como IFC y protocolos de intercambio de información.

En América Latina la adopción de BIM ha crecido rápidamente en la última década, con iniciativas nacionales que buscan cerrar brechas tecnológicas y mejorar la eficiencia en obras públicas. Chile, pionero regional, lanzó el *Planbim* en 2019 bajo el alero de CORFO; este programa estableció el *Estándar BIM para Proyectos Públicos*, acompañado de guías sectoriales y un plan de capacitación masiva, con el objetivo de lograr la implementación de BIM en el 100 % de los proyectos estatales para 2025 (CORFO, 2019). La experiencia chilena ha demostrado beneficios en la coordinación multidisciplinaria y en la detección temprana de interferencias, que reducen modificaciones durante la construcción.

En Perú, el Ministerio de Economía y Finanzas presentó su *Plan BIM Perú* en abril de 2023, definiendo rutas críticas, niveles de madurez y requisitos contractuales que harán obligatorio el uso de BIM en inversiones públicas a partir de 2026 (MEF, 2023). Este plan contempla un enfoque gradual, iniciando con proyectos piloto en transporte, salud y educación, y estableciendo alianzas con universidades y gremios para desarrollar capacidades locales.

Colombia, por su parte, adoptó en 2020 la *Estrategia Nacional BIM*, impulsada por el Ministerio de Transporte, que fija metas progresivas: BIM en el 35 % de proyectos cofinanciados por el gobierno para 2023, el 85 % en 2025 y el 100 % para 2026. Además de estandarizar formatos y procesos, la estrategia promueve la creación de la *Mesa de Articulación Interinstitucional BIM* (MAIBIM) y requiere la incorporación de BIM en convenios de cofinanciación de sistemas de transporte masivo, lo que fortalece la coordinación entre entidades territoriales, organismos multilaterales y sector privado (Ministerio de Transporte, 2020). Estas iniciativas regionales reflejan un avance decidido hacia la digitalización de la gestión de infraestructura y establecen un marco sólido para la adopción de BIM en proyectos de alta complejidad como metros, tranvías y corredores férreos regionales.

Dentro de estas iniciativas se han presentado de igual forma tanto beneficios como oportunidades de mejora en la implementación de la Metodología BIM como:

- Beneficios medidos: De acuerdo con la Guía básica BIM para funcionarios públicos de la CAF (2023), la aplicación de BIM en proyectos de infraestructura ha permitido registrar reducciones promedio del 10 % en los costos directos de construcción, debido principalmente a la detección temprana de interferencias y a una mejor estimación de cantidades (5D). Además, los proyectos implementados bajo modelos BIM demostraron una disminución aproximada del 7 % en los tiempos de ejecución

—gracias a la simulación 4D que facilita la planificación logística y la optimización secuencial de actividades— y una reducción cercana al 40 % en los cambios no previstos o órdenes de cambio en sitio, lo que ha traducido en menores interrupciones de obra y en un uso más eficiente de los recursos humanos y materiales.

- Oportunidades de mejora: Varios estudios regionales —incluyendo el informe del BID (Baptista et al., 2024) y análisis de la Cámara Colombiana de la Infraestructura (CCI, 2022)— resaltan que, a pesar de los beneficios potenciales, la adopción de BIM enfrenta importantes oportunidades de mejora. En primer lugar, existe una poca articulación interinstitucional, donde diferentes entidades públicas aún no alinean sus estándares y protocolos, lo que dificulta la interoperabilidad de los modelos digitales. En segundo lugar, persisten brechas de capacidad técnica y administrativa: muchas oficinas carecen de personal capacitado en procesos BIM y de unidades especializadas (BIM Managers) que coordinen la estrategia. Finalmente, se evidencia una falta de extensión del uso de BIM hacia la fase de mantenimiento post-entrega, impidiendo aprovechar el gemelo digital para la gestión de activos a largo plazo, como lo requieren las concesiones de transporte masivo.

Definiciones conceptuales

Tabla 4

Definiciones Conceptuales de Referencia

Concepto	Definición	Fuente
BIM(Building Information Modeling)	Metodología colaborativa que integra información geométrica, temporal, costos, sostenibilidad y mantenimiento en un modelo digital único (CAF, 2023).	CAF (2023)

Plan de Ejecución BIM (BEP)	Documento contractual que detalla los usos, procesos, niveles de detalle, roles y entregables BIM requeridos para cada fase del proyecto (Autodesk, 2021).	Autodesk (2021)
Madurez BIM institucional	Grado de adopción de BIM en la organización, medido por la existencia de estándares, competencias, infraestructura y gobernanza para su implementación (Ministerio de Transporte, 2020).	Ministerio de Transporte (2020)
4D(Modelado 4D)	Extensión de BIM que incorpora la dimensión temporal, permitiendo la simulación y análisis de la secuencia constructiva en el cronograma (PMI, 2021).	PMI (2021)
5D (Modelado 5D)	Ampliación de BIM que integra información de costos y cantidades, facilitando estimaciones y control financiero en tiempo real (BID, 2024).	BID (2024)
6D (Modelado 6D)	Fase BIM que añade información de sostenibilidad y gestión de activos, incluyendo mantenimiento y ciclo de vida del proyecto (Gobierno de España, 2018).	Gobierno de España (2018)
Seguimiento de proyectos	Conjunto de actividades para monitorear y controlar el avance físico, financiero y técnico de la obra, incluyendo revisiones periódicas y reportes de desviaciones (MA-EFR-GC-002, 2024).	EFR (2024)
Supervisión de contratos	Actividades técnicas, administrativas y jurídicas de verificación del cumplimiento de las cláusulas contractuales y normativas aplicables en las obras (Ley 1474/2011; MA-EFR-GC-002).	Ministerio de Transporte (2019)

Gemelo digital (Digital Twin)	Representación digital actualizada de un activo real que integra datos en tiempo real para gestión de operaciones y mantenimiento (EU BIM Task Group, 2017).	EU BIM Task Group (2017)
Contrato integrado	Modalidad contractual que integra diseño y construcción bajo una sola adjudicación, fomentando colaboración temprana y responsabilidades compartidas, especialmente relevante para proyectos BIM (Office of Government Commerce, 2011).	Office of Government Commerce (2011)

Nota: Esta tabla relaciona la terminología clave para una mejor comprensión y entendimiento de la Metodología BIM

Bases teóricas

Teoría de gestión de proyectos (PMBOK): El PMBOK (Project Management Body of Knowledge) del Project Management Institute (PMI, 2021) define un ciclo de vida de proyecto estructurado en procesos de inicio, planeación, ejecución, seguimiento y cierre. Esta teoría proporciona un marco metodológico probado para la administración de proyectos complejos, enfatizando la importancia de la integración de conocimientos, la gestión de alcance, los cronogramas y los costos. Al incorporar BIM en este contexto, se fortalece particularmente el área de seguimiento y control, pues el modelo digital colaborativo permite visualizar en tiempo real la evolución de las actividades, gestionar los plazos (4D) y costos (5D) de forma simultánea, y observar indicadores de desempeño con mayor precisión. De esta manera, BIM complementa los procesos PMBOK al ofrecer un entorno de datos centralizado que reduce incertidumbres y mejora la toma de decisiones basadas en información actualizada y confiable (PMI, 2021).

Enfoque de gestión de riesgos: La teoría de gestión de riesgos aplicada a proyectos de construcción y transporte masivo reconoce la identificación, análisis y tratamiento de los riesgos como clave para la sostenibilidad del proyecto (BID, 2024). BIM ofrece herramientas de detección temprana de interferencias —por ejemplo choques entre redes subterráneas, estructuras y equipamiento— antes de iniciar la obra, minimizando eventos no planeados. Esto se traduce en una reducción de riesgos técnicos y contractuales, pues los modelos 3D federados generan reportes automáticos de colisiones y permiten simular escenarios de ejecución alternativos. Asimismo, la capacidad de vincular información de costos y plazos a estos riesgos facilita la evaluación de impactos financieros y temporales, promoviendo la planificación de medidas preventivas y la gestión de contingencias. En consecuencia, BIM se constituye en un mecanismo proactivo de mitigación, alineado con los principios de la gestión integral de riesgos del sector (BID, 2024).

Teoría de información y colaboración: Desde la perspectiva de la gestión del conocimiento y la colaboración organizacional, la teoría de información (OGC, 2011) postula que la calidad y accesibilidad de los datos influyen directamente en la eficiencia de la toma de decisiones. BIM, al centralizar todas las disciplinas (arquitectura, estructuras, instalaciones y mantenimiento) en un mismo repositorio digital, configura un entorno de colaboración intensiva donde cada agente accede a una única fuente de la verdad. Modelos de control centralizado, similares a las salas de mandos, integran paneles de información gráfica y analítica que alimentan a los comités de dirección y a los equipos técnicos, optimizando procesos de consulta y coordinación simultánea. La reducción de malentendidos y la transparencia en el flujo de información fortalecen la cohesión interfuncional y aceleran la resolución de conflictos, permitiendo a la organización actuar con agilidad ante desviaciones o cambios del entorno (OGC, 2011; Autodesk, 2021).

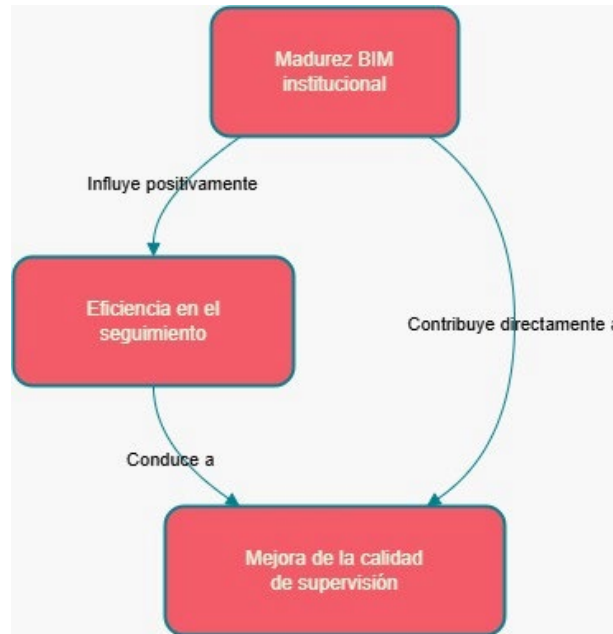
Variables/constructos:

1. **Madurez BIM institucional:** Grado en que la EFR ha integrado formalmente la metodología BIM en sus procesos internos, mediante la adopción de estándares internacionales (ISO 19650), la capacitación y certificación de su personal, el establecimiento de protocolos de modelado y la implementación de infraestructuras tecnológicas que soportan el intercambio y control de los modelos digitales.
2. **Eficiencia en seguimiento:** Capacidad de monitorear y controlar el avance de los proyectos en tiempo y costo, midiendo la relación entre las desviaciones reales y las planificadas. Incluye indicadores como porcentaje de cumplimiento de hitos, variación de costos prevista vs. real, velocidad de actualización del cronograma y rapidez de respuesta ante desvíos detectados.
3. **Calidad de supervisión:** Nivel de efectividad del proceso de supervisión de contratos y obras, reflejado en la cantidad y relevancia de hallazgos técnicos tempranos, el porcentaje de órdenes de cambio asumidas antes de iniciar la ejecución y la mejora en la conformidad de entregables. Se mide mediante la reducción de correcciones y la satisfacción de requisitos contractuales.

La **madurez BIM institucional** influye positivamente en la **eficiencia en seguimiento** y mejora la **calidad de supervisión**.

Ilustración 3

Diagrama de Flujo de seguimiento y madurez BIM



Nota: En esta Ilustración se relaciona la Madurez BIM con la Eficiencia en el seguimiento y la mejora en la calidad de Supervisión

Justificación de la selección de teorías y conceptos

El enfoque metodológico de esta investigación integra de manera articulada tres perspectivas teóricas que, en conjunto, permiten sustentar la adopción de BIM en la Empresa Férrea Regional. En primer lugar, el PMBOK (Project Management Body of Knowledge) del Project Management Institute aporta un marco sistemático para gestionar proyectos complejos mediante procesos estandarizados de inicio, planificación, ejecución, seguimiento y cierre. Esta estructura facilita la incorporación de fases 4D y 5D del modelo BIM, al proporcionar directrices claras para la definición de entregables, la programación de actividades y el control de costos, asegurando que la información geométrica y temporal del proyecto se integre de forma sincronizada con los procedimientos de gestión tradicionales.

En segundo lugar, la teoría de gestión de riesgos, basada en los lineamientos del Banco Interamericano de Desarrollo, resalta la necesidad de anticipar y mitigar eventos adversos

desde las etapas tempranas del ciclo de vida del proyecto. BIM potencia esta capacidad al generar de manera automatizada reportes de interferencias y permitir simulaciones de diferentes escenarios constructivos, lo que contribuye a diseñar estrategias preventivas robustas frente a riesgos técnicos, contractuales y económicos. Al vincular los datos de costos y cronogramas con los análisis de riesgos, se promueve una mirada proactiva que reduce las desviaciones presupuestales y evita interrupciones onerosas.

Por último, la teoría de información y colaboración extrae principios del Open Geospatial Consortium y de la Comisión Interministerial BIM de España, enfatizando la importancia de centralizar los datos en un repositorio unificado que funcione como fuente única de verdad. Este modelo federado favorece la transparencia, la trazabilidad de las modificaciones y la coordinación eficiente entre todas las subdirecciones de la EFR y los actores externos involucrados. Al adoptar esta visión colaborativa, la entidad fortalece su capacidad para gestionar proyectos de infraestructura masiva con agilidad y basar sus decisiones en información confiable y actualizada.

Diseño Metodológico

El diseño metodológico presenta un marco estructurado y basado en buenas prácticas internacionales para guiar la implementación efectiva de BIM en entidades públicas de transporte masivo, especialmente ferroviario. Incluye modelos de diagnóstico de madurez, fases alineadas con estándares como la ISO 19650, casos de estudio, y una guía paso a paso adaptada al contexto de la Empresa Férrea Regional. La propuesta contempla aspectos técnicos, institucionales y normativos, instrumentos de evaluación, indicadores de seguimiento, así como riesgos, limitaciones y vacíos del estudio.

Sin embargo, previo a la adopción de BIM, es esencial evaluar el nivel de preparación y *madurez BIM* de la organización. Existen diversos **modelos de diagnóstico y madurez** que ayudan a identificar capacidades actuales y brechas a cerrar. Por ejemplo, la *Matriz de Madurez BIM* del Dr. Bilal Succar (BIMe Initiative) define la madurez BIM como la mejora gradual y continua de la calidad, repetibilidad y predictibilidad en las capacidades BIM de una organización. Este modelo propone cinco niveles de madurez que permiten evaluar dimensiones como procesos, tecnologías y capital humano. Herramientas derivadas de este enfoque facilitan un diagnóstico estructurado. De hecho, la guía de **Hoja de Ruta BIM** de Camacol recomienda la implementación de una matriz de madurez BIM y un diagnóstico de la compañía en cuatro áreas: (1) *núcleo del negocio*, (2) *procesos internos*, (3) *capacidades del equipo (roles)* y (4) *infraestructura tecnológica* (Camacol). Este análisis preliminar identifica fortalezas y debilidades, sirviendo de base para planificar la estrategia de BIM.

Además del modelo de Succar, existen otras metodologías reconocidas para evaluar la madurez BIM. El modelo de la Universidad de Penn State se enfoca en propietarios de infraestructura, analizando estándares, flujos de trabajo y competencias (Computer Integrated Construction Research Group, s.f.). La herramienta BMAT ofrece un análisis comparativo de métodos para medir la madurez y los beneficios del BIM, incluyendo recomendaciones para su mejora (Kassem et al., 2020). Asimismo, la “Common BIM Performance Level” de la Unión Europea define criterios mínimos para proyectos públicos, basados en estándares existentes (EU BIM Task Group, 2017). Estas metodologías utilizan encuestas y matrices para evaluar aspectos como gobernanza de datos y experiencia previa. En resumen, un diagnóstico inicial de madurez permite a la entidad conocer su punto de partida –en términos técnicos, organizacionales y normativos– para así trazar objetivos realistas de implementación. Por lo cual se busca aplicar este diagnóstico mediante una

investigación que se articula bajo un **diseño mixto concurrente** que permite la recolección simultánea de datos numéricos y narrativos. La **fase cuantitativa** entrevistas a líderes, encuestas al personal técnico y revisión documental, obteniendo un índice de madurez que oriente las siguientes fases del plan.

La implementación efectiva de BIM requiere una hoja de ruta por fases, con hitos definidos y alineación con estándares internacionales. En Colombia, la guía del BIM Forum (Camacol) propone cinco etapas secuenciales, inspiradas en la metodología PMI, que van desde la planificación estratégica hasta la operación sostenible (BIM Forum Colombia, 2020). Cada fase incluye pasos detallados y recomendaciones basadas en experiencias previas. En general, estas fases orientan la adopción progresiva de BIM en entidades públicas.

- 1. Inicio y Planeación Estratégica:** La primera fase implica el compromiso de la alta dirección, designando un promotor BIM y un patrocinador ejecutivo para liderar el proceso (Hoja de Ruta, Camacol, 2020). Se formula la visión BIM alineada con los objetivos institucionales, se definen expectativas y se elabora el plan maestro de implementación. Además, se identifican los requerimientos normativos aplicables, como lineamientos gubernamentales o mandatos para uso de BIM en contrataciones.
- 2. Diagnóstico y Preparación:** Esta fase incluye el diagnóstico de madurez, el análisis de casos de éxito y el estudio de estándares relevantes. Se definen planes de capacitación inicial, se seleccionan herramientas piloto adecuadas y se estructuran equipos con roles BIM definidos. Además, se recomienda elaborar un Plan de Ejecución BIM (BEP) preliminar a nivel organizacional (Hoja de Ruta, Camacol, 2020).
- 3. Desarrollo de Protocolos y Estándares (Fase de Preparación Técnica):** En esta fase se desarrollan o ajustan los estándares BIM de la entidad, incluyendo protocolos de modelado, nomenclatura, niveles de detalle (LOD), formatos como IFC y control de cambios, en alineación con la norma ISO 19650 (Captiva Ingeniería, 2023). Esta

norma establece directrices para una gestión eficiente de la información durante el ciclo de vida del proyecto, promoviendo la colaboración, el uso de un Entorno Común de Datos (CDE) y roles específicos como el Gestor de Información. También se elaboran plantillas contractuales con requisitos de información (EIR), integrando BIM en los procesos de contratación pública.

4. **Implementación Piloto:** Se recomienda iniciar con proyectos piloto de alcance limitado para probar procesos y herramientas BIM. Por ejemplo, se puede modelar una estación en su totalidad, aplicando el BEP y utilizando un CDE colaborativo. Un caso exitoso es el de OFITECO en España, que implementó ISO 19650 en un piloto ferroviario, integrando al cliente mediante acceso al CDE para mejorar la transparencia (BuildingSmart, 2024). Estos pilotos permiten ajustar estrategias y resolver desafíos antes de escalar BIM a toda la organización.
5. **Evaluación, Ajuste y Escalamiento:** Tras el piloto, se evalúa el desempeño (lecciones aprendidas, beneficios logrados vs. esperados) y se ajustan los estándares o procesos según lo observado. Luego, la entidad puede escalar BIM gradualmente al resto de sus proyectos mayores, incorporando más disciplinas (p. ej., integrando BIM para fases de construcción y luego operación). En esta fase madura, BIM se convierte en la forma habitual de trabajo: se consolida la *oficina BIM* o equipo permanente de soporte, se actualizan políticas internas para requerir BIM en todos los nuevos proyectos, y se fomenta la mejora continua. Un elemento importante en esta etapa es asegurar la sostenibilidad de la metodología –mantener la capacitación continua, actualización tecnológica y adaptación a nuevas normas– de modo que BIM siga agregando valor a largo plazo.

Además de las fases de implementación, es fundamental alinear la metodología con estándares y guías internacionales como la ISO 19650, PAS 1192, el National BIM Standard

– US y la guía BIM de Singapur. Iniciativas como buildingSMART promueven estándares abiertos (IFC, BSDD) y certificaciones clave para la interoperabilidad. Gobiernos también han impulsado estrategias BIM: el Reino Unido logró ahorros del 15–20% en costos de capital (Department for Business, Innovation & Skills, 2012); España estructuró su transición con es.BIM (Comisión Interministerial BIM, s.f.); Chile lidera con Planbim desde 2016 (Global BIM Network, 2022); y Colombia ha desarrollado lineamientos a través del Ministerio de Vivienda, BIM Forum y entidades como la ANI e IDU. Según el BID, estos marcos permiten unificar criterios públicos y brindar previsibilidad al sector (Lacaze, 2021). Por ello, se propone que la metodología se articule con este ecosistema BIM regional y global.

A partir de la revisión teórica y empírica anterior, se presenta una **propuesta metodológica** estructurada para guiar a la *Empresa Férrea Regional (EFR)* en la adopción efectiva de BIM. Esta propuesta se enfoca en proyectos de transporte masivo ferroviario e integra componentes de diagnóstico, planificación por fases, consideraciones técnico-institucionales, indicadores de seguimiento y un plan paso a paso. El objetivo es ofrecer un *plan de implementación* claro, práctico y fundamentado en las mejores prácticas, adaptado al contexto colombiano que incluye la Estrategia Nacional BIM 2020–2026 del Ministerio de Transporte (2020), que fija metas de adopción progresiva y exige el cumplimiento de la ISO 19650.

Modelo de Diagnóstico Inicial (Variables y Herramientas)

El primer componente es un **modelo de diagnóstico BIM** diseñado para evaluar la situación actual de la EFR en cuanto a preparación para BIM. Dicho modelo abarca variables clave en tres dimensiones:

- **Dimensión Técnica:** Evalúa las *capacidades tecnológicas* de la entidad. Disponibilidad de software BIM, Infraestructura de hardware, red, y estándares técnicos vigentes.
- **Dimensión Organizacional:** Analiza *procesos y personas*. Variables: nivel de conocimiento BIM del personal (encuesta sobre experiencia en BIM, % de empleados con capacitación), estructura organizacional y roles, procesos actuales de gestión de proyectos, cultura de colaboración, y apoyo directivo. Esta dimensión también cubre la disposición al cambio del equipo, identificando posibles “Profesionales BIM” internos.
- **Dimensión Normativa e Institucional:** Considera el *entorno externo y regulatorio*. Exigencias contractuales o normativas relevantes como la Estrategía Nacional BIM, y el CONPES 3975, alineamiento con políticas públicas, y marcos de referencia internacionales aplicables como la ISO 19659. También incluye la interacción con actores externos: contratistas, consultores y entes de control – ¿están ellos familiarizados con BIM? ¿Se cuenta con su apoyo o exigencia? Esta variable mide la *madurez del ecosistema* alrededor de la EFR.

Para recolectar información de estas variables se propone utilizar herramientas mixtas:

- (a) *Cuestionarios de autoevaluación* (basados en las matrices de madurez BIM existentes) para calificar procesos, políticas y conocimientos en una escala cualitativa
- (b) *Entrevistas semiestructuradas* con directivos y jefes técnicos para profundizar en percepciones, expectativas y identificar barreras específicas
- (c) *Revisión documental* de procedimientos, manuales y proyectos anteriores de la EFR para verificar el grado de digitalización y estandarización actual.

Un instrumento clave será la matriz de madurez BIM adaptada de BIMe Initiative, que asigna un nivel del 1 (inicial) al 5 (óptimo) a cada variable evaluada. Por ejemplo, en capacidades del equipo: nivel 1 implica desconocimiento total, nivel 3 corresponde a personal con capacitación básica y pilotos en curso, y nivel 5 a un equipo certificado con BIM plenamente integrado. Para procesos internos, el nivel 1 indica ausencia de gestión de información y el nivel 5 representa flujos de trabajo BIM consolidados con mejora continua. Esta evaluación permitirá identificar fortalezas y brechas en la EFR para orientar su implementación.

El resultado del diagnóstico inicial será un informe de línea base que resuma hallazgos y recomiende prioridades. Con esta base objetiva, se justifica mejor las acciones a emprender en la implementación y se pueden fijar metas concretas. Este diagnóstico también servirá para monitorear la evolución: se puede repetir periódicamente para medir el aumento de madurez con datos duros. En síntesis, el modelo de diagnóstico inicial actúa como punto de partida fundamentado, alineado con recomendaciones de guías como la Hoja de Ruta de BIM Forum Colombia.

Para garantizar una implementación exitosa, la EFR debe establecer indicadores clave de desempeño (KPIs) que permitan monitorear el progreso y cuantificar los beneficios del BIM. Estos se agrupan en cuatro categorías:

Indicadores de Adopción y Madurez Interna

- **Nivel de Madurez BIM:** Evaluar el índice de madurez organizacional periódicamente usando el modelo de diagnóstico.
- **Cobertura de BIM en proyectos:** Porcentaje del portafolio de proyectos que usan BIM.
- **Personal capacitado:** Porcentaje de empleados capacitados en herramientas o gestión BIM.

- **Satisfacción del equipo:** Encuestas sobre aceptación y percepción de beneficios del BIM.

Indicadores de Gestión de Información y Procesos

- **Uso del CDE:** Proyectos que operan con el Entorno Común de Datos y usuarios activos mensuales.
- **Protocolos implementados:** Número de manuales, plantillas y procesos BIM formalizados.
- **Tiempo de aprobación de información:** Comparativa entre proyectos BIM y tradicionales para medir eficiencia en revisiones y validaciones.

Indicadores de Desempeño en Proyectos

- **Detección temprana de interferencias:** Número y porcentaje de conflictos técnicos detectados en diseño gracias a BIM.
- **Variaciones de costo y plazo:** Reducción de sobrecostos y retrasos frente a promedios históricos (p. ej., el Reino Unido reportó ahorros del 15–20%; ver assets.publishing.service.gov.uk).
- **Productividad en diseño:** Duración de ciclos de diseño y número de iteraciones de revisión.
- **Calidad de información para operación:** Uso del modelo BIM en mantenimiento y operación, medido por tiempos de respuesta y acceso a datos.

Cada indicador debe tener una línea base (basada en datos históricos o en los proyectos piloto), una meta cuantitativa y un responsable de medición. Se recomienda consolidar estos KPIs en un **Cuadro de Mando BIM** dentro de la EFR, revisado trimestralmente por el Comité BIM. Así se identificarán áreas rezagadas para tomar acciones correctivas. Por ejemplo, si a los 6 meses se ve bajo uso del CDE, se puede reforzar capacitación o habilitar

incentivos. Adicionalmente, documentar los beneficios obtenidos ayuda a justificar la continuidad del programa: por ejemplo, si tras un año se reporta que *“gracias a BIM se ahorraron 10% en costos en el proyecto X”*, ese resultado debe registrarse y usarse para promover la metodología en otros proyectos y ante directivos.

Contribuciones originales esperadas

La presente investigación busca aportar de manera significativa a la consolidación de capacidades institucionales en la Empresa Férrea Regional (EFR) mediante la formulación de un plan de implementación de la metodología BIM, estructurado bajo los lineamientos del PMBOK del PMI y adaptado al contexto del sector público ferroviario. Como principal contribución, se propone una hoja de ruta estratégica que permitirá a la entidad transitar desde un estado inicial de madurez hacia la adopción progresiva de flujos de trabajo digitales, colaborativos y orientados a la gestión del ciclo de vida de los proyectos.

Entre los aportes internos, se destaca la definición de un equipo BIM estratégico con roles claramente establecidos, lo cual fortalece la gobernanza del conocimiento técnico y facilita la toma de decisiones informadas. Asimismo, el diagnóstico integral de procesos y capacidades actuales permite identificar brechas críticas y orientar acciones de mejora con base en evidencia. La estandarización de procedimientos mediante flujos de trabajo BIM y la estructuración de metas a corto, mediano y largo plazo contribuyen a mejorar la eficiencia operativa, reducir riesgos y optimizar la planificación y ejecución de proyectos ferroviarios.

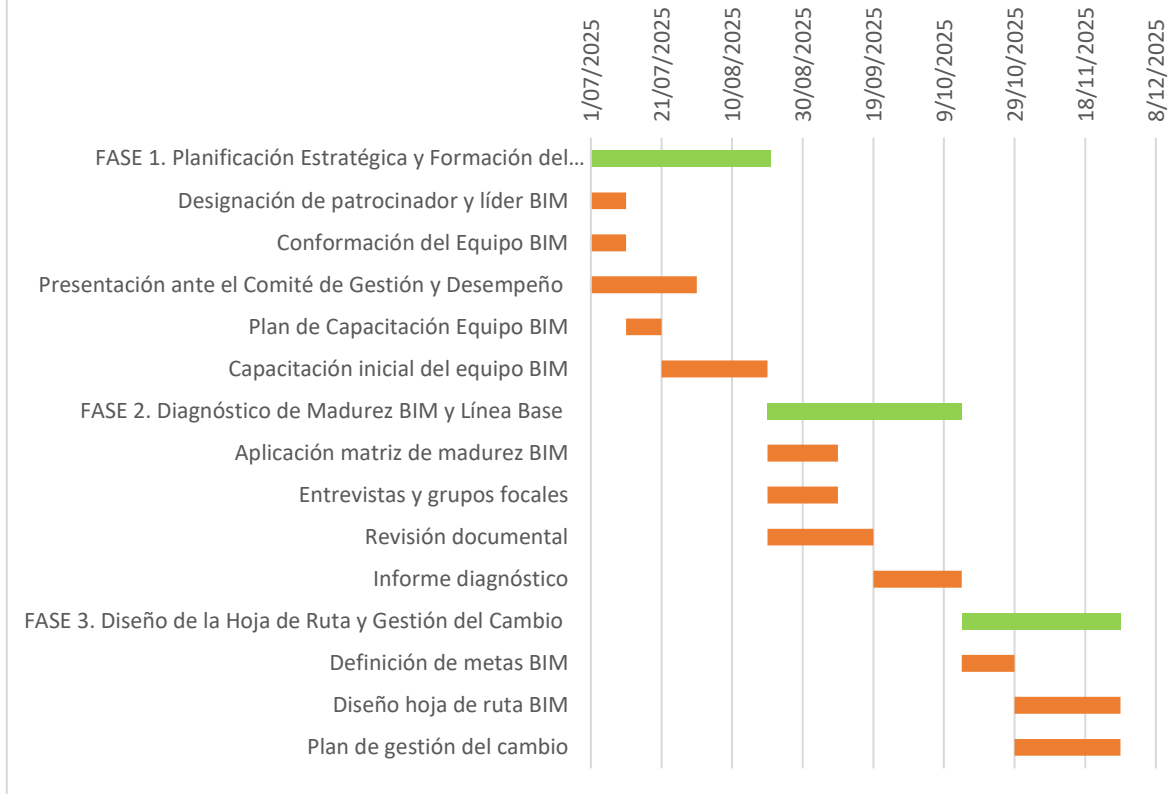
A nivel sectorial, la propuesta representa un modelo replicable para otras entidades públicas del país, fomentando la adopción de BIM en la infraestructura de transporte masivo y

promoviendo la interoperabilidad, la transparencia y el cumplimiento de estándares internacionales en la contratación y ejecución de obras públicas.

Cronograma

Actividad	Inicio	Fin	Duración meses
FASE 1. Planificación Estratégica y Formación del Equipo BIM	1/07/2025	20/08/2025	1,7
Designación de patrocinador y líder BIM	1/07/2025	11/07/2025	0,3
Conformación del Equipo BIM	1/07/2025	11/07/2025	0,3
Presentación ante el Comité de Gestión y Desempeño	1/07/2025	31/07/2025	1
Plan de Capacitación Equipo BIM	11/07/2025	21/07/2025	0,3
Capacitación inicial del equipo BIM	21/07/2025	20/08/2025	1
FASE 2. Diagnóstico de Madurez BIM y Línea Base	20/08/2025	14/10/2025	1,8
Aplicación matriz de madurez BIM	20/08/2025	9/09/2025	0,7
Entrevistas y grupos focales	20/08/2025	9/09/2025	0,7
Revisión documental	20/08/2025	19/09/2025	1
Informe diagnóstico	19/09/2025	14/10/2025	0,8
FASE 3. Diseño de la Hoja de Ruta y Gestión del Cambio	14/10/2025	28/11/2025	1,5
Definición de metas BIM	14/10/2025	29/10/2025	0,5
Diseño hoja de ruta BIM	29/10/2025	28/11/2025	1
Plan de Implementación BIM en la EFR	29/10/2025	28/11/2025	1
Total del Plazo			5

Diagrama de Gantt



Referencias

Unidad de Planeación de Infraestructura de Transporte (UPIT). (s.f.). *BIM - UPIT: Grupo 2 – Construcción para la adecuación al sistema TransMilenio de la Troncal Avenida Ciudad de Cali Tramo 1*. <https://upit.gov.co/bim/#:~:text=Grupo%202>

Autodesk. (s.f.). *BIM revoluciona la transformación del sector del ferrocarril en España: Línea 10 del Metro de Valencia, un caso de éxito*. <https://www.autodesk.com/es/customer-stories/typsaaautodesk.com>

Bentley Systems. (2019). *China Railway Sets Benchmark for Full-lifecycle BIM on Beijing-Zhangjiakou Rail Project*. <https://ko.bentley.com/wp-content/uploads/CS-China-High-Speed-Railway-LTR-EN-LR.pdf>

BIMCommunity. (2020, septiembre 23). *Sydney's North West Metro Project with BIM wins global ENR award*. <https://www.bimcommunity.com/sydney-s-north-west-metro-project-with-bim-wins-global-enr-award/>

Taylor, M. (2018). *Crossrail Project: Application of BIM (Building Information Modelling) and Lessons Learned*. Crossrail Learning Legacy.
<https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/crossrail-project-application-of-bim-building-information-modelling-and-lessons-learned/>

Agencia Nacional de Infraestructura (ANI). (2017, 9 de noviembre). *Convenio de Cofinanciación para el Proyecto Regiotram de Occidente*. <https://transparencia.ani.gov.co>

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2024). *Transformando la construcción en América Latina y el Caribe: digitalización e innovación como claves para la sostenibilidad*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Transformando-la-construccion-en-America-Latina-y-el-Caribe-digitalizacion-e-innovacion-como-claves-para-la-sostenibilidad.pdf>

Cámara Colombiana de la Infraestructura (CCI). (2022). *El BIM: una tendencia que llegó para quedarse*. <https://infraestructura.org.co/el-bim-una-tendencia-que-llego-para-quedarse>

Comisión Interministerial BIM, España. (2018). *Real Decreto 1515/2018, de 28 de diciembre, por el que se crea la Comisión Interministerial para la incorporación de la metodología BIM en la contratación pública* (BOE-A-2019-1368).
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-1368

Corporación Andina de Fomento (CAF). (2023). *Guía básica BIM para funcionarios públicos*. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2020>

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2020). *CONPES 3991: Política Nacional de Movilidad Urbana y Regional*.
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3991.pdf>

Gobierno de Colombia, Ministerio de Transporte. (2020). *Estrategia Nacional BIM 2020–2026*. <https://www.mintransporte.gov.co/Estrategia-Nacional-BIM>

Intelligent CIO LATAM. (2022, 12 de diciembre). *BIM technology to challenge for the construction and infrastructure sector in Colombia*.

<https://www.intelligentcio.com/latam/2022/12/12/bim-technology-to-challenge-for-the-construction-and-infrastructure-sector-in-colombia>

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2023). *Plan BIM Perú*.

<https://mef.gob.pe/planbimperu>

Ministerio de Transporte, Colombia. (2024, 17 de octubre). *Resolución UMUS 20243040050505*. <https://www.mintransporte.gov.co/UMUS-resoluciones>

Ministerio de Transporte, Colombia. (2024). *Mesa de Articulación Interinstitucional BIM (MAIBIM)*. <https://www.upit.gov.co/MAIBIM>

Office of Government Commerce (OGC), Reino Unido. (2011). *Government Construction Strategy*. Cabinet Office.

SYSTRA & Autodesk. (2021). *Bogotá metro project: A new urban transit ideal*.

<https://www.autodesk.com/design-make/articles/urban-transportation-planning>

Universidad de los Andes, Grupo de Investigación GIDeR. (2017). *Implementación de BIM en la infraestructura* [Tesis de maestría]. Repositorio Uniandes.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/17011>

Unidad de Movilidad Urbana Sostenible (UMUS). (2022, 14 de marzo). *Manual financiero para proyectos Regiotram de Occidente y TransMilenio Soacha II–III*.

<https://www.umus.gov.co/manual-financiero-bim.pdf>

World Economic Forum. (2017). *EU BIM Task Group: Manual para la introducción de BIM por el sector público europeo*. <https://ec.europa.eu/inea/sites/inea/files/eu-bim-task-group-manual.pdf>

Choclan Gámez F., Soler S., INTRODUCCION A LA METODOLOGÍA BIM., Universidad Politecnica de Madrid, [SpanishBIMJournal 1 Intro.metodologaBIM RJ.pdf](#)

González, D. M. (2024, November 28). Contraloría denunció irregularidades críticas en proyectos de infraestructura en Colombia. *Infobae*. [Contraloría denunció irregularidades críticas en proyectos de infraestructura en Colombia - Infobae](#)

Banco Interamericano de Desarrollo & Oficina de Evaluación y Supervisión. (2015). *Casos de Estudio Comparativo de Tres Proyectos de Transporte Urbano Apoyados por el BID* [Report]. Banco Interamericano de Desarrollo. <https://www.iadb.org/evaluacion>

Pardo, J. (2025, February 20). Regiotram de Occidente finalmente iniciará su construcción: el gobernador de Cundinamarca entregó detalles de las fechas en las que iniciarán las obras. *Infobae*. [Regiotram de Occid ente finalmente iniciará su construcción: el gobernador de Cundinamarca entregó detalles de las fechas en las que iniciarán las obras - Infobae](#)

INVIAS .(26, diciembre 2024). Consolidado de los informes de la Contraloría General de la República – Informes Colombia Rural <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/26-servicios-de-informacion-al-ciudadano/tramites-y-servicios/informes-de-seguimiento/5376-consolidado-de-los-informes-de-la-contraloria-general-de-la-republica>

Departamento Nacional de Planeación. (2002, 23 de mayo). Política para mejorar el servicio de transporte público urbano de pasajeros (Documento CONPES No. 3167). Bogotá, Colombia.

Departamento Nacional de Planeación. (2020, 14 de abril). Política Nacional de Movilidad Urbana y Regional (Documento CONPES No. 3991). Bogotá, Colombia.

Empresa Férrea Regional SAS. (2019). *Estatutos de la Empresa Férrea Regional S.A.S.*. <https://www.efr-cundinamarca.gov.co/sites/default/files/efr-pdf/estatutos.pdf>

Empresa Férrea Regional SAS. (2023). *Estructura orgánica*. <https://www.efr-cundinamarca.gov.co/estructura-organica-organigrama>

Empresa Férrea Regional SAS. (2024). *Informe de gestión EFR 2024*.
<https://www.efr-cundinamarca.gov.co/sites/default/files/efr-documentos/informe-de-gestion-2024.pdf>

Empresa Férrea Regional SAS. (2024). *Informe de rendición de cuentas 2024*.
<https://www.efr-cundinamarca.gov.co/sites/default/files/efr-documentos/informe-de-rendicion-cuentas-2024.pdf>

Empresa Férrea Regional SAS. (2024). *Misión y visión*. <https://www.efr-cundinamarca.gov.co/mision-vision>

Empresa Férrea Regional SAS. (2024). *Plan estratégico 2024*. <https://www.efr-cundinamarca.gov.co/sites/default/files/efr-documentos/plan-estrategico-2024.pdf>

Empresa Férrea Regional SAS. (n.d.). *Nuestra historia*. <https://www.efr-cundinamarca.gov.co/es/quienes-somos/nuestra-historia>

Camacol. (2021). Hoja de Ruta BIM Etapas A–E. Bogotá, Colombia: Cámara Colombiana de la Construcción. Recuperado de
[/08_Hoja_de_Ruta_BIM_CAMACOL.pdf](#)

International Organization for Standardization. (2018). ISO 19650-1:2018. Ginebra, Suiza: ISO. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/68078.html>

International Organization for Standardization. (2018). ISO 19650-2:2018. Ginebra, Suiza: ISO. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19650:-2:ed-1:v1:en>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). Programas de asistencia técnica para proyectos de infraestructura sostenible. Washington, DC: BID. Recuperado de
<https://www.iadb.org/es/programas-infraestructura-sostenible>

Corporación Andina de Fomento. (2022). Informe de cofinanciamiento para digitalización de infraestructura. Caracas, Venezuela: CAF. Recuperado de

<https://www.caf.com/es/servicios/cofinanciamiento>

Gerencia del Metro de Bogotá. (2023). Informe de madurez BIM en el Metro de Bogotá. Bogotá, Colombia: Autor. Recuperado de

<https://www.metrodebogota.gov.co/innovacion/bim>

Departamento de Planeación de Metro de Medellín. (2023). Informe de implementación BIM en Metro de Medellín. Medellín, Colombia: Autor. Recuperado de

<https://www.metrodemedellin.gov.co/servicios/bim>

Empresa de Transporte Masivo de Ayacucho. (2022). Reporte de gemelos digitales y flujos 4D–6D. Ayacucho, Perú: Autor. Recuperado de

<https://www.emtmayacucho.pe/informes/bim>

ISO. (2018). ISO 19650-2:2018 Delivery phase of assets. Ginebra, Suiza: ISO. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19650:-2:ed-1:v1:en>

DISEÑO METODOLÓGICO

Computer Integrated Construction Research Group. (s.f.). *BIM Planning*. The Pennsylvania State University. <https://bim.psu.edu/>

Kassem, M., Li, J., Kumar, B., Malleson, A., Gibbs, D. J., Kelly, G., & Watson, R. (2020). *Evaluating tools for maturity and benefits measurement* (Informe final). Centre for Digital Built Britain.

https://www.cdbb.cam.ac.uk/files/bim_evaluating_tools_for_maturity_and_benefits_measurement_report.pdf

EU BIM Task Group. (2017). *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*. <https://eubim.eu/handbook-selection/>

BIM Forum Colombia. (2020). *Hoja de ruta para la implementación BIM*. Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol). <https://camacol.co/descargable/08-hoja-de-ruta-para-la-implementacion-bim>

OFITECO. (2024, 20 de noviembre). *Implantación de la norma ISO 19650 en OFITECO*. buildingSMART Spain. <https://www.buildingsmart.es/2024/11/20/implantaci%C3%B3n-de-la-norma-iso-19650-en-ofiteco/>

Captiva Ingeniería. (2023, agosto 4). *Aspectos clave de la implementación BIM según la ISO 19650*. <https://captivaingenieria.cl/aspectos-clave-de-la-implementacion-bim-segun-la-iso-19650/>

Comisión Interministerial BIM. (s.f.). *Comisión Interministerial BIM*. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. <https://cibim.transportes.gob.es/>

Sugerencia (1) de director de trabajo de grado:	
Información del docente	Nombre: _____
	Correo institucional: _____
Sugerencia (2) de director de trabajo de grado:	
Información del docente	Nombre: _____
	Correo institucional: _____

Tenga en cuenta que esto es una sugerencia para el Área de Trabajos de Grado. Se debe verificar la disponibilidad del docente.

Dirección de CvLac: _____