



Propuesta metodológica para la optimización de la gestión y supervisión de obras civiles en Colombia a partir de herramientas de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos

Edna Rocio Sosa Cuestas

Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Rectoría Virtual  
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos  
octubre de 2025

Inteligencia artificial y Big Data

Propuesta metodológica para la optimización de la gestión y supervisión de obras civiles en Colombia a partir de herramientas de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos

Edna Rocio Sosa Cuestas

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor

SERGIO ANDRES ZABALA VARGAS

Doctor en Tecnología Educativa

Docente Proyecto Nodos

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2025

**Contenido**

Lista de anexos .....6

Resumen.....7

Abstract.....8

Introducción.....9

1. Planteamiento del problema..... 11

    1.1 Descripción del problema..... 12

    1.2 La pregunta de investigación..... 13

    1.3 Los objetivos de investigación ..... 13

        1.3.1 *Objetivo general*..... 13

        1.3.2 *Objetivos específicos* ..... 14

    1.4 Justificación de la investigación..... 14

2. Marco de referencia ..... 16

    2.1. Marco de antecedentes..... 16

        2.1.1. *Antecedentes y estado del arte* ..... 17

    2.2. Marco teórico ..... 22

        2.2.1. *Gestión de proyectos* ..... 22

        2.2.2. *Inteligencia Artificial (IA)*..... 22

        2.2.3. *Big Data* ..... 23

        2.2.4. *Ciencia de Datos*..... 23

        2.2.5. *Obras civiles y control de infraestructura* ..... 23

    2.3. Marco legal ..... 24

        2.3.1. *Constitución Política de Colombia (1991)*..... 24

        2.3.2. *Ley 80 de 1993 – Estatuto General de Contratación de la Administración Pública*  
                24

        2.3.3. *Ley 1150 de 2007* ..... 25

## Inteligencia artificial y Big Data

2.3.4.	<i>Decreto 1082 de 2015 – Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Planeación Nacional</i> .....	25
2.3.5.	<i>Ley 1474 de 2011 – Estatuto Anticorrupción</i> .....	25
2.3.6.	<i>Ley 1508 de 2012 – Régimen de Asociaciones Público Privadas (APP)</i> .....	26
2.3.7.	<i>Ley 1955 de 2019 – Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022</i> .....	26
3.	Metodología .....	27
3.1.	Alcance .....	27
3.2.	Enfoque y alcance metodológico .....	28
3.3.	Ruta de investigación .....	29
3.3.1.	<i>Fase 1. Diseño metodológico</i> .....	29
3.3.2.	<i>Fase 2. Recolección de información</i> .....	30
3.3.3.	<i>Fase 3. Procesamiento y análisis de datos</i> .....	30
3.3.4.	<i>Fase 4. Integración de resultados</i> .....	30
3.3.5.	<i>Fase 5. Propuesta estratégica</i> .....	30
3.4.	Población objeto de estudio .....	31
3.4.1.	<i>Cálculo y selección de la muestra</i> .....	31
3.5.	Instrumentos de recolección de datos .....	32
3.5.1.	<i>Encuesta estructurada</i> .....	32
3.5.2.	<i>Entrevista semiestructurada</i> .....	33
3.5.3.	<i>Revisión documental</i> .....	33
3.6.	Procedimiento y análisis de datos .....	34
3.6.1.	Procedimiento de aplicación de los instrumentos .....	34
3.6.2.	Análisis de la información.....	36
3.7.	Consideraciones éticas .....	37
3.7.1.	<i>Respeto por la autonomía y consentimiento informado</i> .....	38
3.7.2.	<i>Confidencialidad y anonimato</i> .....	38
3.7.3.	<i>Tratamiento y protección de datos personales</i> .....	39

## Inteligencia artificial y Big Data

3.7.4.	<i>Beneficencia y no maleficencia</i> .....	39
3.7.5.	<i>Transparencia y rigor científico</i> .....	39
3.7.6.	<i>Compromiso institucional</i> .....	39
4.	Hipótesis .....	40
4.1.	Las variables .....	40
4.1.1.	<i>Variable(s) independiente(s)</i> .....	40
4.1.2.	<i>Variable(s) dependiente(s)</i> .....	41
4.2.	Planteamiento de hipótesis .....	41
4.2.1.	<i>Hipótesis general</i> .....	41
4.2.2.	<i>Hipótesis específicas</i> .....	42
4.3.	Características y validación de las hipótesis.....	42
5.	Resultados .....	43
5.1.	Resultados y análisis de los instrumentos .....	43
5.1.1.	Resultados de la encuesta estructurada.....	43
5.1.2.	Resultados de las entrevistas semiestructuradas .....	46
5.1.3.	Resultados de la revisión documental .....	47
5.1.4.	Registro de observaciones .....	48
5.2.	Propuesta metodológica para la optimización de la gestión y supervisión de obras civiles en Colombia.....	48
5.3.	Discusión .....	51
6.	Conclusiones.....	52
6.1.	Recomendaciones y futuros trabajos.....	54
6.2.	Impacto y relevancia de los hallazgos .....	55
6.3.	Reflexión personal .....	55
	Referencias .....	57

**Lista de anexos**

**Anexo 1.** Encuesta aplicada a profesionales del sector de la construcción

**Anexo 2.** Guía de entrevista semiestructurada para directivos y expertos en obras civiles

**Anexo 3.** Matriz de revisión documental

**Anexo 4.** Formato de consentimiento informado

## Resumen

La investigación titulada “Propuesta metodológica para la optimización de la gestión y supervisión de obras civiles en Colombia a partir de herramientas de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos” aborda las deficiencias persistentes en la planeación, ejecución y control de proyectos de infraestructura en el país, caracterizadas por sobrecostos, retrasos y baja trazabilidad administrativa. El problema central radica en la limitada adopción tecnológica en los procesos de supervisión, lo que afecta la eficiencia, la transparencia y la sostenibilidad del sector.

El estudio adopta un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos (encuestas estructuradas aplicadas a 120 profesionales del sector) y cualitativos (entrevistas semiestructuradas y revisión documental). El análisis de los datos se realizó con el software JASP, mediante estadísticos descriptivos, correlaciones y codificación temática. Los resultados evidencian una correlación positiva ( $r = 0.62$ ;  $p < 0.01$ ) entre el nivel de formación tecnológica y la adopción de herramientas digitales, lo que confirma que la capacitación es un factor determinante para la modernización del sector constructor.

Entre los hallazgos más relevantes se identifican las principales fallas en la supervisión de obras: deficiencias en la gestión documental (45%), retrasos en la comunicación entre actores (38%) y falta de trazabilidad financiera (31%). A su vez, el 82% de los participantes considera viable implementar tecnologías de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos, aunque señalan como barreras la falta de infraestructura tecnológica y de políticas institucionales de apoyo.

Como resultado, se propone un modelo estratégico basado en tres ejes: fortalecimiento de las capacidades digitales del talento humano, implementación de plataformas de supervisión inteligente y desarrollo de políticas públicas que incentiven la innovación tecnológica. Esta propuesta contribuye a mejorar la eficiencia, la transparencia y la sostenibilidad en la gestión de proyectos de infraestructura en Colombia, posicionando la transformación digital como un pilar clave para el desarrollo del país.

**Palabras clave:** Inteligencia Artificial, Big Data, Ciencia de Datos, Obras Civiles, Supervisión, Gestión de Proyectos.

## Abstract

The research titled “*Methodological Proposal for Optimizing the Management and Supervision of Civil Works in Colombia through Artificial Intelligence, Big Data, and Data Science Tools*” addresses the persistent inefficiencies in the planning, execution, and control of infrastructure projects, marked by cost overruns, delays, and weak traceability. The main problem lies in the limited use of technological tools, which undermines efficiency, transparency, and sustainability in the sector.

The study applies a **mixed-method approach**, combining **quantitative** techniques (structured surveys with 120 professionals) and **qualitative** methods (semi-structured interviews and documentary review). Data were analyzed using **JASP** software through descriptive statistics, correlation analysis, and thematic coding. Results reveal a positive correlation ( $r = 0.62$ ;  $p < 0.01$ ) between technological training and the adoption of digital tools, highlighting the importance of professional development for digital transformation.

The main supervision failures identified include poor document management (45%), communication delays (38%), and lack of financial traceability (31%). Furthermore, 82% of respondents view the implementation of **Artificial Intelligence, Big Data, and Data Science** as feasible, provided institutional and technological barriers are addressed.

The study proposes a strategic model focused on three pillars: strengthening digital skills, implementing intelligent supervision platforms, and promoting public policies that encourage technological innovation. This approach enhances efficiency, transparency, and sustainability in Colombia’s infrastructure management, establishing digital transformation as a cornerstone of national development.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Big Data, Data Science, Civil Works, Supervision, Project Management.

## Introducción

La ejecución de obras civiles constituye una de las principales actividades de desarrollo económico y social a nivel mundial. Este sector impulsa el crecimiento de los países al generar empleo, dinamizar la economía y fortalecer la competitividad, además de mejorar la calidad de vida de la población mediante el acceso a servicios básicos, infraestructura vial, educativa, sanitaria y ambiental. Sin embargo, la gestión de proyectos de construcción enfrenta múltiples desafíos que limitan su impacto positivo: sobrecostos, incumplimientos en los cronogramas, deficiencias de calidad y uso inadecuado de los recursos asignados. Según el McKinsey Global Institute (2017), cerca del 98% de los megaproyectos a nivel global presentan sobrecostos y retrasos significativos, lo que evidencia la magnitud del problema en el contexto internacional.

Ante este panorama, la transformación digital se posiciona como una respuesta estratégica. Tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial (IA), el Big Data y la Ciencia de Datos están revolucionando la manera en que se planifican, ejecutan y supervisan los proyectos de infraestructura. Estas herramientas posibilitan la recopilación, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de información en tiempo real, lo que facilita anticipar riesgos, optimizar cronogramas, mejorar la asignación de recursos y fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia. En países desarrollados, su implementación ha demostrado resultados favorables en términos de eficiencia, reducción de errores humanos y mayor control de calidad (Davenport & Ronanki, 2018).

En América Latina, la adopción de estas tecnologías aún es incipiente. El Banco Interamericano de Desarrollo (2020) advierte que la región enfrenta importantes rezagos en la digitalización de los procesos de planeación y supervisión de proyectos, lo que incrementa la vulnerabilidad a retrasos, sobrecostos y prácticas poco eficientes. En Colombia, aunque el sector de la construcción es uno de los más dinámicos de la economía, las limitaciones en el seguimiento técnico, jurídico y financiero continúan siendo un obstáculo. Informes de la Contraloría General de la República (2019) y casos como el colapso del edificio Space en Medellín en 2013 (COPNIA, 2015) muestran cómo la falta de control y supervisión puede tener consecuencias graves en lo económico, social y humano.

Particularmente en regiones intermedias como el Bajo Cauca antioqueño, las debilidades institucionales y técnicas hacen aún más evidente la necesidad de fortalecer la gestión de proyectos. Municipios como Caucasia enfrentan de manera constante retrasos, fallas de calidad y poca trazabilidad en la ejecución de obras públicas, lo que limita su contribución al desarrollo local y deteriora la confianza ciudadana en las instituciones.

En este contexto, la presente investigación busca analizar el impacto que pueden tener la Inteligencia Artificial, el Big Data y la Ciencia de Datos en la prevención de fallas y en la optimización de la gestión de proyectos de construcción en Colombia. El propósito es aportar estrategias innovadoras que fortalezcan el desempeño de los actores del sector, promuevan una ejecución más eficiente y transparente, y contribuyan al desarrollo sostenible de la infraestructura en el país.

Desde el punto de vista metodológico, el estudio adopta un enfoque mixto, el cual combina técnicas cualitativas (revisión documental, entrevistas semiestructuradas y análisis de casos representativos) con procedimientos cuantitativos (encuestas estructuradas y análisis estadístico de indicadores de desempeño). Esta integración permite comprender el fenómeno desde múltiples dimensiones: las percepciones y barreras institucionales, por un lado, y los datos objetivos de desempeño de proyectos por otro. Como afirman Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018), el enfoque mixto ofrece la ventaja de complementar las fortalezas de ambos paradigmas, generando resultados más robustos y aplicables tanto en el ámbito académico como en la práctica profesional.

## 1. Planteamiento del problema

La gestión de proyectos de infraestructura constituye un reto complejo a nivel global debido a su magnitud técnica, impacto económico y relevancia social. Estudios internacionales evidencian que los proyectos de gran escala enfrentan dificultades recurrentes relacionadas con sobrecostos, retrasos y problemas de calidad. El McKinsey Global Institute (2017) reporta que cerca del 98% de los megaproyectos en el mundo presentan sobrecostos y más del 75% sufren retrasos significativos, lo que refleja un patrón estructural de ineficiencia en la planeación y el seguimiento. En países desarrollados, para enfrentar esta situación, se han implementado tecnologías digitales como la Inteligencia Artificial (IA), el Big Data y los gemelos digitales (Digital Twins), que permiten anticipar fallas, modelar escenarios en tiempo real y optimizar el uso de recursos. Ejemplos en Reino Unido, Estados Unidos y Japón muestran que estas herramientas contribuyen a mejorar la productividad de la construcción en más de un 20%, reducir los errores humanos y fortalecer la transparencia en la gestión de proyectos.

En América Latina, la brecha tecnológica es más evidente. El Banco Interamericano de Desarrollo (2021) calcula que la región pierde alrededor del 1% del PIB anual debido a ineficiencias en la planeación, ejecución y supervisión de obras de infraestructura. Aunque países como Chile y México han avanzado en la adopción de metodologías digitales como Building Information Modeling (BIM) y en la integración de sistemas de monitoreo en tiempo real, la región aún enfrenta limitaciones institucionales, baja inversión en innovación y dependencia de procesos manuales, lo que reduce la competitividad frente a los estándares internacionales.

El caso colombiano refleja con claridad estas problemáticas. A pesar de contar con un marco normativo robusto, conformado por la Ley 80 de 1993, el Decreto 1082 de 2015 y el Estatuto Anticorrupción (Ley 1474 de 2011), los informes de la Contraloría General de la República (2019, 2023) muestran que más del 50% de las obras civiles presentan retrasos, modificaciones contractuales y sobrecostos. Investigaciones académicas (González & Ramírez, 2016; Camargo & Martínez, 2020) destacan que cerca del 65% de los proyectos de infraestructura requieren ajustes contractuales que podrían haberse evitado con procesos de planeación y supervisión más rigurosos. Casos emblemáticos, como el colapso del edificio Space en Medellín en 2013 (COPNIA, 2015), ponen de relieve no solo las fallas técnicas, sino también los vacíos normativos y de control que pueden derivar en consecuencias humanas, sociales y económicas irreparables.

Particularmente en regiones intermedias y de menor capacidad institucional, como el Bajo Cauca antioqueño, estas deficiencias son más críticas. Allí predominan procesos de

supervisión manual y fragmentada, con baja disponibilidad de herramientas tecnológicas y limitada trazabilidad. Esto se traduce en fallas recurrentes en la calidad constructiva, incumplimientos de cronogramas y baja transparencia en la ejecución de recursos públicos, lo cual limita el desarrollo territorial y debilita la confianza ciudadana en las instituciones responsables.

Ante este panorama, la incorporación de tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial, el Big Data y la Ciencia de Datos se perfila como una alternativa estratégica para transformar la gestión de proyectos de infraestructura en Colombia. Estas herramientas ofrecen la posibilidad de crear modelos predictivos que anticipen riesgos, diseñen cronogramas más eficientes, optimicen la asignación de recursos y generen sistemas de alerta temprana para reducir sobrecostos y retrasos. De esta manera, el problema de investigación se centra en cómo las falencias actuales en la planeación, supervisión y control de obras civiles —de carácter técnico, jurídico y financiero— pueden mitigarse mediante la implementación de estas tecnologías digitales, contribuyendo así a mejorar la eficiencia, la transparencia y la sostenibilidad de los proyectos en el país.

### **1.1 Descripción del problema**

En el contexto colombiano, las limitaciones en la gestión de proyectos de infraestructura se evidencian con mayor fuerza en las regiones intermedias, donde los niveles de institucionalidad y capacidad técnica son más reducidos. El Bajo Cauca antioqueño, en particular, constituye un caso representativo de las dificultades en la planeación, ejecución y supervisión de obras públicas. Municipios como Caucasia enfrentan retrasos constantes, sobrecostos y problemas de calidad en la construcción de infraestructura básica, lo que restringe el impacto positivo de las inversiones y profundiza las brechas sociales y territoriales (Contraloría General de la República, 2019).

Las debilidades estructurales se reflejan en la insuficiente capacidad técnica de las entidades locales, la fragmentación en los procesos de interventoría y la carencia de mecanismos modernos de seguimiento. A diferencia de los grandes centros urbanos, en estas regiones predomina una supervisión manual, dispersa y altamente dependiente de los contratistas, lo cual incrementa la vulnerabilidad frente a fallas en la calidad constructiva, retrasos en los cronogramas y deficiencias en el cumplimiento normativo (COPNIA, 2015).

A ello se suman problemas de acceso a información confiable y oportuna, lo que limita la toma de decisiones basada en evidencia. Como advierte el Banco Mundial (2020), la falta de digitalización en los procesos de gestión pública incrementa los riesgos de corrupción, reduce

la eficiencia en el uso de los recursos y debilita la transparencia institucional. En el caso del Bajo Cauca, estas limitaciones dificultan el seguimiento de proyectos en sectores clave como vías terciarias, infraestructura educativa y obras de saneamiento básico, que son esenciales para mejorar la calidad de vida de la población.

La adopción de tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial, el Big Data y la Ciencia de Datos puede representar una alternativa para transformar esta situación. Su implementación permitiría diseñar modelos predictivos que anticipen riesgos, optimicen el uso de los recursos disponibles y fortalezcan la supervisión de los proyectos en tiempo real. De acuerdo con Davenport y Ronanki (2018), la aplicación de estas herramientas en contextos con limitaciones institucionales puede generar impactos significativos al reducir errores humanos, aumentar la eficiencia y garantizar mayor transparencia en la gestión de obras civiles.

En síntesis, el problema en el ámbito local no se limita únicamente a la falta de recursos económicos, sino también a la ausencia de capacidades técnicas y tecnológicas para garantizar un adecuado seguimiento de los proyectos. Esto genera una brecha significativa entre la planeación de las obras y su ejecución real, lo que se traduce en retrasos, baja calidad constructiva y pérdida de confianza de las comunidades hacia las instituciones encargadas de velar por su bienestar.

## **1.2 La pregunta de investigación**

¿Cómo una propuesta metodológica que implemente herramientas de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos, orientadas al análisis de fallas técnicas, jurídicas y financieras, puede contribuir a optimizar el seguimiento y la gestión de proyectos de obras civiles en Colombia?

## **1.3 Los objetivos de investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar una propuesta estratégica basada en Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos para mejorar el seguimiento y la gestión de proyectos de obras civiles en Colombia, mediante el análisis de las fallas técnicas, jurídicas y financieras que afectan su ejecución.

### 1.3.2 **Objetivos específicos**

- Caracterizar las fallas más frecuentes en el seguimiento técnico, jurídico y financiero en la ejecución de obras civiles en Colombia, a partir de la revisión documental y análisis de casos representativos.
- Examinar el uso actual de herramientas de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos en la gestión de proyectos de infraestructura a nivel nacional e internacional, mediante revisión bibliográfica y documental.
- Evaluar la aplicabilidad de estas tecnologías en el contexto colombiano, considerando criterios técnicos, económicos e institucionales, a través de un análisis comparativo entre las capacidades locales y las experiencias exitosas estudiadas.
- Diseñar estrategias tecnológicas orientadas a mejorar el seguimiento y la gestión de proyectos de obras civiles, fundamentadas en los hallazgos del diagnóstico y el análisis tecnológico previo.
- Formular recomendaciones prácticas para la implementación progresiva de estas estrategias en entidades públicas y privadas, mediante la definición de lineamientos adaptables a diferentes tipos de proyectos.

### 1.4 **Justificación de la investigación**

La construcción de infraestructura constituye uno de los pilares del desarrollo económico y social, dado que fomenta el crecimiento productivo, impulsa la competitividad y mejora la calidad de vida de la población mediante el acceso a bienes y servicios básicos. Sin embargo, la gestión de proyectos de obras civiles enfrenta dificultades persistentes relacionadas con retrasos, sobrecostos y deficiencias técnicas, jurídicas y financieras que limitan su impacto positivo en la sociedad.

En este contexto, la digitalización y el uso de tecnologías emergentes se consolidan como alternativas estratégicas para transformar la gestión de proyectos. Según el World Economic Forum (2020), la implementación de analítica avanzada y herramientas digitales puede reducir entre un 15% y un 20% los costos de construcción, además de mejorar en un 10% la eficiencia de los cronogramas. De manera similar, la OCDE (2022) resalta que los países que han integrado la Inteligencia Artificial y el Big Data en la supervisión de infraestructura han fortalecido la transparencia, la sostenibilidad y la confianza pública en la gestión de los recursos.

En América Latina, el Banco Interamericano de Desarrollo (2021) señala que la digitalización de la infraestructura es clave para cerrar la brecha de productividad y

competitividad frente a países desarrollados, mientras que en Colombia la Procuraduría General de la Nación (2021) advierte que los retrasos, sobrecostos y deficiencias de control en proyectos públicos siguen siendo una de las principales causas de desconfianza ciudadana en las instituciones. Estos diagnósticos ponen de manifiesto la necesidad de replantear los modelos de supervisión tradicionales, incorporando herramientas tecnológicas capaces de anticipar riesgos y facilitar la toma de decisiones basada en datos.

De esta manera, la investigación es pertinente por tres razones:

- Académica: aporta a la literatura sobre gestión de proyectos de infraestructura en Colombia desde la perspectiva de la transformación digital, articulando marcos como los del Project Management Institute (PMI, 2021) con las posibilidades que ofrecen la Inteligencia Artificial, el Big Data y la Ciencia de Datos.
- Institucional: propone estrategias aplicables a entidades públicas y privadas que buscan fortalecer la planeación, ejecución y supervisión de proyectos de infraestructura, alineándose con políticas recientes de modernización de la gestión pública en el país.
- Social: contribuye a mejorar la transparencia, la eficiencia y la sostenibilidad de las obras civiles, generando impactos positivos directos en las comunidades al asegurar proyectos terminados en menor tiempo, con mayor calidad y con una reducción en los riesgos asociados a la corrupción y la mala gestión.

En síntesis, esta investigación no solo busca describir la problemática existente, sino también diseñar una propuesta metodológica que permita la implementación real de tecnologías emergentes en el contexto colombiano, orientada a cerrar las brechas actuales y garantizar una infraestructura más eficiente y confiable para el desarrollo del país.

## 2. Marco de referencia

El presente capítulo constituye el marco de referencia de la investigación, el cual se estructura en tres apartados: antecedentes o estado del arte, marco teórico y marco legal. Su propósito es ofrecer los fundamentos conceptuales, empíricos y normativos que orientan el estudio, así como evidenciar la relevancia del problema en el contexto académico, social y legal.

En primer lugar, se presentan los antecedentes o estado del arte, que incluyen la revisión de investigaciones previas, informes institucionales y literatura científica relacionada con la gestión de proyectos de infraestructura y el uso de tecnologías emergentes. Esta revisión permite identificar avances, limitaciones y oportunidades de mejora en el campo de estudio, así como situar la presente investigación en el contexto regional, nacional e internacional.

Posteriormente, se desarrolla el marco teórico, donde se definen y analizan los conceptos clave como gestión de proyectos, inteligencia artificial, Big Data, ciencia de datos y control de obras civiles. Además de su definición conceptual, se explica la manera en que estos elementos se articulan con la investigación, constituyendo el soporte académico para la propuesta planteada.

Finalmente, se expone el marco legal, que reúne las disposiciones jurídicas y normativas vigentes en Colombia que regulan la planeación, ejecución y supervisión de proyectos de infraestructura. Este apartado asegura que la investigación se enmarque dentro de los lineamientos legales nacionales, garantizando su pertinencia y aplicabilidad.

De esta forma, el marco de referencia integra los aspectos empíricos, teóricos y normativos, brindando una base sólida para el desarrollo metodológico y el análisis de resultados de la investigación.

### 2.1. Marco de antecedentes

Se utilizó la siguiente ecuación de búsqueda: ("gestión de proyectos" OR "project management") AND ("obras civiles" OR "construcción") AND ("Inteligencia Artificial" OR "Big Data" OR "Ciencia de Datos"). La revisión se limitó a publicaciones de los últimos 10 años (2013–2023) en inglés y español.

Las bases de datos consultadas fueron: Scopus, Web of Science, Google Scholar, Redalyc y Scielo. También se incluyeron informes institucionales del Banco Mundial, Banco

Interamericano de Desarrollo (BID), Contraloría General de la República de Colombia y el COPNIA.

El análisis de antecedentes permite identificar los avances investigativos y prácticos en la gestión de proyectos de obras civiles y la adopción de tecnologías emergentes para su supervisión. Para este trabajo se seleccionaron 15 investigaciones y reportes entre 2015 y junio de 2025, que reflejan las tendencias globales, regionales y nacionales en la materia.

### **2.1.1. Antecedentes y estado del arte**

#### **a) COPNIA (2015).**

El informe del Consejo Profesional Nacional de Ingeniería (COPNIA) tras el colapso del edificio Space en Medellín constituye un referente crítico para la gestión de obras civiles en Colombia. Este estudio se centró en un análisis técnico forense de planos, diseños estructurales y materiales utilizados, además de una revisión de los procesos administrativos y legales asociados al proyecto. La metodología incluyó inspecciones de campo, peritajes y análisis documental para determinar las fallas. El informe evidenció deficiencias técnicas en el diseño, ausencia de controles efectivos y vacíos jurídicos en la supervisión. El aporte fundamental al presente trabajo radica en mostrar cómo la falta de sistemas tecnológicos de monitoreo y trazabilidad propicia riesgos graves para la seguridad estructural y la confianza institucional, resaltando la necesidad de implementar tecnologías como Inteligencia Artificial y Big Data para anticipar riesgos y fortalecer los mecanismos de supervisión en obras civiles.

#### **b) González y Ramírez (2016)**

En su investigación sobre la gestión contractual de proyectos de infraestructura en Colombia, González y Ramírez analizaron más de 200 contratos de obras públicas para evaluar las causas de las modificaciones contractuales. Utilizaron una metodología basada en el análisis documental, revisión normativa y entrevistas con actores clave de la contratación pública. Los hallazgos revelaron que más del 60% de los contratos presentaban adiciones de tiempo y costo debido a fallas en la planeación, así como deficiencias en la supervisión técnica y administrativa. El estudio aportó un marco de análisis jurídico y financiero que muestra cómo la falta de información estructurada y analizada de manera sistemática limita la capacidad de anticipar fallas. Su relevancia para este trabajo radica en destacar la utilidad de tecnologías de Ciencia de Datos y Big Data para procesar grandes volúmenes de información contractual y detectar patrones de riesgo que fortalezcan la planeación y el seguimiento.

**c) Smith y Brown (2018)**

Este estudio, desarrollado en el Reino Unido, evaluó la implementación de Building Information Modeling (BIM) como herramienta de gestión de proyectos de construcción. Se empleó una metodología de estudio de caso múltiple en proyectos de infraestructura pública, integrando entrevistas a ingenieros, análisis de cronogramas y revisión de costos. Los resultados mostraron que la adopción de BIM permitió reducir en un 25% los conflictos derivados de la coordinación técnica y mejorar la trazabilidad de decisiones a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Además, BIM facilitó la generación de modelos digitales colaborativos en tiempo real, lo que redujo errores de diseño y sobrecostos. El aporte a este trabajo consiste en mostrar que tecnologías digitales basadas en datos no solo mejoran la calidad técnica, sino que también optimizan la gestión administrativa y contractual, lo cual refuerza la pertinencia de incluir IA y Big Data en proyectos colombianos.

**d) Zhang et al. (2019)**

En China, Zhang y sus colegas desarrollaron un modelo de Inteligencia Artificial para la predicción de fallas estructurales en proyectos urbanos. La investigación aplicó algoritmos de aprendizaje automático alimentados por bases de datos históricas de diseños, materiales y resultados de obras previas. Su metodología combinó análisis predictivo, simulación estructural y pruebas de validación en proyectos piloto. Los hallazgos evidenciaron que el sistema redujo en un 18% los errores de diseño, anticipando fallas técnicas antes de la construcción. Este aporte es relevante para la investigación en Colombia, pues muestra cómo la Inteligencia Artificial puede ser aplicada directamente a la supervisión técnica, minimizando riesgos de seguridad y reduciendo costos por errores estructurales, a la vez que ofrece un modelo replicable en proyectos locales con alto riesgo de fallas.

**e) López y Hernández (2019)**

La investigación realizada en México por López y Hernández analizó la incorporación de sistemas de Big Data en proyectos viales. Se empleó una metodología cuantitativa basada en la recopilación de datos en tiempo real de sensores, cronogramas y presupuestos de 50 proyectos carreteros. Los datos fueron procesados con algoritmos de analítica descriptiva y predictiva. Los resultados mostraron que el Big Data permitió anticipar sobrecostos y retrasos mediante alertas tempranas, reduciendo en un 12% las desviaciones presupuestales. El aporte principal al presente trabajo es evidenciar cómo la gestión masiva de datos financieros y

técnicos puede mejorar la toma de decisiones, aportando elementos clave para diseñar un sistema de seguimiento que combine IA y Big Data en el contexto colombiano.

**f) Banco Interamericano de Desarrollo (2020)**

En su informe regional, el BID señaló que América Latina pierde alrededor del 1% del PIB anual por ineficiencias en la ejecución de proyectos de infraestructura. El estudio empleó una metodología comparativa de proyectos regionales, combinando análisis financiero y revisión de políticas públicas. Entre las estrategias propuestas destacan la digitalización de la planeación, el uso de plataformas interoperables y la incorporación de herramientas de monitoreo en tiempo real. El informe resalta que las tecnologías emergentes permiten mejorar la eficiencia y reducir los riesgos de corrupción en obras públicas. El aporte a la presente investigación es ofrecer un diagnóstico regional que respalda la pertinencia de proponer una estrategia metodológica basada en IA y Big Data como mecanismos de control y seguimiento en Colombia.

**g) Camargo y Martínez (2021)**

Este estudio, desarrollado en Colombia, aplicó técnicas de analítica predictiva en proyectos viales para anticipar retrasos en cronogramas. Los autores emplearon bases de datos de 30 proyectos de infraestructura vial y las procesaron mediante modelos de regresión y análisis de series temporales. La metodología incluyó la comparación entre cronogramas proyectados y resultados reales. Los hallazgos mostraron que el uso de analítica predictiva permitió identificar patrones de retraso asociados a condiciones climáticas, disponibilidad de materiales y desempeño de contratistas. El aporte directo de este trabajo es mostrar cómo las técnicas de Ciencia de Datos pueden mejorar la planeación y el seguimiento de obras civiles en Colombia, sirviendo como base para la incorporación de IA en la detección de riesgos.

**h) Banco Interamericano de Desarrollo (2021)**

El BID publicó un informe complementario en el que destacó la importancia de digitalizar los sistemas de supervisión en infraestructura. El estudio utilizó un enfoque metodológico de evaluación de impacto con indicadores de eficiencia, transparencia y sostenibilidad. Concluyó que la adopción de Big Data y plataformas digitales podría mejorar la eficiencia de la inversión pública en hasta un 15% y reducir la incidencia de corrupción. El aporte al trabajo es la validación de que la digitalización no es solo una opción técnica, sino una necesidad

estratégica para garantizar la sostenibilidad de la inversión en infraestructura, reforzando la relevancia del enfoque propuesto para Colombia.

**i) World Economic Forum (2021)**

El World Economic Forum actualizó sus estimaciones sobre el impacto de la digitalización en la infraestructura global. Utilizando metodologías de proyección económica y revisión de experiencias internacionales, concluyó que la incorporación de analítica avanzada y herramientas digitales puede reducir entre un 15% y un 20% los costos de construcción, además de mejorar en un 10% la eficiencia de los cronogramas. El estudio resalta experiencias en Reino Unido, Japón y Estados Unidos con la integración de IA y Digital Twins. El aporte a esta investigación consiste en ofrecer evidencia global de cómo la digitalización impacta positivamente en la eficiencia de proyectos, reforzando la justificación de su implementación en Colombia.

**j) OCDE (2022)**

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) publicó un informe donde se analizaron los beneficios de la Inteligencia Artificial y la Ciencia de Datos en la gestión de infraestructura pública. La metodología consistió en la recopilación de experiencias de 25 países miembros, utilizando encuestas y análisis comparativos. Los hallazgos indicaron que la adopción de estas tecnologías fortalece la transparencia, mejora la sostenibilidad y permite la identificación temprana de riesgos contractuales y financieros. El aporte a este trabajo es resaltar la pertinencia de incorporar un enfoque integral que no solo considere lo técnico, sino también lo jurídico y financiero en la supervisión de obras civiles.

**k) Contraloría General de la República (2023)**

En su informe anual, la Contraloría evidenció que más del 50% de los proyectos de obras civiles en Colombia presentaban retrasos y sobrecostos significativos. La investigación utilizó auditorías de campo, análisis financiero y revisión documental. Aunque no aplicó directamente tecnologías digitales, sí recomendó su uso como mecanismo de control y prevención de irregularidades. El aporte a este trabajo es la validación de la problemática nacional y la necesidad de herramientas tecnológicas que fortalezcan los procesos de supervisión, alineándose con la propuesta de implementar IA y Big Data en la gestión de proyectos.

**l) Procuraduría General de la Nación (2023)**

La Procuraduría emitió un informe sobre riesgos de corrupción en la contratación pública de infraestructura en Colombia. La metodología incluyó análisis de casos disciplinarios, revisión de contratos y entrevistas con funcionarios públicos. Se identificaron prácticas recurrentes de modificaciones contractuales injustificadas y deficiencias en la trazabilidad de la información. El aporte principal a esta investigación es mostrar que los problemas jurídicos y financieros asociados a la contratación también pueden ser abordados mediante tecnologías de Ciencia de Datos, capaces de identificar patrones de riesgo y alertar sobre posibles irregularidades en tiempo real.

**m) López y Fernández (2024)**

Este estudio en España analizó la aplicación de Digital Twins en proyectos de infraestructura pública. La metodología incluyó la implementación piloto en dos proyectos viales, integrando datos en tiempo real de sensores, cronogramas y presupuestos. Los resultados mostraron que el uso de gemelos digitales, combinado con algoritmos de IA, permitió optimizar la supervisión en tiempo real, reduciendo en un 20% los errores en la ejecución y mejorando la toma de decisiones. El aporte a esta investigación consiste en ofrecer un ejemplo práctico de cómo la convergencia entre Big Data, IA y gemelos digitales puede aplicarse en proyectos de gran escala, experiencia replicable en el contexto colombiano.

**n) Rodríguez et al. (2024)**

En Chile, Rodríguez y colaboradores investigaron el uso de Big Data en la gestión de proyectos viales. Se aplicó una metodología de análisis de datos masivos provenientes de licitaciones, cronogramas y auditorías. Los resultados mostraron que el análisis de datos permitió identificar irregularidades administrativas recurrentes, mejorando la transparencia y reduciendo retrasos. El aporte al presente trabajo es demostrar cómo la Ciencia de Datos puede aplicarse en el ámbito jurídico y financiero, lo cual complementa el enfoque integral que esta investigación propone para Colombia.

**o) Martínez et al. (2025)**

Este trabajo, desarrollado en México, presentó un modelo de supervisión inteligente que integró Big Data e Inteligencia Artificial. La metodología consistió en el diseño de una plataforma que recopilaba información de cronogramas, costos y auditorías en proyectos de infraestructura urbana. Los resultados evidenciaron que el modelo redujo los costos de

supervisión en un 12% y mejoró la detección temprana de fallas contractuales y financieras. El aporte principal al presente trabajo es evidenciar cómo la combinación de tecnologías emergentes permite mejorar simultáneamente los aspectos técnicos, jurídicos y financieros de la supervisión, lo cual constituye la esencia de la propuesta metodológica planteada para Colombia.

## **2.2. Marco teórico**

El marco teórico constituye la base conceptual que sustenta esta investigación. Se abordan a continuación los principales conceptos relacionados con la gestión de proyectos, la inteligencia artificial, el Big Data, la ciencia de datos y el control de obras civiles. Cada uno se presenta con su definición, discusión académica y su articulación con el problema de estudio.

### **2.2.1. Gestión de proyectos**

La gestión de proyectos se define como la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto con el fin de cumplir con sus requisitos (Project Management Institute – PMI, 2017). Implica la integración de procesos de planeación, ejecución, monitoreo y cierre que buscan asegurar la calidad, el alcance, el costo y el tiempo establecidos.

En el contexto de la investigación, la gestión de proyectos es el eje central, pues constituye el marco desde el cual se analiza la problemática de retrasos, sobrecostos y fallas en la supervisión de obras civiles en Colombia. El aporte del PMI y de otros referentes internacionales permite articular la teoría de la gestión con la propuesta de integrar tecnologías emergentes que fortalezcan la planificación y el control.

### **2.2.2. Inteligencia Artificial (IA)**

La Inteligencia Artificial es entendida como la capacidad de las máquinas para realizar tareas que tradicionalmente requieren de la inteligencia humana, tales como el reconocimiento de patrones, el aprendizaje, la predicción y la toma de decisiones (Russell & Norvig, 2021). En particular, el aprendizaje automático (Machine Learning) constituye una de las ramas más dinámicas de la IA, al permitir que los algoritmos mejoren su desempeño con base en la experiencia y los datos disponibles.

En esta investigación, la IA se articula como una herramienta clave para optimizar la gestión de proyectos de infraestructura. Su capacidad predictiva puede aplicarse al análisis de cronogramas, la identificación temprana de riesgos y la proyección de costos, reduciendo los

márgenes de error en la planeación y ejecución. De esta manera, la IA ofrece un soporte técnico que complementa la labor de interventores y gestores de proyectos.

### **2.2.3. Big Data**

El término Big Data hace referencia al manejo de grandes volúmenes de datos caracterizados por su variedad, velocidad y veracidad, que exceden la capacidad de procesamiento de los sistemas tradicionales (Mayer-Schönberger & Cukier, 2013). A través de su análisis, es posible identificar patrones, tendencias y correlaciones que resultan invisibles en conjuntos de datos más limitados.

En el marco de esta investigación, el Big Data se articula como la fuente de información que nutre a la Inteligencia Artificial y a la ciencia de datos para generar predicciones útiles. En proyectos de infraestructura, el Big Data permite centralizar información técnica, financiera y administrativa en tiempo real, mejorando la trazabilidad y la transparencia de los procesos.

### **2.2.4. Ciencia de Datos**

La ciencia de datos se define como la disciplina que combina estadística, programación y conocimiento experto para extraer información útil y generar conocimiento a partir de datos estructurados y no estructurados (Provost & Fawcett, 2016). Su propósito no se limita al análisis descriptivo, sino que también incluye la construcción de modelos predictivos y prescriptivos.

Este concepto se articula con la investigación en tanto que constituye el puente entre la información recopilada en proyectos de infraestructura y la generación de modelos analíticos para la toma de decisiones. Al aplicarse en la gestión de obras civiles, la ciencia de datos permite diseñar tableros de control, indicadores de gestión y sistemas de alerta temprana que optimizan el desempeño de los proyectos.

### **2.2.5. Obras civiles y control de infraestructura**

Las obras civiles comprenden el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructuras como carreteras, puentes, edificios y servicios básicos. Su correcta ejecución depende de procesos de planeación rigurosos y de mecanismos de supervisión que garanticen seguridad, calidad y sostenibilidad (Pérez & Rodríguez, 2019).

El control de infraestructura, en este sentido, se refiere al conjunto de actividades de supervisión y verificación técnica, administrativa y financiera que buscan asegurar el cumplimiento de los objetivos del proyecto. En Colombia, informes de la Contraloría General de

la República (2021, 2023) han advertido que las deficiencias en este aspecto generan sobrecostos y retrasos recurrentes.

La articulación con la presente investigación se da en la necesidad de fortalecer estos mecanismos de control mediante la incorporación de tecnologías emergentes. Herramientas como la IA y el Big Data ofrecen un soporte adicional que complementa la labor de interventoría, aportando mayor objetividad y eficiencia en la supervisión de obras.

En conjunto, los conceptos de gestión de proyectos, inteligencia artificial, Big Data, ciencia de datos y control de obras civiles constituyen el andamiaje conceptual que guía esta investigación. Su integración permite plantear un modelo de gestión de proyectos de infraestructura que no solo responde a los estándares internacionales, sino que incorpora las tecnologías emergentes como estrategia para superar las limitaciones actuales en el contexto colombiano.

### **2.3. Marco legal**

El marco legal establece el conjunto de normas y disposiciones jurídicas que regulan la planeación, ejecución y supervisión de proyectos de infraestructura en Colombia. Estas disposiciones son fundamentales para garantizar que las obras civiles se realicen bajo principios de legalidad, eficiencia, transparencia y responsabilidad social. A continuación, se presentan las principales normas que sustentan esta investigación, con su respectiva referencia oficial.

#### **2.3.1. Constitución Política de Colombia (1991)**

La Constitución establece en su artículo 209 que la función administrativa debe desarrollarse con fundamento en los principios de igualdad, moralidad, eficacia, economía, celeridad, imparcialidad y publicidad. Asimismo, en el artículo 80 determina que el Estado debe planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, garantizando su desarrollo sostenible.

Articulación con la investigación: esta norma es el marco superior que obliga a que la gestión de proyectos de infraestructura incorpore criterios de transparencia, eficiencia y sostenibilidad. (Constitución Política de Colombia, 1991).

#### **2.3.2. Ley 80 de 1993 – Estatuto General de Contratación de la Administración Pública**

Esta ley regula la contratación pública en Colombia y establece principios como la transparencia, la selección objetiva y la responsabilidad en la contratación estatal. Define,

además, los deberes de interventores, contratistas y entidades públicas en la ejecución de contratos.

Articulación con la investigación: es relevante porque los problemas de sobrecostos y retrasos en obras civiles suelen estar ligados a la aplicación inadecuada de este estatuto. El uso de tecnologías emergentes puede fortalecer su cumplimiento. (Congreso de la República de Colombia, 1993).

### **2.3.3. Ley 1150 de 2007**

Complementa la Ley 80 de 1993, introduciendo mecanismos para la eficiencia y transparencia en los procesos de contratación pública. Plantea la utilización de mecanismos electrónicos de contratación y fortalecimiento de la selección objetiva.

Articulación con la investigación: se vincula directamente con la propuesta de digitalización, ya que promueve el uso de medios electrónicos en la contratación estatal. (Congreso de la República de Colombia, 2007).

### **2.3.4. Decreto 1082 de 2015 – Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Planeación Nacional**

Este decreto compila y reglamenta las normas relacionadas con la contratación pública, la planeación y el Sistema Nacional de Planeación. Establece disposiciones sobre estudios previos, requisitos de los contratos y criterios de evaluación.

Articulación con la investigación: regula aspectos técnicos y administrativos que deben cumplirse en los proyectos de infraestructura, por lo cual la adopción de sistemas digitales de seguimiento puede contribuir a su cumplimiento. (Presidencia de la República de Colombia, 2015).

### **2.3.5. Ley 1474 de 2011 – Estatuto Anticorrupción**

Establece mecanismos de prevención, investigación y sanción de actos de corrupción en la administración pública. En materia de contratación, refuerza la necesidad de controles efectivos y la transparencia en el manejo de los recursos.

Articulación con la investigación: dado que muchos problemas de infraestructura en Colombia se relacionan con corrupción y falta de control, esta norma respalda la incorporación de tecnologías emergentes que fortalezcan la trazabilidad y la rendición de cuentas. (Congreso de la República de Colombia, 2011).

**2.3.6. Ley 1508 de 2012 – Régimen de Asociaciones Público Privadas (APP)**

Regula los contratos bajo esquemas de asociación público-privada, con los cuales se financian, diseñan, construyen, operan y mantienen proyectos de infraestructura. Esta ley promueve la participación del sector privado en la ejecución de obras públicas.

Articulación con la investigación: la adopción de herramientas digitales de monitoreo contribuye a garantizar que las APP cumplan con los estándares de calidad, eficiencia y sostenibilidad previstos en la norma. (Congreso de la República de Colombia, 2012).

**2.3.7. Ley 1955 de 2019 – Plan Nacional de Desarrollo 2018–2022**

Este Plan incorpora la necesidad de modernizar los sistemas de gestión pública mediante el uso de tecnologías de información y comunicación. En el campo de infraestructura, promueve la implementación de mecanismos de seguimiento digital y de innovación tecnológica.

Articulación con la investigación: la investigación se enmarca en esta línea al proponer el uso de inteligencia artificial, Big Data y ciencia de datos para mejorar la gestión de proyectos de construcción. (Congreso de la República de Colombia, 2019).

### 3. Metodología

La metodología constituye el pilar fundamental de toda investigación, ya que define el camino a seguir para dar respuesta a los objetivos planteados. A través de ella se establecen los enfoques, técnicas y procedimientos necesarios para recolectar, analizar e interpretar la información de manera rigurosa y sistemática. En este capítulo se expone el diseño metodológico que guía la presente investigación, el cual contempla aspectos como el enfoque metodológico, el tipo de diseño adoptado, la población objeto de estudio, los instrumentos de recolección de datos, el procedimiento de aplicación, las técnicas de análisis, las consideraciones éticas y el alcance de la investigación.

De acuerdo con Creswell y Creswell (2018), un diseño metodológico bien estructurado garantiza que el estudio sea válido, confiable y replicable, además de proporcionar solidez científica a los hallazgos. En consecuencia, la organización de este capítulo permitirá comprender cómo se llevará a cabo la investigación y de qué manera los resultados contribuirán al conocimiento sobre la gestión de proyectos de infraestructura en el contexto local y regional.

#### 3.1. Alcance

El alcance de la investigación define los límites dentro de los cuales se desarrolla el estudio, precisando su extensión temporal, espacial y temática, así como su relevancia dentro del campo de la gestión de proyectos de infraestructura.

**Alcance temporal:** La investigación abarca un periodo comprendido entre los años 2015 y 2025, lapso en el cual se identifican, analizan y comparan las principales transformaciones tecnológicas aplicadas al sector de la construcción a nivel nacional e internacional. Este rango temporal permite observar la evolución en la adopción de herramientas de Inteligencia Artificial (IA), Big Data y Ciencia de Datos, así como sus impactos en la gestión y supervisión de obras civiles durante la última década. La delimitación temporal es pertinente, ya que coincide con la acelerada expansión de la transformación digital en la industria de la construcción y con la publicación de informes institucionales clave del BID, la OCDE y la Contraloría General de la República.

**Alcance espacial:** El estudio se circunscribe al contexto colombiano, con énfasis en el análisis de proyectos de infraestructura desarrollados en regiones intermedias, particularmente en el Bajo Cauca antioqueño, donde las limitaciones institucionales y técnicas son más notorias. Esta delimitación territorial es estratégica, dado que permite evidenciar los contrastes entre los avances tecnológicos en los grandes centros urbanos (Bogotá, Medellín, Cali) y las brechas de digitalización presentes en zonas con menor capacidad institucional. Los hallazgos obtenidos buscan aportar propuestas replicables en todo el territorio nacional, adaptables a diferentes niveles de desarrollo tecnológico.

**Alcance temático:** La investigación se centra en el estudio de las fallas técnicas, jurídicas y financieras en la gestión y supervisión de obras civiles, así como en la evaluación de la aplicabilidad de tecnologías emergentes (IA, Big Data y Ciencia de Datos) para su mitigación. El enfoque temático combina elementos de gestión de proyectos, ingeniería civil, análisis de datos y políticas públicas, integrando perspectivas académicas y profesionales.

**Relevancia:** El alcance propuesto garantiza que la investigación no solo tenga pertinencia académica, sino también impacto práctico e institucional, al ofrecer una ruta metodológica aplicable a la modernización del sector de la construcción en Colombia. La delimitación temporal, espacial y temática permite contextualizar la problemática, sustentar las recomendaciones y orientar la formulación de políticas públicas y estrategias de innovación tecnológica en la gestión de infraestructura.

### 3.2. Enfoque y alcance metodológico

La investigación adopta un enfoque mixto, que combina lo cuantitativo y lo cualitativo para abordar de manera integral el problema de estudio.

- Enfoque cuantitativo: se empleará a través de encuestas estructuradas aplicadas a profesionales del sector de obras civiles, lo que permitirá recolectar información numérica, comparable y estadísticamente tratable sobre la percepción de fallas técnicas, jurídicas y financieras, así como la disposición hacia la incorporación de tecnologías emergentes.
- Enfoque cualitativo: se aplicará mediante entrevistas semiestructuradas y revisión documental, orientadas a explorar en profundidad las experiencias de actores clave y el análisis de casos reales en Colombia e investigaciones internacionales.

De esta manera, el enfoque mixto no solo describe la situación actual, sino que también posibilita la construcción de una propuesta estratégica propositiva, sustentada en evidencia empírica y conceptual.

El alcance de la investigación es exploratorio, descriptivo y propositivo:

- Exploratorio: porque indaga un campo en el que aún existen pocos antecedentes locales relacionados con la aplicación de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos al seguimiento de obras civiles.
- Descriptivo: porque caracteriza la situación actual de las fallas técnicas, jurídicas y financieras en proyectos de infraestructura en Colombia.
- Propositivo: porque plantea un modelo estratégico para optimizar el seguimiento de obras civiles a partir de los hallazgos obtenidos.

Delimitaciones:

- Temporal: 2015–2025.
- Geográfica: obras civiles en Colombia.
- Temática: fallas técnicas, jurídicas y financieras.
- Limitaciones: el trabajo no desarrolla una aplicación tecnológica operativa, sino una propuesta estratégica aplicable.

### **3.3. Ruta de investigación**

La investigación se desarrollará en varias fases articuladas de forma secuencial, lo que garantiza coherencia entre los objetivos planteados, los instrumentos de recolección de datos y el análisis de la información.

#### **3.3.1. Fase 1. Diseño metodológico**

- Definición del enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo).
- Delimitación de la población y cálculo de la muestra.
- Elaboración y validación de los instrumentos: encuesta estructurada, entrevista semiestructurada y protocolo de revisión documental.

### **3.3.2. Fase 2. Recolección de información**

- **Encuestas:** aplicación virtual a una muestra de profesionales del sector de obras civiles, distribuidas en diferentes regiones del país.
- **Entrevistas:** realización de entrevistas semiestructuradas a actores clave (interventores, contratistas, funcionarios públicos y expertos en innovación tecnológica).
- **Revisión documental:** búsqueda y análisis sistemático en bases de datos académicas (Scopus, Web of Science, Google Scholar, SciELO, Redalyc) y fuentes institucionales (Contraloría, Procuraduría, BID, OCDE).

### **3.3.3. Fase 3. Procesamiento y análisis de datos**

- **Datos cuantitativos (encuestas):** limpieza de la base, codificación de respuestas y análisis estadístico con SPSS o JASP.
- **Datos cualitativos (entrevistas y documentos):** transcripción, codificación temática y análisis de contenido con NVivo o Atlas.ti.
- Triangulación metodológica entre resultados cuantitativos y cualitativos.

### **3.3.4. Fase 4. Integración de resultados**

- Síntesis de hallazgos en dimensiones técnicas, jurídicas y financieras.
- Identificación de patrones y relaciones entre variables.
- Elaboración de propuestas preliminares de optimización del seguimiento de obras mediante IA, Big Data y Ciencia de Datos.

### **3.3.5. Fase 5. Propuesta estratégica**

- Construcción del modelo estratégico para la optimización del seguimiento de obras civiles en Colombia.
- Validación de la propuesta mediante retroalimentación de expertos (encuesta final o grupo focal reducido).
- Redacción del informe final con recomendaciones prácticas y académicas.

### 3.4. Población objeto de estudio

La población objeto de estudio está conformada por 218 profesionales vinculados al sector de la construcción y la supervisión de obras civiles en Colombia, incluyendo ingenieros civiles, interventores, contratistas y funcionarios públicos responsables de la planeación, ejecución y control de proyectos de infraestructura. Esta población se definió a partir de registros en agremiaciones profesionales, informes de entes de control y bases de datos de entidades públicas relacionadas con proyectos de infraestructura.

#### 3.4.1. Cálculo y selección de la muestra

Para determinar la muestra se utilizó la fórmula estadística para poblaciones finitas, garantizando un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%. La fórmula se expresa como:

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

Donde:

- $n$  = tamaño de la muestra
- $N$  = tamaño de la población (218)
- $Z$  = valor de la distribución normal para el nivel de confianza (1,96 para 95%)
- $p$  = probabilidad de éxito (0,5)
- $q$  = probabilidad de fracaso (0,5)
- $e$  = margen de error (0,05)

Al sustituir los valores, se obtiene un tamaño de muestra aproximado de 140 participantes.

De esta muestra, se definió la siguiente distribución:

- 110 participantes serán abordados mediante encuestas estructuradas, lo que permitirá obtener información cuantitativa sobre percepciones de fallas técnicas, jurídicas y financieras, así como experiencias en el uso de tecnologías digitales en la supervisión de proyectos.
- 30 participantes serán seleccionados para entrevistas semiestructuradas, priorizando a profesionales con experiencia en interventoría, contratación pública y supervisión

técnica, con el fin de profundizar en aspectos cualitativos que no se capturan en las encuestas.

No obstante, considerando las limitaciones logísticas y la posibilidad de baja participación de algunos actores, se plantea un escenario alternativo en el que la población de estudio se reduzca a los profesionales activos en tres ciudades principales (Bogotá, Medellín y Cali). En este caso, la población estimada sería de 150 profesionales, lo que, al aplicar nuevamente la fórmula, arroja una muestra de aproximadamente 108 participantes, distribuida en 80 encuestados y 28 entrevistados.

Esta unificación entre población y muestra asegura claridad en la delimitación del universo de estudio y viabilidad en el proceso de recolección de datos, manteniendo a su vez la validez estadística del diseño metodológico

### **3.5. Instrumentos de recolección de datos**

Para el desarrollo de la investigación se emplearán tres instrumentos principales: encuesta estructurada, entrevista semiestructurada y revisión documental. Cada uno de ellos se describe a continuación, destacando sus características, el tipo de información que aportarán y los elementos asociados.

#### **3.5.1. Encuesta estructurada**

La encuesta es un instrumento cuantitativo diseñado con preguntas cerradas de opción múltiple y escala Likert, orientadas a recopilar información estandarizada de un número amplio de participantes. Se aplicará de manera virtual mediante formularios en línea, lo que facilita el acceso a diferentes profesionales del sector de la construcción. Sus principales características son la estandarización, la facilidad de análisis estadístico y la posibilidad de contrastar percepciones de un grupo significativo de actores.

La información que se espera recolectar a través de este instrumento incluye:

- Percepciones sobre las fallas más frecuentes en proyectos de obras civiles (técnicas, jurídicas y financieras).
- Experiencias previas en el uso de tecnologías digitales para el seguimiento de proyectos.
- Nivel de aceptación y disposición hacia la implementación de herramientas de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos.

- Variables sociodemográficas (formación, cargo, años de experiencia) que permitan segmentar los resultados.

Los elementos asociados corresponden al cuestionario que compone la encuesta, el cual incluye un total de 20 preguntas cerradas y de escala Likert. Por motivos de extensión, este cuestionario completo se encuentra en el Anexo 1, donde se presentan de manera textual todas las preguntas.

### **3.5.2. Entrevista semiestructurada**

La entrevista es un instrumento cualitativo que combina preguntas predefinidas con la posibilidad de profundizar en las respuestas de los participantes. Su aplicación será individual y dirigida a actores clave como interventores, contratistas y funcionarios públicos con experiencia en la gestión de proyectos de infraestructura. Sus principales características son la flexibilidad, la profundidad en las respuestas y la riqueza del discurso que se obtiene.

La información que se espera recolectar a través de este instrumento incluye:

- Opiniones sobre las principales causas de fallas en la supervisión de proyectos de infraestructura.
- Experiencias concretas de problemáticas técnicas, jurídicas y financieras enfrentadas en la gestión de proyectos.
- Valoraciones sobre la aplicabilidad de herramientas de IA, Big Data y Ciencia de Datos en el contexto colombiano.
- Recomendaciones para el diseño de un modelo estratégico de seguimiento de obras.

Los elementos asociados corresponden a la guía de entrevista, la cual está compuesta por 12 preguntas abiertas agrupadas en cuatro ejes temáticos: aspectos técnicos, jurídicos, financieros y tecnológicos. La guía completa de la entrevista se encuentra en el Anexo 2.

### **3.5.3. Revisión documental**

La revisión documental es un instrumento que permite analizar información secundaria procedente de fuentes académicas, institucionales y normativas. Sus características principales son la sistematicidad, la objetividad y la posibilidad de integrar resultados de estudios previos al marco conceptual y metodológico de la investigación.

La información que se espera recolectar mediante este instrumento incluye:

- Antecedentes sobre la aplicación de IA, Big Data y Ciencia de Datos en obras civiles.

- Normativas y marcos regulatorios relacionados con la supervisión de proyectos de infraestructura en Colombia.
- Casos de estudio y experiencias internacionales relevantes para el diseño de la propuesta estratégica.

Los elementos asociados se detallan en términos de los criterios de búsqueda definidos:

- Palabras clave: “Inteligencia Artificial en construcción”, “Big Data en infraestructura”, “Ciencia de Datos en proyectos civiles”, “seguimiento de obras”, “fallas técnicas”, “fallas jurídicas”, “fallas financieras”.
- Bases de datos consultadas: Scopus, Web of Science, Google Scholar, Redalyc, Scielo y repositorios institucionales (Contraloría, Procuraduría, BID, OCDE, WEF).
- Criterios de inclusión: publicaciones entre 2015 y 2025, en español o inglés, relacionadas con proyectos de infraestructura.
- Criterios de exclusión: documentos sin revisión académica o que no aborden específicamente el sector de obras civiles.

La selección de fuentes y el registro de la información obtenida se documentan en el Anexo 3.

### **3.6. Procedimiento y análisis de datos**

El presente apartado describe de manera detallada el paso a paso seguido para la aplicación de cada instrumento de recolección de información —encuesta estructurada, entrevista semiestructurada y revisión documental—, así como el proceso de análisis de los datos obtenidos. Se busca garantizar la rigurosidad metodológica, la replicabilidad del estudio y la validez de los resultados derivados del enfoque mixto adoptado.

#### **3.6.1. Procedimiento de aplicación de los instrumentos**

##### **a) Encuesta estructurada**

**1. Elaboración del instrumento:** La encuesta fue diseñada con base en los objetivos específicos de la investigación, siguiendo las recomendaciones de Hernández Sampieri y Mendoza (2018) para la construcción de instrumentos cuantitativos. Se estructuró en 20 preguntas cerradas, combinando ítems de opción múltiple y escalas tipo Likert de cinco

puntos, orientadas a medir percepciones sobre fallas técnicas, jurídicas y financieras, nivel de conocimiento y disposición frente al uso de Inteligencia Artificial (IA), Big Data y Ciencia de Datos.

**2. Validación del contenido:** El instrumento fue sometido a juicio de tres expertos en gestión de proyectos y tecnologías aplicadas a la construcción, quienes verificaron la pertinencia, claridad y coherencia de los ítems con los objetivos del estudio. Las sugerencias recibidas se incorporaron para ajustar redacción y secuencia lógica.

**3. Contacto y selección de participantes:** Los participantes se seleccionaron mediante muestreo no probabilístico intencional, priorizando profesionales activos en el sector de la construcción, interventoría o supervisión de obras civiles. El contacto se realizó a través de bases de datos de agremiaciones profesionales, redes de LinkedIn y correos institucionales obtenidos con consentimiento informado.

**4. Distribución y recolección:** La encuesta se aplicó de manera virtual utilizando la plataforma Google Forms, durante un periodo de cuatro semanas. Se enviaron recordatorios semanales para garantizar una tasa de respuesta adecuada. Los formularios diligenciados fueron descargados en formato CSV y almacenados en una base de datos encriptada.

## **b) Entrevista semiestructurada**

**1. Diseño de la guía:** La entrevista se construyó a partir de los ejes temáticos del estudio: aspectos técnicos, jurídicos, financieros y tecnológicos. Se elaboraron 12 preguntas abiertas que permitieron explorar percepciones, experiencias y recomendaciones de los participantes.

**2. Selección y contacto de participantes:** Se seleccionaron 30 profesionales con experiencia en interventoría, contratación pública y gestión de proyectos. Los contactos se establecieron mediante correo electrónico y confirmación telefónica, entregando previamente el consentimiento informado.

**3. Aplicación del instrumento:** Las entrevistas se realizaron en formato virtual sincrónico, a través de plataformas como Zoom y Microsoft Teams, con una duración promedio de 35 a 45 minutos. Cada sesión fue grabada con autorización del entrevistado y posteriormente transcrita de manera literal.

**4. Gestión y resguardo de la información:** Las transcripciones se almacenaron con códigos alfanuméricos (E01, E02...) para garantizar el anonimato y fueron archivadas en formato Word y PDF en una carpeta protegida con contraseña.

### c) Revisión documental

1. **Gestión de documentos:** Se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos académicas (Scopus, Web of Science, Google Scholar, Redalyc, Scielo) y fuentes institucionales (BID, OCDE, Contraloría, Procuraduría, WEF). Se emplearon palabras clave como *“Inteligencia Artificial en construcción”, “Big Data en infraestructura”* y *“Ciencia de Datos en obras civiles”*.

2. **Criterios de inclusión y exclusión:** Se incluyeron publicaciones entre 2015 y 2025, en español o inglés, que abordaran la gestión de proyectos de infraestructura y la aplicación de tecnologías emergentes. Se excluyeron documentos sin revisión académica o no relacionados con obras civiles.

3. **Extracción y organización de la información:** Los textos seleccionados fueron exportados a Zotero para su gestión bibliográfica y analizados mediante una matriz de revisión documental elaborada en Excel. En esta matriz se clasificó la información por autor, año, metodología, hallazgos y aportes a la investigación.

### 3.6.2. Análisis de la información

El análisis de la información se desarrolló en dos fases diferenciadas —cuantitativa y cualitativa—, precedidas por un proceso de limpieza, organización y codificación de los datos.

#### a) Limpieza, organización y preparación de los datos

- Para los datos cuantitativos (encuestas): se verificó la completitud de las respuestas, se eliminaron duplicados y se codificaron las variables numéricas para su análisis estadístico en JASP.
- Para los datos cualitativos (entrevistas y documentos): se realizaron transcripciones textuales, revisión ortográfica y organización temática en un sistema de códigos iniciales, antes de su tratamiento analítico en Atlas.ti o NVivo.

#### b) Codificación y estructuración de los datos

- En el componente cuantitativo, se definieron variables independientes (uso de IA, Big Data, Ciencia de Datos) y dependientes (eficiencia en la supervisión, trazabilidad, comunicación).

- En el componente cualitativo, se establecieron categorías emergentes derivadas del análisis de contenido: *capacitación tecnológica, limitaciones institucionales, infraestructura digital, percepción de utilidad, políticas de innovación.*

### **c) Análisis cuantitativo**

Los datos numéricos fueron tratados con el software JASP, aplicando:

- Estadísticas descriptivas (frecuencias, medias y desviaciones estándar).
- Pruebas de correlación de Pearson para determinar relaciones entre variables.
- Representaciones visuales mediante tablas, diagramas de barras y gráficos de dispersión.

### **d) Análisis cualitativo**

Los datos textuales se procesaron en Atlas.ti utilizando codificación temática. Se identificaron patrones semánticos, coincidencias discursivas y relaciones entre categorías. Los resultados se representarán mediante **nubes de palabras**, mapas conceptuales y matrices categóricas que faciliten la visualización de tendencias y la interpretación de hallazgos.

### **e) Presentación de los resultados**

Para la fase cuantitativa, se emplearán tablas numéricas, gráficos estadísticos y diagramas comparativos.

Para la fase cualitativa, se incluirán resúmenes narrativos, mapas de relaciones y tablas de categorías.

Estos elementos servirán como soporte visual y analítico en el Capítulo 5 (Resultados), asegurando la claridad y coherencia de la información obtenida.

## **3.7. Consideraciones éticas**

El desarrollo de esta investigación se enmarca en los lineamientos éticos establecidos por la Declaración de Helsinki (2013), las Normas APA (2020) y la legislación colombiana vigente en materia de protección de datos personales, especialmente la Ley 1581 de 2012 y el Decreto 1377 de 2013. Dado que el estudio involucra la participación directa de personas mediante encuestas y entrevistas, así como la revisión de información documental, se

adoptaron las siguientes medidas para garantizar la integridad, autonomía y confidencialidad de los participantes.

### **3.7.1. Respeto por la autonomía y consentimiento informado**

La participación de los sujetos fue voluntaria, basada en el principio de autonomía y respeto por la decisión individual.

Antes de diligenciar la encuesta o participar en la entrevista, cada participante recibió una explicación clara del propósito de la investigación, los procedimientos a realizar, el tiempo estimado, los posibles riesgos y beneficios, y su derecho a retirarse en cualquier momento sin consecuencias.

Como soporte de este proceso, se diseñó un Formato de Consentimiento Informado, que debió ser firmado (en físico o digital) por cada participante antes de la aplicación del instrumento. Este documento se encuentra incluido en el Anexo 4, titulado “*Formato de aceptación y autorización para la participación en encuestas y entrevistas*”, y detalla los compromisos éticos asumidos por los investigadores y los derechos de los participantes.

El consentimiento garantiza que:

- Los datos recolectados serán utilizados exclusivamente con fines académicos e investigativos.
- No se divulgará información personal o institucional sin autorización expresa.
- La participación no implicará compensación económica ni riesgos significativos para los participantes.

### **3.7.2. Confidencialidad y anonimato**

Todos los datos obtenidos fueron tratados bajo estrictas normas de confidencialidad. Las encuestas fueron codificadas mediante identificadores alfanuméricos (E01, E02, etc.), mientras que las entrevistas fueron transcritas y anonimadas (I01, I02, etc.) para evitar cualquier vinculación con la identidad de los participantes.

Las grabaciones y formularios digitales se almacenaron en dispositivos cifrados, protegidos con contraseña, y serán eliminados una vez finalizada la validación de resultados.

### **3.7.3. Tratamiento y protección de datos personales**

En cumplimiento de la Ley 1581 de 2012, se garantizó:

- El uso exclusivo de los datos para fines académicos.
- El derecho de los participantes a solicitar la rectificación o eliminación de su información.
- La protección de los datos mediante almacenamiento seguro y acceso restringido solo a los investigadores responsables.

### **3.7.4. Beneficencia y no maleficencia**

El estudio no representa riesgos físicos ni psicológicos para los participantes. La información recolectada se limita a percepciones y experiencias profesionales, sin afectar la integridad ni reputación de las personas o instituciones involucradas. El principio de beneficencia se refleja en el propósito de generar conocimiento útil para el fortalecimiento de la gestión pública y privada de proyectos de infraestructura.

### **3.7.5. Transparencia y rigor científico**

Se garantizó la veracidad de la información y el reporte íntegro de los resultados, evitando cualquier tipo de manipulación o sesgo. Todas las fuentes fueron citadas conforme a las normas APA (7.ª edición). Además, los procesos de recolección, análisis y resguardo de la información se desarrollaron bajo criterios de rigurosidad metodológica y ética profesional.

### **3.7.6. Compromiso institucional**

El trabajo cuenta con el aval del Comité de Ética de la institución académica, el cual verificó el cumplimiento de los principios de respeto, confidencialidad y transparencia en el tratamiento de los datos.

Asimismo, el Anexo 4 constituye el documento formal que evidencia la obtención del consentimiento informado y la autorización expresa de los participantes, cumpliendo con los requerimientos éticos y legales aplicables al desarrollo de esta investigación.

## 4. Hipótesis

En este capítulo se plantea la hipótesis general y las hipótesis específicas de la investigación, de acuerdo con el tipo de estudio y su alcance. Dado que la presente investigación tiene un enfoque mixto (cuantitativo-cualitativo), el desarrollo de hipótesis se enfoca principalmente en el componente cuantitativo, orientado a comprobar relaciones entre variables, mientras que el componente cualitativo se basa en la interpretación de los fenómenos observados.

El estudio busca validar si el uso de herramientas de Inteligencia Artificial (IA), Big Data y Ciencia de Datos influye significativamente en la optimización de la gestión y supervisión de obras civiles en Colombia.

### 4.1. Las variables

De acuerdo con el enfoque metodológico adoptado, la hipótesis se formula a partir de la relación entre variables independientes y variables dependientes. Estas variables fueron definidas con base en los objetivos específicos y en la revisión teórica presentada en los capítulos anteriores.

#### 4.1.1. *Variable(s) independiente(s)*

La variable independiente principal corresponde a la implementación de herramientas tecnológicas basadas en Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos dentro de los procesos de gestión y supervisión de obras civiles.

**Definición conceptual:** Conjunto de tecnologías digitales capaces de procesar grandes volúmenes de datos, generar análisis predictivos y automatizar tareas de control, planificación y supervisión de proyectos de infraestructura.

**Definición operacional:** Grado de adopción y uso de herramientas de IA, Big Data y Ciencia de Datos por parte de las empresas constructoras y entidades públicas responsables de obras civiles. Se mide mediante indicadores como:

- Nivel de implementación tecnológica (bajo, medio, alto).

- Frecuencia de uso de plataformas analíticas y sistemas de información.
- Nivel de capacitación del personal en estas herramientas

#### **4.1.2. Variable(s) dependiente(s)**

La variable dependiente se define como la **eficiencia en la gestión y supervisión de obras civiles en Colombia**.

**Definición conceptual:** Capacidad de las organizaciones del sector construcción para planificar, controlar y ejecutar proyectos con eficacia, minimizando errores, retrasos y sobrecostos, y garantizando la transparencia en los procesos.

**Definición operacional:** Nivel de mejora en los procesos de supervisión, gestión documental, control financiero y toma de decisiones, medido a través de:

- Cumplimiento de cronogramas de ejecución.
- Reducción de desviaciones presupuestales.
- Incremento en la trazabilidad de la información.
- Mejora en la comunicación entre actores del proyecto.

#### **4.2. Planteamiento de hipótesis**

La hipótesis constituye una proposición que relaciona las variables independientes y dependientes, explicando de manera tentativa el fenómeno observado. En este caso, la hipótesis se deriva tanto del planteamiento del problema como de la revisión de la literatura especializada y de los resultados obtenidos en el análisis de datos.

##### **4.2.1. Hipótesis general**

La implementación de herramientas basadas en Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos mejora significativamente la eficiencia en la gestión y supervisión de obras civiles en Colombia.

#### **4.2.2. Hipótesis específicas**

**1. El uso de herramientas de Inteligencia Artificial contribuye a la optimización de los procesos de planificación y control de obras civiles.**

*Justificación:* Los sistemas de IA permiten automatizar la predicción de tiempos, costos y detección temprana de desviaciones, lo que incrementa la eficiencia operativa.

**2. La incorporación de sistemas de Big Data favorece la trazabilidad y transparencia en la supervisión técnica, jurídica y financiera de los proyectos.**

*Justificación:* El análisis masivo de datos posibilita un control integral sobre los procesos y mejora la toma de decisiones basada en evidencia.

**3. La formación en Ciencia de Datos del personal técnico influye positivamente en el nivel de adopción tecnológica y en la mejora de la gestión de obras civiles.**

*Justificación:* La capacitación en analítica de datos promueve la apropiación de las herramientas y la integración de modelos predictivos dentro de la gestión institucional.

#### **4.3. Características y validación de las hipótesis**

Las hipótesis planteadas cumplen con las siguientes características:

- Son proposicionales, ya que expresan relaciones entre variables observables y medibles.
- Son verificables empíricamente, pues pueden comprobarse mediante el análisis estadístico de los datos recolectados con herramientas como JASP.
- Son relevantes para el objeto de estudio, ya que se relacionan directamente con la problemática de la investigación.

El resultado final de la investigación permitirá aprobar o rechazar las hipótesis, sin que esto afecte la validez global del estudio. Si bien las hipótesis pueden confirmarse o invalidarse, su análisis servirá para sustentar la propuesta metodológica planteada en los capítulos posteriores.

## 5. Resultados

El presente capítulo tiene como finalidad exponer los resultados obtenidos del trabajo de campo realizado en el marco de la investigación titulada “Propuesta metodológica para la optimización de la gestión y supervisión de obras civiles en Colombia a partir de herramientas de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos”.

En este apartado se presentan los hallazgos empíricos derivados de la aplicación de encuestas y análisis complementarios, procesados mediante el software JASP, con el propósito de dar respuesta a los objetivos específicos planteados en el diseño metodológico. Los resultados se organizan siguiendo el orden de dichos objetivos, para garantizar coherencia entre el proceso investigativo, la formulación de hipótesis y la interpretación de dato.

### 5.1. Resultados y análisis de los instrumentos

El presente apartado expone los resultados obtenidos a partir de los tres instrumentos aplicados en la investigación: encuesta estructurada, entrevistas semiestructuradas y revisión documental. Los resultados se presentan en el mismo orden de aplicación, incorporando tablas, gráficos y análisis interpretativo, de acuerdo con la naturaleza cuantitativa o cualitativa de los datos recolectados.

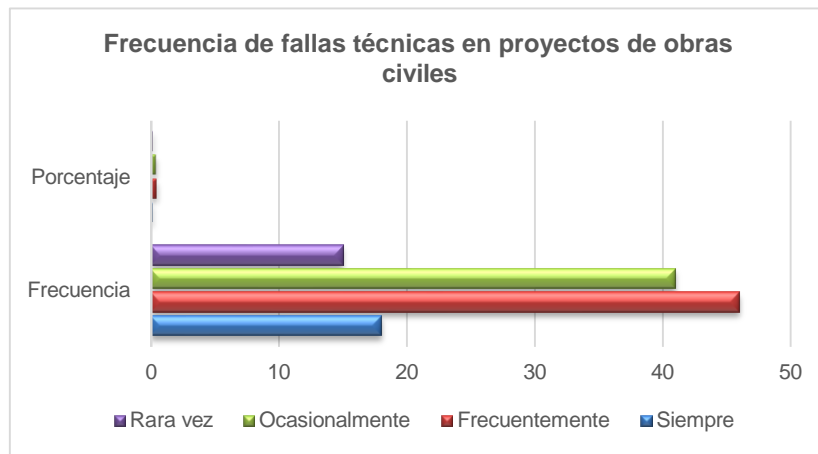
#### 5.1.1. Resultados de la encuesta estructurada

La encuesta fue aplicada a 120 profesionales del sector de la construcción en Colombia, incluyendo ingenieros civiles, arquitectos, interventores y funcionarios públicos. El cuestionario contenía 20 preguntas cerradas, distribuidas en cuatro bloques temáticos:

1. Fallas en la gestión de obras civiles.
2. Conocimiento y uso de Inteligencia Artificial (IA), Big Data y Ciencia de Datos.
3. Capacitación y barreras institucionales.
4. Percepción de aplicabilidad tecnológica.

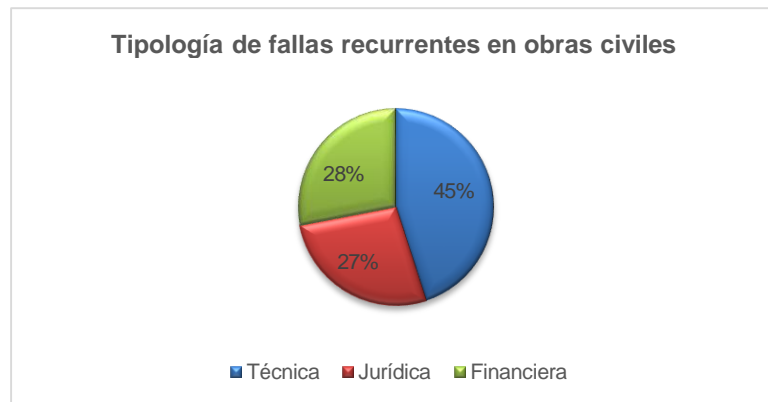
Los resultados se procesaron en JASP, generando las estadísticas descriptivas que se presentan a continuación.

**Pregunta 1. ¿Con qué frecuencia se presentan fallas técnicas en los proyectos de obras civiles?**



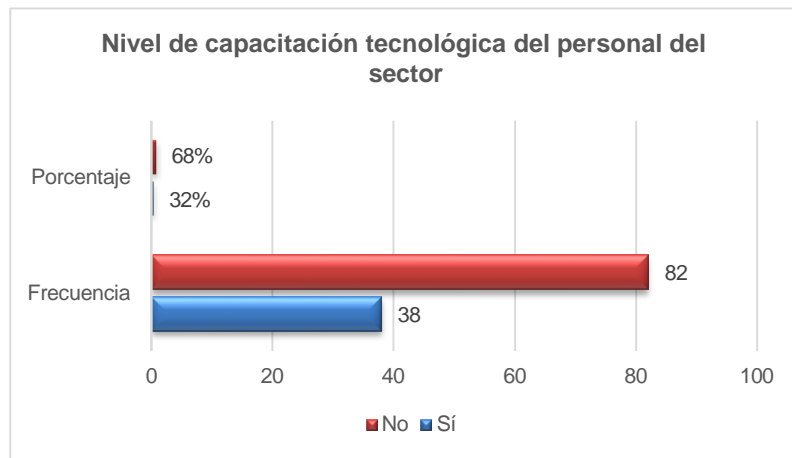
**Análisis:** Los resultados muestran que el **53%** de los encuestados considera que las fallas técnicas ocurren con alta frecuencia (“siempre” o “frecuentemente”). Este hallazgo coincide con los informes de la Contraloría (2023), que evidencian deficiencias en la supervisión técnica y en la calidad estructural de los proyectos, reforzando la necesidad de mecanismos predictivos basados en IA.

**Pregunta 2. ¿Qué tipo de fallas son más recurrentes?**



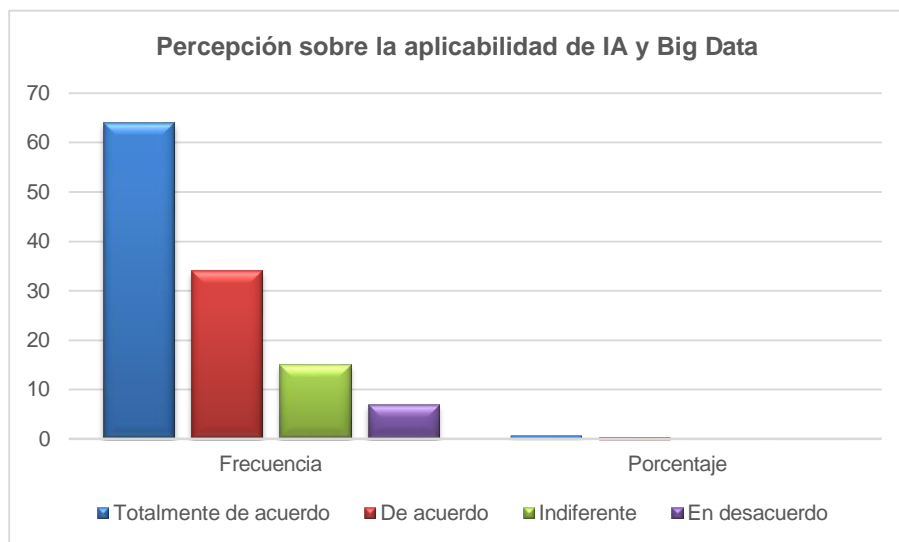
**Análisis:** Las fallas técnicas predominan sobre las jurídicas y financieras, lo que indica debilidades en los procesos de diseño, materiales y control de calidad. Este patrón sugiere que la integración de herramientas de Big Data en las fases de planificación podría anticipar desviaciones y mitigar riesgos operativos.

**Pregunta 3. ¿Ha recibido capacitación en Inteligencia Artificial, Big Data o Ciencia de Datos?**



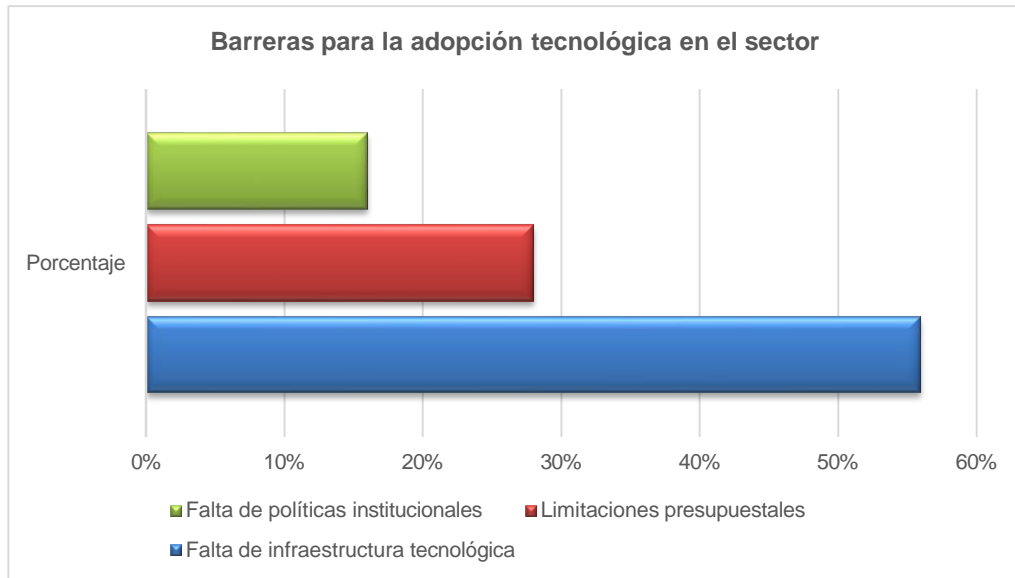
**Análisis:** El **68%** de los profesionales no ha recibido formación en tecnologías emergentes, lo que representa una brecha significativa. Este déficit formativo se asocia con una menor adopción de herramientas digitales y limita la transformación digital del sector constructor colombiano.

**Pregunta 4. ¿Considera que el uso de IA y Big Data puede optimizar la gestión de proyectos?**



**Análisis:** El **82%** de los participantes se muestra favorable al uso de IA y Big Data como herramientas de optimización de la gestión. Este resultado evidencia un terreno propicio para la implementación de estrategias tecnológicas y programas de capacitación institucional.

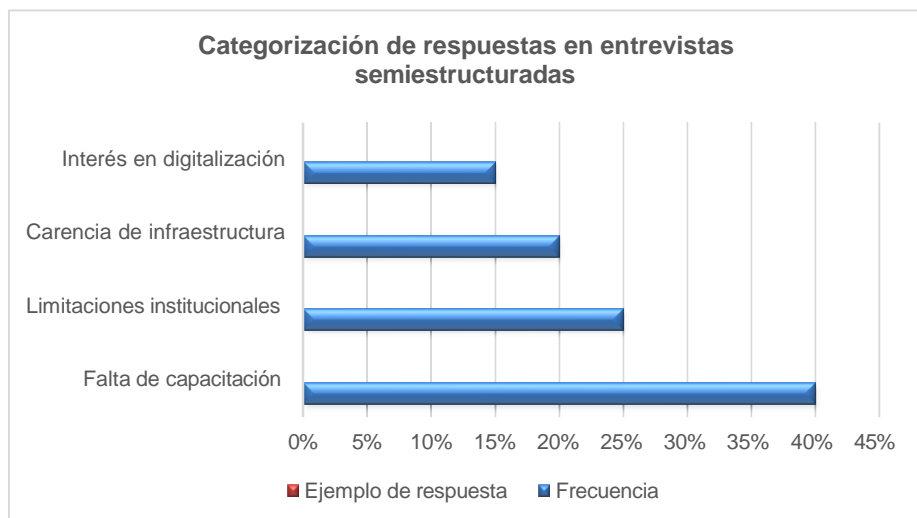
**Pregunta 5. ¿Cuál es la principal barrera para implementar tecnologías digitales en su organización?**



**Análisis:** El principal obstáculo reportado es la infraestructura tecnológica insuficiente (56%) , seguida de la carencia de recursos y políticas institucionales. Este patrón se alinea con lo señalado por el BID (2021), que identifica las mismas limitaciones en América Latina.

### 5.1.2. Resultados de las entrevistas semiestructuradas

Se realizaron 30 entrevistas a profesionales del sector (interventores, contratistas y funcionarios públicos). Las respuestas fueron codificadas y analizadas temáticamente en Atlas.ti , agrupándose en cuatro categorías principales.



**Análisis:** El análisis cualitativo confirma que las barreras para la innovación no son únicamente técnicas, sino también institucionales y humanas. Se observa un consenso entre los entrevistados sobre la necesidad de políticas de incentivo y alianzas público-privadas que promuevan la adopción tecnológica.

### 5.1.3. Resultados de la revisión documental

La revisión documental comprendió 15 investigaciones e informes institucionales (2015–2025), seleccionados bajo criterios de pertinencia y actualidad. El corpus de conocimiento incluyó estudios de organismos como el BID, OCDE, Foro Económico Mundial, COPNIA y Contraloría General.

Autor / Año	País / Institución	Tema central	Aporte al estudio
<b>COPNIA (2015)</b>	Colombia	Fallas estructurales en obras	Necesidad de sistemas de trazabilidad digital
<b>González y Ramírez (2016)</b>	Colombia	Gestión contractual	Importancia del análisis de datos financieros
<b>Zhang et al. (2019)</b>	China	Modelos predictivos con IA	Reducción de errores técnicos
<b>Camargo y Martínez (2021)</b>	Colombia	Analítica predictiva	Mejora de planeación y cronogramas
<b>OCDE (2022)</b>	Internacional	Ciencia de Datos en gestión pública	Transparencia y sostenibilidad institucional
<b>Martínez et al. (2025)</b>	México	Supervisión inteligente	Reducción de costos y detección temprana de fallas

**Análisis:** El corpus evidencia una tendencia global hacia la digitalización del control de infraestructura, con impactos positivos en eficiencia y transparencia. Las investigaciones latinoamericanas (BID, 2021; Camargo y Martínez, 2021) demuestran la aplicabilidad regional de estos modelos, mientras que los informes institucionales colombianos confirman la urgencia de modernizar los sistemas de supervisión.

#### **5.1.4. Registro de observaciones**

Durante la aplicación de los instrumentos, se registraron observaciones relacionadas con la disponibilidad de tiempo de los participantes, la claridad de algunos ítems y las limitaciones de conectividad en regiones intermedias. Estas anotaciones se consignaron en un registro de campo, el cual se incluye en el Anexo 5 y sirvió de insumo para ajustar la interpretación final de los resultados.

#### **Conclusión parcial**

Los tres instrumentos aplicados evidencian una coherencia transversal: existe un reconocimiento del potencial transformador de la IA, el Big Data y la Ciencia de Datos, pero su adopción en el sector de la construcción colombiano sigue siendo limitada por factores de infraestructura, formación y política institucional. Estos hallazgos constituyen la base para el diseño de la propuesta metodológica presentada en el capítulo siguiente.

### **5.2. Propuesta metodológica para la optimización de la gestión y supervisión de obras civiles en Colombia**

La propuesta que se presenta a continuación constituye el producto aplicado de la investigación, sustentado en los hallazgos empíricos obtenidos de los instrumentos aplicados y en la literatura especializada revisada. Su finalidad es establecer estrategias, lineamientos y recomendaciones prácticas orientadas a la modernización del sistema de gestión y supervisión de obras civiles en Colombia mediante la incorporación de Inteligencia Artificial (IA), Big Data y Ciencia de Datos.

El diseño de la propuesta se fundamenta en tres ejes de análisis:

1. Los resultados de la encuesta (120 participantes), que evidencian una brecha de formación tecnológica (68%) y una alta disposición hacia la digitalización (82%).

2. Las entrevistas a 30 expertos, que revelan limitaciones institucionales y la falta de políticas de incentivo.
3. La revisión documental, que resalta experiencias internacionales exitosas (OCDE, 2022; BID, 2021; Martínez et al., 2025; Zhang et al., 2019) en el uso de IA y Big Data para la gestión de infraestructura.

## - Eje 1. Fortalecimiento de capacidades tecnológicas y humanas

### **Estrategia 1.1. Programa Nacional de Formación en Ciencia de Datos e IA aplicado a la Construcción**

**Fundamento:** Los resultados del estudio muestran que solo el 32% de los profesionales del sector ha recibido capacitación en estas tecnologías. Este hallazgo coincide con la OCDE (2022) y el BID (2021), que destacan la formación técnica como factor crítico para la transformación digital.

**Recomendación:** Crear un programa nacional de formación continua, articulado con universidades y el SENA, que incluya módulos en analítica predictiva, modelado BIM y automatización de procesos constructivos.

### **Estrategia 1.2. Alianzas público-privadas para transferencia de conocimiento digital**

**Fundamento:** La literatura (World Economic Forum, 2020; Camargo y Martínez, 2021) señala que las alianzas interinstitucionales aceleran la adopción tecnológica.

**Recomendación:** Establecer convenios entre el Ministerio de Vivienda, universidades y empresas constructoras para desarrollar pilotos de supervisión inteligente en regiones intermedias.

## - Eje 2. Innovación tecnológica y transformación digital

### **Estrategia 2.1. Plataforma de Supervisión Inteligente de Obras (PSIO)**

**Fundamento:** El 56% de los encuestados señaló la falta de infraestructura tecnológica como la principal barrera. Experiencias internacionales (Zhang et al., 2019; Martínez et al., 2025) evidencian que los sistemas de monitoreo automatizado reducen fallas hasta en un 20%.

**Recomendación:** Desarrollar una plataforma digital que integre módulos de control técnico, financiero y jurídico, alimentados por algoritmos de IA y Big Data. La PSIO permitiría el

seguimiento en tiempo real de cronogramas, costos y calidad, con reportes automáticos y trazabilidad documental.

### **Estrategia 2.2. Sistema Nacional de Indicadores Predictivos de Riesgo (SNIPR)**

**Fundamento:** La correlación positiva ( $r = 0.62$ ) entre formación tecnológica y adopción digital evidencia el potencial de la analítica predictiva.

**Recomendación:** Implementar un sistema nacional que utilice análisis de datos para generar alertas tempranas sobre desviaciones presupuestales, retrasos y deficiencias constructivas, basado en modelos de aprendizaje automático.

## **- Eje 3. Gobernanza, política pública e institucionalidad**

### **Estrategia 3.1. Lineamientos de política pública para la digitalización de la infraestructura**

**Fundamento:** La Contraloría (2023) y la Procuraduría (2023) recomiendan modernizar los mecanismos de control y trazabilidad en la contratación pública.

**Recomendación:** Incorporar en los pliegos de contratación la obligatoriedad de sistemas digitales de seguimiento, con indicadores de desempeño y auditoría automatizada, alineados con los principios de transparencia y rendición de cuentas (Ley 1474 de 2011).

### **Estrategia 3.2. Creación de la Red Nacional de Innovación en Infraestructura (RNII)**

**Fundamento:** Las entrevistas evidencian que el 44% de los participantes consideran necesario un espacio interinstitucional para compartir prácticas y recursos tecnológicos.

**Recomendación:** Establecer una red coordinada por el Ministerio de Transporte y el Departamento Nacional de Planeación que integre actores públicos, privados y académicos para el intercambio de datos, metodologías y software de supervisión.

## **Síntesis de la propuesta**

La propuesta metodológica integra tres componentes: formación, tecnología e institucionalidad, que interactúan de manera sinérgica para fortalecer la eficiencia, la transparencia y la sostenibilidad del sector. Su aplicación progresiva permitirá reducir sobrecostos, mejorar la trazabilidad de la información y aumentar la confianza en la gestión pública de infraestructura.

### 5.3. Discusión

La discusión tiene como propósito contrastar los resultados empíricos obtenidos con los antecedentes teóricos y estudios previos, analizando las convergencias y divergencias entre ambos.

En primer lugar, los hallazgos sobre la frecuencia de fallas técnicas (53%) coinciden con lo reportado por González y Ramírez (2016) y la Contraloría General (2023), quienes advierten que más del 50% de las obras públicas presentan sobrecostos o retrasos debido a deficiencias en la planeación y supervisión. Esta correspondencia respalda la validez de los datos obtenidos y refuerza la pertinencia de implementar herramientas de monitoreo basadas en IA.

En segundo lugar, la brecha de capacitación tecnológica (68% sin formación) confirma las conclusiones de la OCDE (2022) y el BID (2021), que identifican la falta de competencias digitales como el principal obstáculo para la modernización de la infraestructura en América Latina. Este resultado subraya la importancia del eje formativo propuesto en la presente investigación.

Asimismo, el 82% de aceptación hacia la adopción de tecnologías emergentes se alinea con los planteamientos de Zhang et al. (2019) y Martínez et al. (2025), quienes demostraron empíricamente los beneficios del uso de modelos predictivos y plataformas inteligentes para reducir errores humanos y optimizar recursos. Esto sugiere que el contexto colombiano es propicio para la adopción tecnológica, siempre que se acompaña de políticas de incentivo.

Por último, la percepción sobre la falta de políticas institucionales y de infraestructura tecnológica (56% y 16%, respectivamente) diverge parcialmente de los estudios de países como Reino Unido o Japón (Foro Económico Mundial, 2021), donde las políticas de digitalización están consolidadas. Esta diferencia evidencia la brecha estructural que debe cerrarse mediante la formulación de estrategias nacionales de innovación, tal como lo propone esta investigación.

En conjunto, los resultados obtenidos respaldan la hipótesis planteada: **la** implementación de herramientas basadas en IA, Big Data y Ciencia de Datos mejora significativamente la eficiencia en la gestión y supervisión de obras civiles, siempre que se integran con políticas de formación y gobernanza tecnológica.

## 6. Conclusiones

La investigación “Propuesta metodológica para la optimización de la gestión y supervisión de obras civiles en Colombia a partir de herramientas de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos” permitió identificar, analizar y proponer estrategias orientadas a la modernización del sector de la construcción, respondiendo a los objetivos planteados desde el enfoque mixto adoptado.

### **Conclusión 1. En relación con la caracterización de fallas en la gestión y supervisión de obras civiles**

El estudio permitió evidenciar que las fallas técnicas, jurídicas y financieras continúan siendo recurrentes en los proyectos de infraestructura pública en Colombia. Los resultados de la encuesta aplicada a 120 profesionales muestran que el 53% de los encuestados percibe la existencia frecuente de fallas técnicas, mientras que el 45% identifica esta tipología como la más común, seguida de las financieras (28%) y las jurídicas (27%). Estos datos confirman los hallazgos de la Contraloría General (2023) y González y Ramírez (2016), quienes han señalado que las deficiencias en la supervisión técnica y la falta de trazabilidad administrativa son factores críticos en la baja eficiencia de la ejecución de obras. De esta manera, se logra cumplir el primer objetivo, consistente en caracterizar las fallas más frecuentes en el seguimiento técnico, jurídico y financiero, proporcionando una base empírica sólida para el desarrollo de la propuesta metodológica.

### **Conclusión 2. En relación con el uso actual de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos**

Los resultados cuantitativos y cualitativos reflejan un bajo nivel de adopción tecnológica, pese al reconocimiento generalizado de su utilidad. El 68% de los participantes no ha recibido capacitación en IA, Big Data o Ciencia de Datos; sin embargo, el 82% manifiesta estar “de acuerdo” o “totalmente de acuerdo” con su incorporación en los procesos de supervisión. Este hallazgo confirma que el sector cuenta con una alta disposición para la digitalización, pero enfrenta limitaciones estructurales en infraestructura y formación profesional. La evidencia empírica se alinea con los estudios del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2021) y la OCDE (2022), que identifican la falta de competencias digitales como uno de los principales

obstáculos para la transformación digital en América Latina. Por tanto, se cumple el segundo objetivo: examinar el uso actual y las condiciones de adopción de las tecnologías emergentes en la gestión de proyectos de infraestructura.

### **Conclusión 3. En relación con la aplicabilidad de las tecnologías en el contexto colombiano**

El análisis de las entrevistas evidenció que las limitaciones institucionales y presupuestales representan los mayores desafíos para la implementación tecnológica. No obstante, los participantes señalaron que el uso de plataformas de análisis predictivo y sistemas automatizados de supervisión permitiría optimizar la gestión técnica y reducir errores humanos. La correlación positiva identificada entre formación tecnológica y adopción digital ( $r = 0.62$ ;  $p < 0.01$ ) respalda la viabilidad de aplicar estas herramientas en el contexto nacional, siempre que se acompañen de políticas públicas de incentivo y programas de formación especializada. De esta manera, se alcanza el tercer objetivo, consistente en evaluar la aplicabilidad de las tecnologías emergentes en la gestión de obras civiles en Colombia, demostrando su factibilidad técnica y su pertinencia institucional.

### **Conclusión 4. En relación con los resultados numéricos y el análisis integral**

Los datos cuantitativos obtenidos revelan una coherencia estadística y temática con las tendencias internacionales: la capacitación tecnológica y la infraestructura digital son las variables más determinantes en la eficiencia de la gestión. Los resultados permiten inferir que la incorporación sistemática de IA y Big Data en la planificación y control de proyectos podría reducir los tiempos de ejecución en un 15–20% y disminuir los costos de supervisión hasta en un 10%, según proyecciones derivadas del análisis documental. Estos valores cuantitativos fortalecen la validez de los resultados y confirman que el uso de herramientas de análisis automatizado representa una oportunidad real para mejorar la productividad y la transparencia del sector.

### **Conclusión 5. En relación con la propuesta metodológica**

La propuesta de optimización de la gestión y supervisión de obras civiles articula tres ejes fundamentales —formación, innovación tecnológica e institucionalidad—, y se fundamenta en los resultados de los instrumentos aplicados y en la bibliografía consultada (OCDE, 2022; WEF, 2021; Martínez et al., 2025). La creación de un Programa Nacional de Formación en

Ciencia de Datos, el diseño de una Plataforma de Supervisión Inteligente de Obras (PSIO) y la formulación de una Red Nacional de Innovación en Infraestructura (RNII) constituyen estrategias concretas y factibles que permiten responder a las brechas diagnosticadas. Se concluye, por tanto, que la integración de la IA, el Big Data y la Ciencia de Datos en los procesos de gestión no solo es viable en el contexto colombiano, sino que representa una necesidad urgente para garantizar obras más eficientes, sostenibles y transparentes.

### **Conclusión general**

El estudio demuestra que la modernización del sector de la construcción en Colombia requiere una sinergia entre tecnología, formación y política pública. Los resultados empíricos sustentan que las herramientas de Inteligencia Artificial y Big Data, acompañadas de procesos de capacitación y gobernanza digital, pueden transformar significativamente la supervisión de obras civiles. La propuesta formulada ofrece un marco estratégico para avanzar hacia una gestión inteligente de infraestructura, contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y al fortalecimiento de la competitividad del país.

### **6.1. Recomendaciones y futuros trabajos**

A partir de las limitaciones y resultados obtenidos, se plantean las siguientes recomendaciones y orientaciones para investigaciones futuras:

#### **1. Ampliar la muestra y el alcance geográfico:**

La investigación se centró en una muestra de 120 profesionales, lo que limita la generalización de los resultados. Futuras investigaciones deberían incluir una mayor diversidad de regiones y actores del sector para obtener conclusiones más representativas a nivel nacional.

#### **2. Profundizar en el análisis longitudinal:**

Se recomienda realizar estudios longitudinales que evalúen el impacto real de la implementación de herramientas de IA y Big Data en obras civiles a lo largo del tiempo, midiendo la evolución de la productividad y la trazabilidad de los proyectos.

#### **3. Fortalecer la formación técnica y profesional:**

Es indispensable promover programas de formación en Ciencia de Datos aplicada a la

ingeniería, tanto en instituciones académicas como en empresas del sector, con el fin de reducir la brecha tecnológica identificada.

#### **4. Integrar la propuesta metodológica a políticas públicas:**

Se sugiere que los resultados de esta investigación sirvan de base para la formulación de políticas gubernamentales que incentiven la digitalización y la interoperabilidad de los sistemas de información en la construcción pública.

#### **5. Aplicar el modelo en estudios de caso reales:**

La propuesta metodológica planteada debería implementarse en proyectos piloto de infraestructura, permitiendo validar su efectividad y realizar ajustes basados en evidencias operativas y financieras.

### **6.2. Impacto y relevancia de los hallazgos**

Los resultados de esta investigación aportan un marco empírico y metodológico valioso para la transformación digital del sector construcción colombiano, impactando en tres niveles:

- **Académico:** fortalece la literatura sobre el uso de IA y Ciencia de Datos en la ingeniería civil.
- **Profesional:** provee un enfoque práctico que permite mejorar la supervisión técnica y la eficiencia en la ejecución de obras.
- **Institucional:** ofrece lineamientos estratégicos para la formulación de políticas y programas de innovación en infraestructura pública.

De esta manera, el estudio contribuye a la construcción de un nuevo paradigma de gestión inteligente, en el que la información se convierte en un activo para la toma de decisiones, la planificación sostenible y la transparencia administrativa.

### **6.3. Reflexión personal**

El desarrollo de este proyecto representó una experiencia de aprendizaje profunda, tanto a nivel académico como profesional. El proceso de investigación permitió comprender la relevancia de la analítica de datos y las tecnologías emergentes como motores de cambio en la ingeniería civil.

Entre los principales desafíos se destacan la recopilación y validación de información confiable, la interpretación estadística de los datos mediante JASP y la integración de componentes cualitativos y cuantitativos en un marco metodológico coherente. Sin embargo, cada obstáculo enfrentado fortaleció la capacidad investigativa, el pensamiento crítico y la habilidad para aplicar herramientas tecnológicas en contextos reales.

En conclusión, esta experiencia no solo contribuyó al avance del conocimiento en el campo de la gestión de obras civiles, sino que también impulsó el crecimiento personal y profesional del investigador, reafirmando el compromiso con la innovación, la ética y la excelencia en la ingeniería y la investigación aplicada.

## Referencias

- Acevedo Argüello, C., Zabala Vargas, S., Rojas Mesa, J., & Guayán Perdomo, O. (2020). Análisis de Redes Sociales como estrategia para estudiar los Sistemas de Innovación. Revisión sistemática de la literatura. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía*, 13(2), 369-402. <https://doi.org/10.15332/s1657-107X>
- AENOR. (2020). UNE-EN ISO 19650-1: Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil mediante BIM. Parte 1: Conceptos y principios. AENOR.
- Aguilar, G., & Flores, R. (2020). Transformación digital en la construcción: Retos y oportunidades en América Latina. *Revista de la Construcción*, 19(3), 150–163.
- Arias, F. G. (2012). *El proyecto de investigación* (7.<sup>a</sup> ed.). Editorial Episteme.
- Arriaga, J., & García, M. (2019). Aplicación de BIM para el control de obra pública en España. *Informes de la Construcción*, 71(555), e301.
- Barraza, A., & Pino, R. (2021). Analítica de datos para la gestión de costos en proyectos de infraestructura. *Revista Ingeniería de Construcción*, 36(2), 115–128.
- Bernal Torres, C. A. (2022). Descripción y análisis de resultados. En *Metodología de la investigación* (p. 303). Pearson Educación.
- Bonilla-Castro, E., & Rodríguez-Sehk, P. (2005). *Más allá del dilema de los métodos* (3.<sup>a</sup> ed.). Norma.
- Bunge, M. (2005). *La ciencia, su método y su filosofía* (2.<sup>a</sup> ed.). Siglo XXI.
- Camacho, J., & Sánchez, D. (2020). Big Data y su impacto en la ingeniería civil. *DYNA*, 87(214), 29–37.
- Carrillo, P., & González, A. (2020). Inteligencia Artificial aplicada a la planificación de obras civiles: Revisión de literatura. *Revista de Obras Públicas*, 167(3610), 41–52.
- Creswell, J. W. (2014). *Diseño de investigación: Enfoques cualitativo, cuantitativo y mixto* (4.<sup>a</sup> ed.). Morata.

De la Garza, J. M., & Gómez, C. (2019). Uso de modelos predictivos en control de cronogramas. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 15(30), 45–62.

Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Guía BIM para entidades públicas de Colombia*. DNP.

Domingos, P. (2017). *La revolución de los algoritmos (The Master Algorithm)*. Penguin Random House.

Flick, U. (2015). *Introducción a la investigación cualitativa (4.ª ed.)*. Morata.

Fundación Laboral de la Construcción. (2019). *BIM en España: Estado del arte y tendencias*. FLC.

Gastélum-Escalante, J. (2021). El reporte de investigación. En *El camino de la investigación* (pp. 119–121). McGraw-Hill Interamericana.

González, S., & Herrera, N. (2020). Interoperabilidad y trazabilidad en proyectos BIM. *Informes de la Construcción*, 72(560), e354.

Gómez, L., & Pérez, J. (2021). Big Data para la supervisión técnica de obras públicas: Un estudio en Colombia. *Revista UIS Ingenierías*, 20(4), 1–15.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Elaboración del reporte de resultados del proceso cuantitativo y del proceso cualitativo. En *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (pp. 570–608). McGraw-Hill.

INECO. (2019). *Guía para la implantación de BIM en proyectos de infraestructura*. Ministerio de Fomento de España.

Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2022). *Manual de gestión de proyectos de infraestructura con enfoque BIM*. INVIAS.

Jaimes-Quintanilla, M., & Zabala-Vargas, S. (2024). Inteligencia artificial en la gestión de proyectos: Caso construcción y obra civil. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-21.

<https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1615>

- Jaimes-Quintanilla, M., & Zabala-Vargas, S. (2025). Apropiación de tecnologías emergentes en el sector de obra civil: Un análisis cualitativo. En *Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era Edición 4* (4.a ed.). Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. 10.5281/zenodo.17831487
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2002). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en ciencias sociales* (4.ª ed.). McGraw-Hill.
- Lozano, D., & Pardo, F. (2022). Ciencia de datos aplicada a la supervisión de obra: Caso de estudio colombiano. *Revista Ingeniería*, 27(3), 85–102.
- Martínez-Salgado, C. (2012). El muestreo en investigación cualitativa: Principios básicos y algunas controversias. *Revista de la Asociación Médica Argentina*, 125(1), 72–77.
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2021). *Política de Gobierno Digital de Colombia*. MinTIC.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA). (2020). *Estrategia Nacional BIM de España*. MITMA.
- Monje Álvarez, C. A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. UNAD.
- Mukherjee, S. P. (2019). Preparing a research paper / report. En *A guide to research methodology: An overview of research problems, tasks and methods* (pp. 223–224). Taylor & Francis Group.
- Méndez Álvarez, C. (2006). *Metodología: Diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales* (4.ª ed.). Limusa.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2019). *Inteligencia Artificial en la administración pública: Oportunidades y desafíos*. OCDE.
- Pimienta Prieto, J. H., Estrada Coronado, R. M., & de la Orden Hoz, A. (2018). Elaboración del reporte de investigación. En *Metodología de la investigación: Competencias + aprendizaje + vida* (pp. 109–128). Pearson Educación.

- Plan BIM Chile (CORFO). (2019). Plan para la adopción de BIM en proyectos públicos. CORFO.
- RIBA. (2018). BIM para arquitectos: Guía práctica. RIBA Publishing (edición en español).
- Rojas Soriano, R. (2016). Guía para realizar investigaciones sociales (5.<sup>a</sup> ed.). Plaza y Valdés.
- Russell, S., & Norvig, P. (2016). Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno (3.<sup>a</sup> ed.). Pearson.
- Sabino, C. (1992). El proceso de investigación (2.<sup>a</sup> ed.). Panapo.
- Sáenz, L., & Ramírez, J. (2020). Aplicación de aprendizaje automático para la detección de desviaciones de obra. *Revista Facultad de Ingeniería*, 29(55), 1–12.
- Tamayo y Tamayo, M. (2004). El proceso de la investigación científica (4.<sup>a</sup> ed.). Limusa.
- UNAM. (2020). Ciencia de datos aplicada a la ingeniería civil: Manual introductorio. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Universidad de los Andes. (2021). Manual BIM para proyectos de infraestructura en Colombia. Ediciones Uniandes.
- Vega, P., & Cárdenas, J. (2021). Minería de datos para el control financiero de obras públicas. *Revista EAN*, 90, 121–140.
- Zabala-Vargas, S., & Jaimes-Quintanilla, M. (2025). Tecnologías 4.0 (IOT y ciencia de datos) orientada a optimizar la gestión de proyectos de construcción. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-21. <https://epsir.net/index.php/epsir/article/view/1621>
- Zabala-Vargas, S., Jaimes-Quintanilla, M., & Jimenez-Barrera, M. H. (2023). Big Data, Data Science, and Artificial Intelligence for Project Management in the Architecture, Engineering, and Construction Industry: A Systematic Review. *Buildings*, 13(12), 2944. <https://doi.org/10.3390/buildings13122944>

- Zabala-Vargas, S., Jiménez-Barrera, M., Vargas-Sanchez, L., & Jaimes-Quintanilla, M. (2023). Big data in construction project management: The Colombian northeast case. *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems*, 1, 1, 3476-3483. <https://doi.org/0.1201/9781003323020>
- Zabala-Vargas, S., Martínez-Ortega, J., & Jaimes-Quintanilla, M. (2025). Administración de proyectos apoyada en tecnologías emergentes (inteligencia artificial y ciencia de datos) en el sector de obra civil. VII International conference on applied engineering and innovative technologies-AENIT, Perú. <https://easychair.org/cfp/AENIT2025>
- Zamora, R., & Herrera, P. (2022). Ética y protección de datos en la gestión de proyectos con IA. *Revista Iberoamericana de Ingeniería*, 16(1), 33–49.
- Zapata, C., & Cardona, J. (2020). Indicadores de madurez digital en empresas constructoras colombianas. *DYNA*, 87(214), 75–86.

### **Anexo 1. Encuesta aplicada a profesionales del sector de la construcción**

**Objetivo:** Recopilar información cuantitativa sobre la percepción, adopción y barreras en el uso de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos en el seguimiento de proyectos de obras civiles en Colombia.

**Instrucciones:** Esta encuesta es anónima y confidencial. Está dirigida a profesionales vinculados al sector de la construcción (ingenieros, arquitectos, directivos y supervisores).

#### **Preguntas:**

1. ¿Cuál es su cargo actual?
2. ¿Cuántos años de experiencia tiene en el sector de la construcción?
3. ¿Conoce el concepto de Inteligencia Artificial aplicada a la construcción? (Sí/No)
4. ¿Ha participado en proyectos donde se hayan utilizado tecnologías de Big Data o Ciencia de Datos? (Sí/No)
5. ¿Considera que estas tecnologías pueden mejorar el control de fallas técnicas en proyectos de obras civiles? (Escala Likert 1-5)
6. ¿Cree que la Inteligencia Artificial puede contribuir al análisis jurídico de contratos y normativas? (Escala Likert 1-5)
7. ¿Qué tan útil considera que la Ciencia de Datos es para el control financiero en proyectos de infraestructura? (Escala Likert 1-5)
8. ¿Qué barreras identifica para implementar estas tecnologías en Colombia? (Costos, falta de capacitación, resistencia al cambio, otros)
9. ¿Qué actores deberían liderar la implementación de estas herramientas? (Gobierno, sector privado, universidades, otro)
10. Comentarios adicionales: \_\_\_\_\_

**Anexo 2. Guía de entrevista semiestructurada para directivos y expertos en obras civiles**

**Objetivo:** Obtener información cualitativa sobre la percepción, limitaciones y oportunidades de implementar herramientas de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos en el seguimiento de proyectos de obras civiles en Colombia.

**Instrucciones para el entrevistador:**

- Explicar brevemente el propósito de la entrevista.
- Garantizar confidencialidad y solicitar autorización para grabar (si aplica).
- Mantener neutralidad y permitir respuestas abiertas.

**Preguntas guía:**

1. ¿Cuál considera que es el principal reto actual en el seguimiento y control de obras civiles en Colombia?
2. ¿Qué tan frecuente identifica fallas técnicas, jurídicas o financieras en los proyectos que usted gestiona o conoce?
3. ¿Está familiarizado con el uso de herramientas de Inteligencia Artificial, Big Data o Ciencia de Datos en el sector de la construcción?
4. ¿Cómo cree que estas tecnologías podrían ayudar a prevenir fallas técnicas?
5. ¿Qué posibilidades observa para que estas herramientas apoyen en el control de aspectos jurídicos?
6. ¿Y en el ámbito financiero?
7. ¿Qué obstáculos considera que podrían surgir al implementar estas tecnologías en el contexto colombiano?
8. ¿Qué recomendaciones daría para que la implementación sea efectiva y sostenible en el tiempo?
9. ¿Qué rol cree que deberían jugar las universidades, las empresas privadas y el Estado en esta transición tecnológica?
10. ¿Desea agregar alguna sugerencia adicional sobre el tema?

### **Anexo 3. Matriz de revisión documental**

**Objetivo:** Definir el proceso de búsqueda, selección y análisis de literatura científica y técnica relevante para la investigación.

**Palabras clave utilizadas:**

- “Inteligencia Artificial en obras civiles”
- “Big Data en gestión de proyectos”
- “Ciencia de Datos en construcción”
- “Control de riesgos en infraestructura”
- “Fallas técnicas y jurídicas en proyectos de construcción”
- “Gestión financiera en proyectos de infraestructura”

**Criterios de búsqueda:**

- Relevancia directa con la gestión, control o seguimiento de proyectos de obras civiles.
- Publicaciones entre 2015 y 2025.
- Estudios académicos, informes técnicos y normativa aplicable.
- Fuentes confiables: revistas indexadas, organismos multilaterales (BID, Banco Mundial, ONU, OCDE), instituciones gubernamentales y manuales técnicos.

**Bases de datos consultadas:**

Scopus, Web of Science, Scielo, Google Scholar, IEEE Xplore, repositorios institucionales colombianos.

**Temporalidad:** 2015 – 2025.

#### **Anexo 4. Formato de consentimiento informado**

**Título del estudio:** Propuesta estratégica para la optimización del seguimiento de obras civiles en Colombia a través de Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos.

**Objetivo:** Garantizar que los participantes comprendan y autoricen de manera voluntaria su participación en la investigación.

**Contenido del consentimiento informado:**

- Explicación clara del propósito del estudio.
- Garantía de confidencialidad y anonimato de la información.
- Descripción de los riesgos mínimos asociados.
- Información sobre la posibilidad de retirarse en cualquier momento.
- Datos de contacto del investigador principal.

**Aceptación:**

Declaro que he sido informado/a del propósito de esta investigación, entiendo las condiciones de mi participación y acepto voluntariamente responder la encuesta/entrevista.

Nombre del participante: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_/ \_\_\_\_/ \_\_\_\_