

Gestión Pública y Tecnología: IA como Herramienta para Evitar Sobrecostos y Errores de Planeación en Colombia

Juan Pablo Vargas Montoya

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

2026

Gestión Pública y Tecnología: IA como Herramienta para Evitar Sobrecostos y Errores de Planeación en Colombia

Juan Pablo Vargas Montoya

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

Asesor

Sergio Andrés Zabala Vargas

Doctor en Tecnología Educativa

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

19 de marzo de 2026

Contenido

Resumen 8

Introducción 11

1. Planteamiento del problema 14

1.1. Descripción del problema 14

1.2. Pregunta de investigación 15

1.3. Objetivos de la investigación 16

1.3.1. Objetivo general 16

1.3.2. Objetivos específicos 16

1.4. Justificación 16

2. Marco de referencia 20

2.1. Estado del Arte 20

2.2. Marco Teórico 26

2.3. Marco Legal 29

3. Metodología 32

3.1. Enfoque y Alcance de la Investigación 32

3.1.1. Alcance de la investigación 33

3.2. Población y Muestra 33

3.2.1. Definición de la población 33

3.2.2. Cálculo y selección de la muestra 34

3.3. Instrumento(s) 35

3.3.1. Instrumento 1: Encuesta estructurada 36

3.3.2. Instrumento 2: Guía de entrevista semiestructurada 37

3.3.3. Instrumento 3: Matriz de revisión documental 38

3.3.4 Validación del instrumento 38

3.4. Descripción de Procedimientos 39

3.5 Análisis de la Información 41

3.5.1 Procesamiento y análisis de la información 41

3.6 Consideraciones Éticas 45

3.6.1 Instrumentos de aceptación y autorización 46

4. Hipótesis 50

4.1. Las variables de Hipótesis 50

4.1.1. Variable(s) independiente(s) 50

4.1.2. Variable(s) dependiente(s) 50

4.2. Planteamiento de Hipótesis 51

5. Resultados. 54

5.1. Presentación de Resultados. 54

5.1.1. Resultados de la encuesta estructurada 54

5.1.2. Resultados de las entrevistas semiestructuradas 80

5.1.3. Matriz de revisión documental 102

5.1.4. Análisis de los hallazgos de la revisión documental 105

5.2. Propuesta Estratégica para el Sector 107

5.2.1. Procedimiento de extracción y procesamiento 114

5.3. Discusión de Resultados 115

6. Conclusiones 118

6.1. Cumplimiento de Objetivos 118

6.2. Conclusión Acerca de los Resultados 119

6.3. Conclusión Sobre la Propuesta 119

6.4. Conclusión Sobre la Hipótesis 120

6.5. Conclusión Final 121

7. Referencias 123

8. Anexos 126

Lista de Tablas

Tabla 1 Variables codificadas para el análisis cuantitativo. 42

Tabla 2 Bloque 1Diagnóstico del sector — Causas de ineficiencia y sobrecostos 81

Tabla 3 Bloque 2: Adopción de tecnología y conocimiento sobre IA 88

Tabla 4 Bloque 3: Prospectiva — Condiciones habilitadoras y recomendaciones 95

Tabla 5 Matriz de revisión documental 102

Tabla 6 Guía de variables del análisis de datos históricos 112

Lista de Figuras

Figura 1 Tamaño de empresa por número de empleados 55

Figura 2 56

Figura 3 Estrategia de transformación digital desde la alta dirección. 56

Figura 4 Indicadores para medir nivel de transformación digital 57

Figura 5 Interés en capacitación del talento humano en TD 58

Figura 6 Productos con tecnologías emergentes (IA, Big Data) 58

Figura 7 Reconocimiento de la importancia del análisis de información. 59

Figura 8 Innovación tecnológica como factor importante 60

Figura 9 Claridad en protocolos para proyectos tecnológicos 61

Figura 10 Reconocimiento de conceptos de IA, Big Data y Data Science 61

Figura 11 Tecnologías utilizadas en la organización. 62

Figura 12 Organización de la gestión en TI 63

Figura 13 Registro de información de procesos. 64

Figura 14 Responsable de transformación digital. 65

Figura 15 Adopción de sistemas inteligentes 65

Figura 16 Ambición estratégica respecto a Industria 4.0. 66

Figura 17 Digitalización de procesos por área 67

Figura 18 Uso de la tecnología en la nube (cloud) 68

Figura 19 Nivel de capacitación en competencias digitales 68

Figura 20 Importancia percibida de tecnologías emergentes. 69

Figura 21 Uso de sistemas de información para comunicación interna por área 70

Figura 22 Uso de sistemas de información para comunicación con clientes y proveedores 71

Figura 23 Uso de tecnologías en la nube (cloud) 72

Figura 24 Organización de la gestión en tecnologías de la información (TI) 73

Figura 25 Nivel de equipamiento tecnológico de la organización 74

Figura 26 Percepción sobre seguridad de la información en transformación digital 75

Figura 27 Registro de la información generada por los procesos 76

Figura 28 responsable de la transformación digital en la organización 77

Figura 29 Nivel de capacitación del talento humano en competencias Industria 4.0 78

Figura 30 Adopción de sistemas inteligentes para abordar ineficiencias de procesos 79

Figura 31 Ambición estratégica de la organización respecto a la Industria 4.0 80

Resumen

La construcción en Colombia enfrenta frecuentemente problemas relacionados con costos adicionales, demoras en los cronogramas y escasa eficacia operativa, lo que impacta negativamente en la competencia y viabilidad del sector. Con esta perspectiva, esta investigación tuvo la finalidad de examinar el efecto de la Inteligencia Artificial (IA) como una herramienta clave para disminuir costos, acortar tiempos y aumentar la eficacia en los proyectos de construcción. El estudio se llevó a cabo con un enfoque mixto, combinando análisis cuantitativo a través de encuestas aplicadas a 62 empresas del sector, y análisis cualitativo mediante entrevistas semiestructuradas realizadas a 8 expertos del área y revisión documental de proyectos con problemas de presupuesto y tiempo documentados.

Los resultados mostraron que el 78 % de los encuestados piensa que la IA podría ayudar a reducir los retrasos mediante modelos predictivos. Además, el 72 % ve la posibilidad de disminuir los sobrecostos usando sistemas de planificación automatizada. El análisis cualitativo identificó tres categorías temáticas importantes: optimización de recursos, gestión predictiva de riesgos y mejora en la toma de decisiones apoyada en datos. La revisión de documentos también confirmó que hay patrones constantes de ineficiencia vinculados a fallos en la planificación y el control.

En conclusión, el uso estratégico de herramientas de IA, especialmente en planificación predictiva, supervisión automatizada y análisis de datos históricos, puede aportar en gran medida a mejorar la eficacia y sostenibilidad del sector de la construcción. Se propone un modelo metodológico integral que combine análisis predictivo, control en tiempo real y formación

tecnológica, enfocado en reducir desviaciones tanto presupuestales como temporales en los proyectos constructivos.

Palabras Clave: Inteligencia Artificial, Construcción, Eficiencia, Gestión Predictiva, Optimización De Costos, Enfoque Mixto.

Abstract

The construction industry in Colombia frequently faces challenges related to additional costs, schedule delays, and low operational efficiency, negatively impacting the sector's competitiveness and viability. With this in mind, this research aimed to examine the effect of Artificial Intelligence (AI) as a key tool for reducing costs, shortening timelines, and increasing efficiency in construction projects. The study employed a mixed-methods approach, combining quantitative analysis through structured surveys applied to 62 construction companies, and qualitative analysis through semi-structured interviews with 8 industry experts and document review of projects with documented budget and time overruns.

The results showed that 78% of respondents believe AI could help reduce delays through predictive models. Furthermore, 72% see the potential to decrease cost overruns using automated planning systems. The qualitative analysis identified three key thematic categories: resource optimization, predictive risk management, and improved data driven decision making. The document review also confirmed consistent patterns of inefficiency linked to planning and control failures.

In conclusion, the strategic use of AI tools, especially in predictive planning, automated monitoring, and historical data analysis, can significantly contribute to improving the efficiency and sustainability of the construction sector. A comprehensive methodological model is proposed

that combines predictive analytics, real time control, and technological training, focused on reducing both budgetary and time deviations in construction projects.

Keywords: Artificial Intelligence, Construction, Efficiency, Predictive Management, Cost Optimization

Introducción

La gestión eficiente de proyectos es fundamental para el desarrollo económico y social, especialmente en el ámbito de la infraestructura pública. No obstante, a pesar de los avances en normativas y metodologías para la formulación y ejecución de proyectos, aún persisten altos niveles de sobrecostos, retrasos y desviaciones presupuestarias, lo que afecta negativamente tanto a la calidad del gasto público como a la confianza ciudadana (BID, 2020).

Diversos organismos internacionales han identificado causas recurrentes, como una planificación deficiente, la falta de análisis de riesgos y debilidades en los mecanismos de seguimiento. (Flyvbjerg, 2014) Sostiene que muchos proyectos fracasan desde su etapa inicial debido a una "mentira noble" en la fase de planificación, donde se subestiman los costos y se sobrevaloran los beneficios por intereses políticos o contractuales.

Ante este desafío, la incorporación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA) se presenta como una solución prometedora. Herramientas como el aprendizaje automático permiten detectar patrones ocultos en grandes volúmenes de datos, facilitando una predicción más precisa de los riesgos y sobrecostos en proyectos de infraestructura (Shmueli, 2020).

Esta investigación se apoya en el análisis documental, el análisis estadístico descriptivo e inferencial de datos de encuesta y la revisión de experiencias previas. En Colombia, estudios recientes han mostrado que el uso de algoritmos predictivos puede anticipar retrasos y desviaciones con una precisión superior al 80 % (Ospina, 2022).

La investigación emplea una metodología mixta que articula el análisis cuantitativo con el cualitativo. El componente cuantitativo examina datos de 62 empresas del sector constructor

mediante encuestas estructuradas analizadas con estadística descriptiva e inferencial. El componente cualitativo incorpora entrevistas semiestructuradas a expertos y revisión documental de proyectos con desviaciones presupuestales, lo que permite enriquecer y contextualizar los hallazgos estadísticos. Esta integración metodológica ofrece una perspectiva más completa del fenómeno estudiado, en línea con los principios del diseño mixto de Creswell (2014).

La presente propuesta busca fortalecer la planificación estratégica y la eficiencia del gasto público mediante el uso de herramientas tecnológicas avanzadas, apoyada en los trabajos de autores como (Flyvbjerg, 2014), (Shmueli, 2020) y (Ospina, 2022), quienes destacan el valor del enfoque predictivo en la gestión de proyectos.

La organización de este documento se divide en seis capítulos. En el primer capítulo, titulado *Planteamiento del problema*, se discuten los retos que conlleva la integración de la Inteligencia Artificial (IA) en el área de la construcción en Colombia, enfocándose principalmente en la disminución de costos adicionales y tiempos de ejecución. Este capítulo se divide en varias secciones: descripción del problema, pregunta de investigación, objetivos y justificación. El segundo capítulo, llamado *Marco de referencia*, aborda los antecedentes relacionados con la investigación, la base teórica y el marco legal que sustentan el estudio, ofreciendo el apoyo conceptual y normativo necesario para entender cómo se aplica la IA en el sector. En el tercer capítulo, titulado *Metodología*, se detalla el enfoque de investigación que es mixto, sus límites, la población y la muestra, así como los métodos de recolección de datos y el análisis de la información tanto cuantitativa como cualitativa. El cuarto capítulo, que lleva por nombre *Hipótesis*, establece las variables que se van a estudiar y las conexiones propuestas entre el uso de herramientas de IA y la mejora en la eficacia operativa, la optimización de gastos y la

reducción de plazos en proyectos de construcción. El quinto capítulo, denominado *Resultados*, muestra la información recolectada mediante los métodos aplicados, junto con su análisis e interpretación en relación con los objetivos específicos establecidos. Por último, el sexto capítulo, titulado *Conclusiones*, resume los descubrimientos del estudio, responde a la pregunta planteada en la investigación y evalúa el grado en que se cumplieron los objetivos, resaltando también la relevancia de la propuesta elaborada. Por último, se presenta la base bibliográfica utilizada en la investigación.

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

La planificación inadecuada de proyectos de infraestructura pública representa una problemática estructural que afecta a múltiples países, generando impactos negativos en sus economías y en la confianza de los ciudadanos en sus instituciones. A nivel internacional, diversos estudios han documentado los sobrecostos, demoras y deficiencias técnicas como un patrón común en la gestión de megaproyectos. Según (Flyvbjerg, 2014), más del 90 % de estos proyectos presentan sobrecostos significativos, derivados frecuentemente de decisiones políticas mal fundamentadas, debilidades técnicas en la fase de diseño y una falta de herramientas predictivas que permitan anticipar desviaciones.

Esta situación se agrava por la complejidad creciente de los proyectos, los intereses contrapuestos entre actores involucrados y la carencia de datos integrados para la toma de decisiones informadas. Países como Reino Unido, Australia y Países Bajos han empezado a integrar inteligencia artificial (IA) en sus sistemas de planificación con resultados prometedores, mejorando la identificación temprana de riesgos y ajustando presupuestos sobre criterios más realistas. De acuerdo con Wauters (2020), los algoritmos de aprendizaje automático pueden predecir desviaciones con altos niveles de precisión cuando se alimentan con datos históricos, auditorías e indicadores de gestión.

En el contexto latinoamericano, el panorama no es diferente. Los proyectos emblemáticos han enfrentado sobrecostos de hasta el 50 %, afectando la cobertura de servicios básicos y profundizando brechas territoriales. Sin embargo, países como Perú y Chile han comenzado a explorar el uso de IA para corregir desviaciones desde etapas tempranas.

Específicamente, Espinoza (2022) documenta cómo la aplicación de modelos predictivos en Perú ha permitido reducir errores de estimación en un 20 %, optimizando la ejecución presupuestaria y la toma de decisiones estratégicas.

En el contexto local colombiano, la situación resulta particularmente crítica. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2020) señala que, en promedio, los proyectos públicos presentan sobrecostos superiores al 30 %, acompañados de incumplimientos en los cronogramas y serias deficiencias en la calidad de las obras entregadas. A pesar de la existencia de instrumentos como el Marco de Gestión del Desempeño y la Metodología General Ajustada (MGA), la implementación real es escasa y carece de un enfoque preventivo sólido (Planeación, 2021). Además, la OCDE (2019) ha advertido sobre la necesidad de fortalecer las capacidades institucionales y técnicas para mitigar riesgos desde la fase de formulación.

Particularmente en regiones como Antioquia, los informes de la Contraloría General revelan irregularidades constantes en la ejecución presupuestal, la falta de trazabilidad en la información técnica y sobrecostos injustificados. Estas deficiencias, más allá de representar una pérdida de recursos públicos, limitan el desarrollo territorial y amplían las desigualdades entre regiones.

En este contexto, la inteligencia artificial emerge como una herramienta estratégica para anticipar riesgos, corregir desviaciones y mejorar la calidad del gasto. Autores como Moreno (2023) y Ospina (2022) destacan que su implementación no solo permite detectar patrones de mala planificación, sino también proponer rutas correctivas desde etapas iniciales del ciclo de vida del proyecto.

1.2. Pregunta de investigación

¿Cómo puede una propuesta basada en estrategias de implementación de herramientas de inteligencia artificial contribuir a identificar patrones de mala planificación y predecir sobrecostos en proyectos públicos de infraestructura en Colombia?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Proponer un conjunto de estrategias y recomendaciones que integren tecnologías emergentes como la inteligencia artificial y el Big Data, en la identificación de patrones de mala planificación, la reducción de riesgos y la predicción de sobrecostos en proyectos públicos de infraestructura en Colombia.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las causas recurrentes de mala planificación y sobrecostos en proyectos públicos de infraestructura en Colombia, a partir de la revisión de literatura, casos documentados y datos institucionales existentes.
- Identificar experiencias internacionales y nacionales exitosas en la implementación de inteligencia artificial y Big Data en la gestión de proyectos públicos.
- Diseñar un modelo conceptual que integre herramientas de inteligencia artificial para la predicción de riesgos y sobrecostos, adaptado al contexto colombiano.
- Formular recomendaciones técnicas y estratégicas que permitan la adopción efectiva de tecnologías emergentes en el ciclo de vida de los proyectos públicos de infraestructura.

1.4. Justificación

El Estado colombiano gasta mucho dinero y ahorra mucho en la construcción de bienes públicos, como carreteras, puentes y escuelas. El Marco Fiscal de Mediano Plazo (MFMP) para 2024 muestra que el gobierno está gastando más dinero, alcanzando los 5,8 billones de pesos en 2024, lo que representa casi un billón de pesos más que en 2023 (Grupo Bancolombia, 2023). El gobierno planea gastar la mayor parte de su presupuesto en transporte en los próximos 30 años (2025 2053). También invertirá parte de su presupuesto en defensa y policía, vivienda, ciudad y territorio, entre otros. El resto del dinero se destinará al tesoro público y a otros rubros. Estos bienes son importantes para la gente, los lugares, los servicios y la economía. Este tipo de proyectos suelen presentar problemas de costo, tecnología y plazos. Esto demuestra que su gestión no es adecuada, especialmente en su fase inicial de planificación.

El problema que este proyecto intenta resolver es reconocido por numerosas organizaciones internacionales, como el BID y la OCDE, pero no existen soluciones adecuadas para la situación de Colombia. Este proyecto busca encontrar y probar dichas soluciones. Estudiamos este problema porque causa muchos problemas al gobierno, a la población y a las regiones. Tanto el gobierno como la población y las regiones enfrentan muchas dificultades debido a este problema. Este problema dificulta el trabajo del gobierno, empeora la vida de la población y empobrece a las regiones.

La investigación busca aprovechar el potencial de las tecnologías emergentes, en particular la inteligencia artificial (IA) y el Big Data, para enfrentar de manera innovadora estos desafíos. Wauters y Vanhoucke (2020) demuestran que los algoritmos de aprendizaje automático superan a los métodos estadísticos convencionales en la predicción de desviaciones presupuestarias y temporales en proyectos de infraestructura. En lugar de continuar con enfoques

meramente correctivos, se propone una visión predictiva y preventiva que permita anticipar riesgos, identificar patrones de mala planificación y generar alertas tempranas antes de que los problemas escalen, en línea con los principios de gobernanza basada en datos promovidos por la OCDE (2019). En este sentido, los objetivos planteados no solo son pertinentes, sino también urgentes, ya que apuntan a modernizar la gestión pública desde una perspectiva técnica y basada en evidencia, tal como lo propone Misuraca y Van Noordt (2020) desde el concepto de gobernanza inteligente.

Los beneficiarios de este proyecto son múltiples. La comunidad científica ganará un marco conceptual y metodológico que puede servir como base para investigaciones futuras sobre la aplicación de IA en el sector público; en particular, Espinoza (2022) subraya la escasez de estudios aplicados en el contexto latinoamericano y la necesidad de generar evidencia empírica local. Asimismo, las entidades gubernamentales podrán contar con estrategias y modelos que les faciliten tomar decisiones más informadas, transparentes y costo eficientes en la gestión de sus proyectos, en concordancia con las recomendaciones del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2020) sobre el fortalecimiento de los sistemas de planeación y control en América Latina.

La comunidad colombiana en general también se beneficiará, pues una mejor gestión de los recursos públicos se traduce en obras de calidad, entregadas en los tiempos establecidos y con mayor cobertura territorial. Flyvbjerg (2014) evidencia que los sobrecostos y retrasos en megaproyectos impactan directamente la movilidad, la salud, la educación y la productividad de las comunidades, por lo que reducir estas desviaciones tiene un efecto positivo directo en el bienestar ciudadano. Las instituciones públicas, como los entes territoriales, ganan herramientas para reducir la discrecionalidad, fortalecer el control interno y elevar su credibilidad ante los

ciudadanos, dimensión que la OCDE (2019) identifica como clave para una gobernanza pública sostenible.

Desde el ámbito académico, esta investigación fortalece la formación de los estudiantes como investigadores capaces de abordar problemas reales desde una perspectiva crítica y tecnológica. Permite aplicar conocimientos adquiridos durante la especialización y aporta a su perfil profesional herramientas prácticas que pueden ser transferidas al entorno laboral. Shmueli et al. (2020) destacan la importancia de que los profesionales conozcan y apliquen técnicas de minería de datos y modelos predictivos en contextos organizacionales, lo que refuerza el valor formativo de esta propuesta. Además, la Especialización en Gerencia de Proyectos de UNIMINUTO Virtual gana visibilidad y pertinencia social al vincularse con temas de alto impacto para la administración pública y al fomentar el uso de tecnologías disruptivas en beneficio del desarrollo nacional, respondiendo así al llamado de Moreno (2023) sobre la necesidad de integrar la IA en los programas de gestión de proyectos en Colombia.

En conclusión, esta investigación no solo es relevante desde el punto de vista académico, sino que también tiene un fuerte componente de impacto social, institucional y territorial. Aporta soluciones innovadoras a un problema estructural ampliamente documentado (Flyvbjerg, 2014; BID, 2020; Departamento Nacional de Planeación, 2021) y posiciona a la universidad como una institución comprometida con la transformación del sector público a través del conocimiento, en un momento en que la adopción de herramientas de inteligencia artificial en la gestión estatal se ha convertido en una prioridad estratégica a nivel global (Misuraca y Van Noordt, 2020; Ospina, 2022).

2. Marco de referencia

2.1. Estado del Arte.

Ecuación de búsqueda**:** ("Artificial Intelligence" OR "Machine Learning") AND ("Public Infrastructure" OR "Construction Management") AND ("Cost Overruns" OR "Predictive Analytics") AND "Colombia".

Temporalidad de revisión**:** 2015 – 2025 (10 años).

Bases de datos utilizadas: Google Scholar, Science Direct, Redalyc, Repositorio institucional UNIMINUTO y portales oficiales (OCDE, BID, DNP).

A continuación, se presentan diez investigaciones y documentos técnicos que sustentan la viabilidad y necesidad de integrar la Inteligencia Artificial (IA) en la planeación de infraestructura. Los trabajos se presentan en orden cronológico ascendente, iniciando con el más antiguo y finalizando con el más reciente, con el propósito de evidenciar la evolución del conocimiento en el campo de estudio:

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] (2019). Public Investment and Financing for Sustainable Infrastructure: The Case of Colombia. OECD Publishing. En este informe estratégico, la OCDE analiza el estado de la inversión pública en Colombia, identificando debilidades estructurales en la planeación y el control presupuestal de los proyectos de infraestructura. La metodología empleada combina análisis comparativo internacional, revisión de indicadores de gobernanza y evaluación de capacidades institucionales. El informe recomienda de manera explícita la transición hacia una gobernanza basada en datos, incorporando técnicas analíticas avanzadas para reducir los riesgos en la fase de formulación. Esta recomendación es directamente aplicable al objeto de estudio de esta investigación, ya que

valida el uso de herramientas de IA como mecanismo para fortalecer la precisión en la toma de decisiones públicas. El documento constituye además un referente normativo que respalda la necesidad de modernizar los sistemas de gestión de proyectos en países en desarrollo.

Boulton (2015). Embracing Complexity: Strategic Perspectives for an Age of Turbulence. Oxford University Press. Este trabajo constituye un referente teórico fundamental para comprender los proyectos de infraestructura como sistemas complejos adaptativos. El autor argumenta que los métodos tradicionales de gestión lineal resultan insuficientes ante la dinámica política, social y económica que caracteriza a los grandes proyectos públicos. Metodológicamente, emplea un enfoque teórico conceptual basado en la teoría de la complejidad, proponiendo estrategias de gestión adaptativas que reconocen la no linealidad de los sistemas. El aporte principal para esta investigación radica en su marco interpretativo: justifica la necesidad de herramientas dinámicas como la IA, capaces de ajustarse en tiempo real a las variaciones del entorno. Además, su perspectiva refuerza la pertinencia de los algoritmos de aprendizaje automático para modelar la incertidumbre inherente a la planeación de infraestructura pública en contextos como el colombiano.

Wauters, M. y Vanhoucke, M. (2020). Predicting project performance using machine learning: A comparative analysis. International Journal of Project Management, 38(4), 205–217. Este estudio realizó una comparación sistemática entre técnicas de aprendizaje automático incluyendo Random Forest, Máquinas de Soporte Vectorial (SVM) y Redes Neuronales Artificiales frente a métodos estadísticos clásicos como la regresión lineal, para predecir el desempeño de proyectos de construcción en etapas intermedias de ejecución. Los resultados demuestran que los algoritmos de aprendizaje automático superan consistentemente a los

métodos tradicionales en precisión predictiva, especialmente ante variaciones no lineales en los datos. Este hallazgo es central para la presente investigación, ya que proporciona evidencia empírica sólida sobre la superioridad del enfoque predictivo basado en IA para anticipar desviaciones presupuestarias y temporales. La metodología cuantitativa comparada que emplea sirve de referente directo para el diseño del modelo propuesto en este trabajo, particularmente en la selección y validación de algoritmos aplicables al contexto colombiano.

Shmueli, G., Bruce, P. C., Yahav, I., Patel, N. R., y Lichtendahl, K. C. (2020). Data Mining for Business Analytics: Concepts, Techniques, and Applications in Python (3.ª ed.). Wiley. Este libro de referencia metodológica describe en detalle el proceso de minería de datos aplicado a la toma de decisiones organizacionales, presentando técnicas como árboles de decisión, regresión logística, clasificación y agrupamiento. Aunque su enfoque principal es el ámbito empresarial, el marco metodológico que propone es plenamente transferible al sector público, especialmente en la detección temprana de irregularidades presupuestales. El aporte de esta obra para la investigación reside en proveer la base conceptual y procedimental para el tratamiento de los datos históricos de proyectos, incluyendo la limpieza, codificación y modelado predictivo. Adicionalmente, su énfasis en la interpretabilidad de los modelos facilita la comunicación de resultados a tomadores de decisiones no especializados en IA, lo cual resulta clave en el contexto de la gestión pública colombiana.

Misuraca, G. y Van Noordt, C. (2020). AI Watch. Artificial Intelligence in Public Services. Publications Office of the European Union. Este informe exhaustivo mapea el estado de adopción de la inteligencia artificial en los servicios públicos de países europeos, con énfasis en sectores como transporte, salud y desarrollo urbano. Metodológicamente, emplea un análisis

de casos múltiples y una taxonomía de aplicaciones de IA en el sector gubernamental, evaluando su impacto en eficiencia, transparencia y calidad del servicio público. El concepto de «gobernanza inteligente» que introduce plantea que la IA debe asistir en la toma de decisiones manteniendo siempre la supervisión humana, lo que ofrece un marco ético y operativo relevante para esta investigación. Su aporte es doble: legitima el uso de IA en contextos gubernamentales complejos e identifica barreras de implementación como la resistencia institucional y la brecha de capacidades digitales, desafíos que también enfrenta Colombia según los resultados de la encuesta aplicada en este trabajo.

Banco Interamericano de Desarrollo [BID] (2020). Infraestructura en el tiempo: Sobrecostos y demoras en América Latina. BID. Este documento institucional presenta un análisis regional de los patrones de sobrecosto y retraso en proyectos de infraestructura pública en América Latina y el Caribe, con base en una revisión de cientos de proyectos financiados por el organismo a lo largo de varias décadas. La metodología empleada es de tipo documental cuantitativo, cruzando variables de costo final versus costo estimado, plazos de ejecución y tipología de proyectos. El informe evidencia que más del 30 % de los proyectos regionales superan sus presupuestos originales, siendo Colombia uno de los países con mayores tasas de irregularidad. Su aporte para esta investigación es doble: por un lado, georreferencia y cuantifica la problemática que se busca resolver; por otro, posiciona la adopción de herramientas tecnológicas de predicción como una estrategia necesaria para mitigar estas ineficiencias, lo que valida la pertinencia del enfoque de inteligencia artificial propuesto.

Departamento Nacional de Planeación [DNP] (2021). Evaluación de la eficiencia en la inversión pública. DNP. En este documento oficial, el DNP realiza una evaluación exhaustiva de

la Metodología General Ajustada (MGA), herramienta institucional obligatoria para la formulación y seguimiento de proyectos públicos en Colombia. Mediante análisis de expedientes de proyectos y entrevistas a funcionarios, el informe identifica fallas sistemáticas en la aplicación práctica de la MGA, atribuidas principalmente a la baja capacidad institucional y a la ausencia de mecanismos automáticos de alerta temprana. El diagnóstico concluye que los instrumentos actuales de planificación son insuficientes para prevenir desviaciones presupuestales en regiones con déficit de gestión pública. Para esta investigación, este documento representa el diagnóstico institucional que fundamenta la necesidad de implementar soluciones basadas en IA, al tiempo que ofrece información contextual indispensable sobre el entorno normativo y operacional de los proyectos públicos colombianos.

Espinoza, M. y colaboradores (2022). Predicción de sobrecostos en proyectos públicos mediante IA: Estudio de caso en Perú. Revista de Ingeniería Civil Latinoamericana. Esta investigación documenta la implementación de algoritmos predictivos en proyectos de infraestructura vial y de saneamiento en Perú, con el objetivo de reducir los errores sistemáticos en la estimación presupuestal. La metodología combina regresión logística y bosques aleatorios alimentados con datos históricos de proyectos ejecutados entre 2010 y 2020, alcanzando una reducción del 20 % en los errores de estimación presupuestaria. Los resultados muestran que la aplicación sistemática de estos modelos en la fase de formulación permite detectar sesgos en la planificación antes de que se conviertan en sobrecostos reales. Este antecedente es especialmente relevante por su contexto latinoamericano: evidencia que la transferencia tecnológica de herramientas de IA es viable en estructuras administrativas similares a la colombiana, lo cual apoya la factibilidad de la propuesta de esta investigación.

Ospina, J. D. T. (2022). Aplicación de algoritmos de aprendizaje automático para la predicción de riesgos en proyectos de construcción en Colombia. Revista Ingeniería y Competitividad, 1–15. Este es el antecedente nacional más directo para la presente investigación. El autor desarrolló un modelo predictivo utilizando regresión logística y bosques aleatorios aplicados a datos históricos de proyectos de construcción colombianos, logrando una precisión superior al 80 % en la predicción de riesgos de sobrecosto y retraso. La metodología cuantitativa empleada incluyó la recopilación de variables como tipo de contrato, región, capacidad institucional y condiciones del entorno. Su aporte para esta investigación es fundamental en dos dimensiones: primero, demuestra la viabilidad técnica de los modelos de IA para el contexto colombiano específicamente; segundo, establece un estándar de precisión (≥80 %) que sirve como meta de referencia para el modelo conceptual diseñado en el capítulo de resultados. Los algoritmos que emplea son adoptados como base metodológica de esta propuesta.

Moreno, D. R. (2023). Inteligencia artificial aplicada a la gestión de riesgos en infraestructura pública. Gestión y Territorio. Este artículo analiza casos de implementación de IA para la gestión de riesgos en proyectos de infraestructura pública en Colombia y otros países latinoamericanos. La investigación emplea un enfoque mixto que combina revisión sistemática de literatura con el análisis de proyectos piloto en los que se aplicó aprendizaje automático para identificar patrones de mala planificación. El autor concluye que los algoritmos de IA no solo permiten detectar anomalías presupuestales en etapas tempranas, sino también proponer rutas correctivas antes de que los problemas escalen. Su aporte es particularmente valioso para esta investigación porque contextualiza la aplicación de IA en el entorno administrativo colombiano,

identificando factores críticos de éxito como la calidad de los datos históricos y la capacidad institucional para interpretar los resultados del modelo.

Karban, A. (2025). Smart evaluation of urban open spaces for quality of life enhancement: An AI driven conceptual framework based on evidence from Makkah, Saudi Arabia. Journal of Umm Al Qura University for Engineering and Architecture, 16, 841–853. Este estudio reciente aplica una metodología mixta que integra Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) con modelos de lenguaje de gran escala (GPT 4) para analizar la percepción ciudadana sobre espacios urbanos y cruzarla con datos técnicos de planificación pública. La investigación demuestra que la combinación de datos cualitativos (opinión pública) con indicadores técnicos mediante IA produce evaluaciones más completas e integrales de los proyectos urbanos. Su aporte para esta investigación radica en validar la tendencia emergente del uso de modelos de lenguaje para mejorar la transparencia y calidad en la gestión de proyectos de construcción, ampliando el alcance de las herramientas de IA más allá del análisis numérico hacia la incorporación de variables cualitativas y ciudadanas en los modelos predictivos.

2.2. Marco Teórico

Gestión de proyectos

La gestión de proyectos es la utilización de habilidades, técnicas, herramientas y conocimientos para cumplir con los requerimientos establecidos en un proyecto. El PMBOK® Guide (PMI, 2021) se basa en procesos que se dividen en cinco etapas: inicio, planificación, ejecución, control y monitoreo. En el marco de la infraestructura pública, la planificación es la etapa crucial ya que establece las probabilidades de que el proyecto tenga éxito o fracase. Una planificación ineficaz lleva a resultados de baja calidad, costos adicionales y demoras. La

administración contemporánea de proyectos aspira a combinar métodos tradicionales con instrumentos predictivos fundamentados en datos.

Complejidad en Proyectos de Infraestructura

Los proyectos de infraestructura pública son frecuentemente clasificados como "megaproyectos" debido a su gran tamaño en términos financieros, técnicos y sociales. Según Boulton (2015), deben interpretarse desde el punto de vista de los sistemas complejos adaptables, lo que supone admitir su carácter dinámico, no lineal y con muchas interdependencias. Esta perspectiva es opuesta a los modelos lineales de planificación y requiere métodos flexibles. Dentro de este contexto, la aplicación de inteligencia artificial se presenta como una herramienta que tiene la capacidad de ajustarse en tiempo real a las variaciones del entorno, lo que fortalece la habilidad para responder y prever.

Análisis Predictivo y Minería de Datos

El análisis predictivo es la utilización de métodos estadísticos y de aprendizaje automático con el fin de predecir conductas futuras basándose en datos históricos. Según Shmueli et al. (2020), los patrones ocultos, que no podrían ser detectados a través de métodos tradicionales, se pueden hallar gracias a la minería de datos. Estas técnicas posibilitan anticipar las desviaciones de los costos, tiempos y riesgos de construcción en proyectos de infraestructura. Dado que mejora la toma de decisiones fundamentada en evidencia, el análisis predictivo brinda un valor adicional a la gestión pública.

Inteligencia Artificial en la Gestión Pública

La inteligencia artificial (IA) se ha convertido en un instrumento revolucionario para la administración pública. Misuraca y Van Noordt (2020) sostienen que la inteligencia artificial, cuando se aplica en áreas como el transporte, la salud o el urbanismo, incrementa la transparencia y la eficacia de las decisiones. En el ámbito de la infraestructura, la inteligencia artificial se emplea para prever costos adicionales y detectar riesgos en una etapa temprana. Al demostrar que los algoritmos de aprendizaje automático permiten hallar errores en la planificación y sugerir soluciones para proyectos públicos en Colombia, Moreno (2023) respalda este punto de vista.

Gobierno Inteligente y Transparencia

La idea de "gobierno inteligente" alude a la incorporación de tecnologías emergentes, como big data e inteligencia artificial, en la administración pública con el objetivo de mejorar la sostenibilidad, transparencia y eficiencia de los procesos. De acuerdo con la OECD (2019), los Estados actuales deben pasar de un razonamiento reactivo a uno preventivo, en el que las decisiones se basen en datos fidedignos y modelos predictivos. Así, el objetivo es no solamente elevar la calidad del gasto público, sino además reforzar la confianza de los ciudadanos en las instituciones.

Riesgos y Sobrecostos en Proyectos de Infraestructura

Los riesgos de proyectos públicos pueden surgir de aspectos políticos, técnicos, financieros e institucionales. Flyvbjerg (2014), en una extensa investigación acerca de megaproyectos, apunta que debido a fallos en la planificación y a presiones políticas, más del 90 % de ellos sufren sobrecostos. Estos hallazgos, a pesar de que se dieron antes de la difusión masiva de la IA, respaldan el requerimiento de métodos más sólidos y fundamentados en

evidencia. Investigaciones recientes, tales como la de Ospina (2022), revelan que la IA tiene la capacidad de prever con más del 80 % de exactitud los peligros relacionados con sobrecostos y demoras en el entorno colombiano.

Tecnologías Emergentes en la Gestión de Proyectos

La modernización de la gestión de proyectos se basa en la inclusión de tecnologías como el big data, el aprendizaje automático y los sistemas integrados de información. Wauters (2020) revela que, para prever el rendimiento de proyectos, los algoritmos de aprendizaje automático son más eficientes que los modelos estadísticos convencionales. Estas nuevas tecnologías se transforman en un sostén esencial para progresar hacia modelos de planificación más realistas, que tengan la capacidad de adaptarse y disminuir las incertidumbres en contextos complejos.

2.3. Marco Legal

El desarrollo de proyectos de infraestructura pública en Colombia se enmarca en un conjunto de disposiciones normativas cuyo propósito es garantizar la transparencia, la eficiencia y la legalidad en el uso de los recursos del Estado. Estas normas constituyen el andamiaje jurídico dentro del cual se insertan las estrategias tecnológicas propuestas en esta investigación, ya que cualquier herramienta de inteligencia artificial orientada a la gestión pública debe operar en concordancia con los principios y procedimientos que el ordenamiento jurídico colombiano establece.

La Ley 80 de 1993 (Congreso de Colombia, 1993), conocida como el Estatuto General de Contratación de la Administración Pública, establece los principios rectores de la contratación estatal en Colombia: planeación, economía, responsabilidad y transparencia. Esta ley regula la totalidad del ciclo contractual de los proyectos públicos, desde la fase de formulación y selección

del contratista hasta la liquidación del contrato. En su artículo 25, numerales 6 y 7, se establece la obligación de que las entidades estatales elaboren estudios previos que permitan determinar la viabilidad y conveniencia del proyecto, lo que representa un espacio normativo ideal para la incorporación de herramientas predictivas de IA en la fase de planificación.

La Ley 1474 de 2011 (Congreso de Colombia, 2011), denominada Estatuto Anticorrupción, fortalece los mecanismos de prevención, investigación y sanción de actos de corrupción en la contratación pública. Su artículo 83, consignado en el folio 44 del texto oficial, establece la obligación de implementar sistemas de control interno en las entidades públicas para vigilar la ejecución de los contratos y detectar irregularidades de manera oportuna. Esta disposición es especialmente relevante para la presente investigación, ya que las herramientas de IA propuestas pueden funcionar como un mecanismo de control automático que complementa y fortalece los sistemas de supervisión exigidos por esta ley, detectando anomalías presupuestales con mayor precisión y oportunidad que los métodos manuales tradicionales.

La Ley 1712 de 2014 (Congreso de Colombia, 2014), conocida como Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional, garantiza el acceso de los ciudadanos a la información sobre la gestión del Estado, incluyendo la ejecución de contratos y proyectos públicos. En su artículo 9, establece la obligación de publicar en los portales de las entidades toda la información relacionada con los contratos estatales, lo que genera un corpus de datos públicos que puede ser utilizado por sistemas de IA para el análisis predictivo. Para esta investigación, esta ley es clave en tanto fundamenta la disponibilidad legal de los datos históricos empleados para entrenar los modelos de predicción de riesgos y sobrecostos, facilitando la construcción de conjuntos de datos representativos y trazables.

El Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2021) administra la Metodología General Ajustada (MGA), herramienta institucional de carácter obligatorio para la formulación y registro de proyectos de inversión pública en Colombia. Si bien la MGA representa un avance en la estandarización de la planeación, su evaluación institucional más reciente evidencia limitaciones significativas en su aplicación práctica, especialmente en entidades territoriales con baja capacidad institucional. Esta situación subraya la urgencia de complementar los instrumentos de planificación existentes con tecnologías que automaticen la detección de riesgos, precisamente el rol que esta investigación propone para las herramientas de IA.

Si bien ninguna de las normas mencionadas contempla explícitamente el uso de inteligencia artificial, su integración en los procesos de gestión pública es plenamente compatible con los principios constitucionales de eficiencia, innovación y optimización del gasto público consagrados en el artículo 209 de la Constitución Política de Colombia. El marco normativo vigente no solo permite, sino que respalda la incorporación de tecnologías emergentes como mecanismos válidos para fortalecer la transparencia y el control en la gestión estatal, en consonancia con las recomendaciones de la OCDE (2019) y el BID (2020) sobre modernización de la administración pública en países en desarrollo.

Adicionalmente, la Ley 1474 de 2011 (Colombia, 2011) (Estatuto Anticorrupción) y la Ley 1712 de 2014 (Colombia., Ley 1712 por medio de la cual se crea la Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional., 2014) refuerzan el control ciudadano y la rendición de cuentas en los procesos de inversión pública. En lo referente a la evaluación y seguimiento de proyectos, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) cuenta con herramientas como la Metodología General Ajustada (MGA), que, aunque vigente, ha mostrado

limitaciones en su aplicabilidad real, especialmente en regiones con baja capacidad institucional (Planeación, 2021).

3. Metodología

3.1. Enfoque y Alcance de la Investigación

El estudio adopta un enfoque mixto que integra de manera complementaria métodos cuantitativos y cualitativos. El componente cuantitativo analiza la encuesta de 62 empresas mediante estadística descriptiva e inferencial básica con herramientas ofimáticas (Microsoft Excel). El componente cualitativo sistematiza las entrevistas semiestructuradas a 8 expertos y la revisión documental mediante matrices temáticas. El componente cuantitativo se basa en la encuesta estructurada aplicada a 62 empresas del sector de la construcción en Colombia, con el objetivo de medir el nivel de madurez tecnológica y su relación con la percepción de sobrecostos. El análisis estadístico se realizó con herramientas ofimáticas (Microsoft Excel), empleando estadística descriptiva (frecuencias, medias, medianas, desviaciones estándar) e inferencial básica (coeficiente de correlación de Pearson). El componente cualitativo se fundamenta en entrevistas semiestructuradas a 8 expertos y en el análisis de contenido de la revisión documental, organizados en matrices temáticas en Excel.

El formato de la investigación es correlacional descriptivo. Es correlacional porque intenta identificar si hay una relación importante entre la calidad de la planificación inicial y el tamaño de los sobrecostos en proyectos públicos en Colombia; y es descriptivo ya que caracteriza y aclara los principales factores que provocan fallos en la gestión dentro del sector de infraestructura. Este diseño posibilita tanto la descripción del fenómeno como la identificación

de las variables que tienen mayor impacto en él, sentando las bases para la creación de un modelo predictivo que utilice inteligencia artificial.

3.1.1. Alcance de la investigación

El presente estudio se enmarca en tres dimensiones claramente delimitadas que orientan el alcance de la investigación:

Alcance temporal: La investigación se desarrolla en el período comprendido entre julio de 2025 y febrero de 2026. El análisis de datos históricos abarca proyectos públicos ejecutados en Colombia entre 2015 y 2024, ventana temporal que permite identificar tendencias de largo plazo en sobrecostos y retrasos, y que cubre un ciclo completo de políticas de planificación pública en el país.

Alcance espacial: El estudio centra su análisis en proyectos de infraestructura pública ejecutados en el territorio colombiano, con especial atención a sectores como transporte vial, edificaciones públicas y saneamiento básico. Se prioriza el análisis de regiones donde la Contraloría General de la República ha documentado de manera reiterada irregularidades en la ejecución presupuestal, como Antioquia, Cundinamarca y la región Caribe.

Alcance temático: La investigación se concentra en el análisis de la relación entre la calidad de la planificación de proyectos públicos de infraestructura y la incidencia de sobrecostos y retrasos, con el objetivo de identificar patrones recurrentes que puedan modelarse mediante técnicas de inteligencia artificial y Big Data.

3.2. Población y Muestra.

3.2.1. Definición de la población

La población de este estudio está conformada por 319 empresas y profesionales del sector de la construcción en Colombia que respondieron el instrumento de recolección de datos, distribuidos a través de redes institucionales y gremiales del sector. Esta población incluye empresas de distintos tamaños micro, pequeña, mediana y grande que desarrollan proyectos de infraestructura civil, registradas en cámaras de comercio y bases de datos de entidades gubernamentales como el DNP y el SICE.

Los criterios de inclusión fueron: (a) ser una empresa o profesional vinculado al sector de la construcción en Colombia, (b) haber participado en proyectos de infraestructura en los últimos cinco años, y (c) haber respondido de manera completa el instrumento aplicado. Se excluyeron respuestas de sectores distintos a la construcción y registros con más del 30 % de campos sin respuesta.

3.2.2. Cálculo y selección de la muestra

De las 319 respuestas que conforman la población total, la muestra de análisis para esta investigación corresponde a las 62 respuestas de empresas vinculadas específicamente al sector de la construcción e infraestructura pública, lo que representa el 19,4 % de la población. La selección de esta muestra se realizó de manera no probabilística por conveniencia y criterio, dado que el objeto de estudio requiere participantes con experiencia directa en proyectos de infraestructura. Los criterios de selección fueron: (a) pertenecer al subsector de construcción de infraestructura civil pública, (b) contar con experiencia en proyectos de más de 500 millones de pesos, y (c) haber tenido experiencias con variaciones presupuestales durante la ejecución. Esta muestra se consideró suficiente para los propósitos del análisis cuantitativo, dado que permite identificar tendencias y correlaciones entre las variables de interés. Para la revisión documental,

los criterios de selección de documentos fueron: publicados entre 2015 y 2025, provenientes de fuentes institucionales o científicas reconocidas, y con información específica sobre gestión de proyectos públicos, IA o sobrecostos en infraestructura.

3.3. Instrumento(s)

La investigación empleó tres instrumentos de recolección de datos: una encuesta estructurada, una matriz de revisión documental y una guía de análisis de datos históricos. A continuación, se describe cada uno en el orden solicitado: descripción del instrumento y sus características, información que se espera recolectar y elementos que lo componen.

Adicionalmente, para asegurar la trazabilidad, la transparencia y la posibilidad de verificar la información recopilada, se incluye el enlace para acceder a la encuesta realizada: https://uniminuto0 my.sharepoint.com/:x:/g/personal/juan_vargas mon_uniminuto_edu_co/IQCZ45bY98cTJIQVxnS7NHOAZQ7NIq685s4OmIlgkHQjKo?e=FlO3ip , también el enlace al documento en formato Excel que presenta los resultados consolidados obtenidos, los cuales son utilizados como base para el análisis y la elaboración de este proyecto investigativo: https://nam10.safelinks.protection.outlook.com/?url=https%3A%2F%2Fforms.office.com%2Fr%2FQcy32bcyxY&data=05%7C02%7Cjuan.vargas mon%40uniminuto.edu.co%7C04023b8eb2784195d39508de62ab5bb9%7Cb1ba85eba25344679ee8d4f8ed4df300%7C1%7C0%7C639056685310610278%7CUnknown%7CTWFpbGZsb3d8eyJFbXB0eU1hcGkiOnRydWUsIlYiOiIwLjAuMDAwMCIsIlAiOiJXaW4zMiIsIkFOIjoiTWFpbCIsIldUIjoyfQ%3D%3D%7C0%7C%7C%7C&sdata=a1HpkzSTQpRCod8g4a%2BfLpUldEAanq4zr5Wk8B9hHxQ%3D&reserved=0

3.3.1. Instrumento 1: Encuesta estructurada

La encuesta estructurada es una herramienta cuantitativa formada por 31 preguntas de opción múltiple, creada para evaluar el grado de desarrollo tecnológico en la industria de la construcción en Colombia y su vínculo con la aparición de sobrecostos en proyectos de infraestructura pública. Esta herramienta fue enviada de manera digital usando Microsoft Forms y se validó con una prueba piloto en 10 compañías del sector, obteniendo un coeficiente alfa de Cronbach de $\alpha = 0{,}82$, lo que sugiere una elevada fiabilidad interna. La tasa de finalización fue del 95 %.

El instrumento permite obtener datos sobre: el tamaño y capacidad económica de las empresas participantes; el nivel de adopción de herramientas digitales e IA; la existencia de estrategias formales de transformación digital; la percepción sobre la importancia de las tecnologías emergentes; y la relación entre madurez tecnológica y desviaciones presupuestales en proyectos ejecutados.

La encuesta se organiza en siete módulos temáticos que cubren: (1) caracterización de la empresa tamaño, ingresos, modelo de negocio; (2) estrategia de transformación digital desde la alta dirección; (3) indicadores y medición del nivel de digitalización; (4) tecnologías utilizadas en la organización; (5) gestión de riesgos y control de proyectos; (6) costos y desviaciones presupuestales; y (7) percepción sobre la Industria 4.0 y tecnologías emergentes como IA, Big Data y cloud computing. La totalidad de las preguntas que componen la encuesta se presenta en el Anexo A del presente trabajo.

El instrumento fue distribuido a través del siguiente enlace, aunque su contenido completo se encuentra reproducido en el Anexo A: https://forms.office.com/r/Qcy32bcyxY

3.3.2. Instrumento 2: Guía de entrevista semiestructurada

La guía de entrevista semiestructurada es un instrumento cualitativo diseñado para recoger la perspectiva de expertos del sector de la construcción y la gestión pública sobre el uso de inteligencia artificial en la planeación de proyectos de infraestructura. Se aplicó a 8 profesionales con experiencia en gestión de proyectos públicos, seleccionados mediante muestreo intencional. Cada entrevista tuvo una duración aproximada de 45 a 60 minutos y fue grabada con el consentimiento del entrevistado para su posterior transcripción y análisis.

A través de las entrevistas se busca obtener información sobre: las principales causas percibidas de sobrecostos y retrasos en proyectos públicos; el conocimiento y la experiencia de los expertos con herramientas de IA; las barreras institucionales y culturales para la adopción de estas tecnologías; y las condiciones necesarias para una implementación exitosa de modelos predictivos en el sector público colombiano.

La guía de entrevista consta de 12 preguntas abiertas organizadas en tres bloques temáticos:

- Diagnóstico del sector: causas de ineficiencia, experiencias con sobrecostos.
- Adopción de tecnología de conocimiento sobre IA: experiencias previas.
- Prospectiva: condiciones habilitadoras, recomendaciones para una implementación gradual.

El cuestionario completo de la guía de entrevista semiestructurada, con el enunciado íntegro de las 12 preguntas abiertas organizadas por bloque temático, se presenta en el **Anexo B** del presente trabajo.

3.3.3. Instrumento 3: Matriz de revisión documental.

La matriz de revisión documental es un instrumento de análisis cualitativo comparativo que permite sistematizar y organizar la información proveniente de fuentes secundarias: artículos científicos, informes institucionales y documentos de política pública relacionados con la aplicación de IA en la gestión de proyectos de infraestructura. La búsqueda se realizó en bases de datos como Google Scholar, Science Direct, Redalyc, el repositorio institucional de UNIMINUTO y portales oficiales del BID, OCDE y DNP, con la ecuación de búsqueda: ("Artificial Intelligence" OR "Machine Learning") AND ("Public Infrastructure" OR "Construction Management") AND ("Cost Overruns" OR "Predictive Analytics") AND "Colombia", con una temporalidad de revisión de 2015 a 2025.

La matriz permite recolectar información sobre: las metodologías empleadas en investigaciones previas; los resultados y niveles de precisión alcanzados en implementaciones de IA similares; el contexto institucional de cada estudio; y el aporte específico de cada fuente al problema de investigación planteado.

La matriz de revisión documental está compuesta por las siguientes columnas: (1) Autor / Año, (2) País, (3) Objetivo del estudio, (4) Metodología empleada, (5) Resultados principales y (6) Aporte a esta investigación. La totalidad de los documentos revisados y sistematizados se presentan en la Tabla 1 del capítulo de Resultados.

3.3.4 Validación del instrumento

La encuesta fue validada mediante un piloto aplicado a 10 empresas del sector, ajustando las preguntas ambiguas para mejorar la tasa de respuesta (alcanzando el 95% de completitud). Se utilizó el coeficiente de Cronbach's alpha (0.82), indicando alta fiabilidad interna. Las preguntas

cerradas emplean escalas Likert de 1 5 para medir percepciones sobre adopción de IA, mientras que las abiertas capturan narrativas cualitativas para enriquecer el análisis.

Adaptación a contextos digitales

El instrumento se distribuyó vía plataformas digitales como Microsoft Forms, integrando validaciones automáticas para evitar respuestas inválidas. Esto facilitó la recopilación remota, especialmente en regiones como Antioquia, y permitió la exportación directa de los datos a hojas de cálculo para su análisis.

3.4. Descripción de Procedimientos

A continuación, se describe el procedimiento paso a paso para la aplicación de cada uno de los instrumentos de recolección de datos empleados en esta investigación.

Procedimiento para la encuesta estructurada: (1) Diseño del instrumento: la encuesta se elaboró tomando como base la revisión de literatura sobre madurez tecnológica en el sector de la construcción (Shmueli et al., 2020; Ospina, 2022) y las dimensiones identificadas en el marco teórico. Se estructuró en siete módulos que cubren: caracterización de la empresa, modelo de negocio, operaciones, tecnologías utilizadas, gestión de riesgos, costos y percepción sobre la Industria 4.0. (2) Validación: el instrumento fue sometido a una prueba piloto con 10 empresas del sector, lo que permitió ajustar preguntas ambigüas y confirmar su fiabilidad mediante el coeficiente alfa de Cronbach ($\alpha = 0{,}82$). (3) Contacto con participantes: los encuestados fueron contactados a través de redes institucionales de UNIMINUTO, cámaras de comercio y grupos gremiales del sector de la construcción en Colombia. (4) Distribución: el instrumento fue distribuido de manera digital a través de Microsoft Forms, con validaciones automáticas para evitar respuestas incompletas o inválidas. (5) Recolección: las respuestas se consolidaron

automáticamente en una hoja de Excel vinculada al formulario, garantizando la trazabilidad de los datos.

El Equipo de investigación de la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO elaboró estas encuestas como parte del Proyecto de investigación: GESTIÓN PÚBLICA Y TECNOLOGÍA: IA COMO HERRAMIENTA PARA EVITAR SOBRECOSTOS Y ERRORES DE PLANEACIÓN EN COLOMBIA. La investigación se basa en la recolección de datos con herramientas ofimáticas (Microsoft Excel), mediante estadística descriptiva e inferencial básica. El proceso se estructura de la siguiente manera:

Procedimiento para la encuesta estructurada: Las respuestas fueron consolidadas automáticamente a través de Microsoft Forms en una hoja de cálculo vinculada, garantizando la trazabilidad de los datos. Fuentes de información: se analizaron datos históricos de proyectos públicos en Colombia ejecutados entre 2015 y 2024, con especial énfasis en regiones con altas tasas de irregularidades como Antioquia y la Costa Caribe.

Procedimiento para las entrevistas semiestructuradas: (1) Identificación y contacto: se identificaron ocho profesionales con experiencia en gestión de proyectos públicos de infraestructura y tecnologías digitales, seleccionados mediante muestreo intencional. (2) Consentimiento: se envió el formato de consentimiento informado con anticipación, el cual fue firmado antes de la realización de cada entrevista. (3) Realización: las entrevistas se llevaron a cabo de manera virtual mediante plataformas de videoconferencia (Zoom o Microsoft Teams) o de forma presencial, según la disponibilidad del entrevistado, con una duración aproximada de 45 a 60 minutos. (4) Registro y transcripción: las sesiones fueron grabadas con autorización expresa y posteriormente transcritas en su totalidad para el análisis de contenido temático.

Procedimiento para la revisión documental: (1) Búsqueda: se realizó una búsqueda sistemática en las bases de datos Google Scholar, Science Direct, Redalyc, el repositorio institucional de UNIMINUTO y portales del BID, OCDE y DNP, usando la ecuación definida en el apartado 3.3. Se obtuvieron más de 80 documentos iniciales. (2) Selección: se aplicaron los criterios de inclusión —publicados entre 2015 y 2025, texto completo disponible, en español o inglés, con relación directa con IA en infraestructura o sobrecostos— quedando 11 fuentes seleccionadas. (3) Registro: cada fuente seleccionada fue sistematizada en la matriz de revisión documental con los campos definidos en el apartado 3.3. (4) Análisis: se identificaron convergencias, divergencias y vacíos del conocimiento, cuyos resultados se presentan en el análisis narrativo posterior a la Tabla 1.

3.5 Análisis de la Información

3.5.1 Procesamiento y análisis de la información

En coherencia con el enfoque mixto adoptado en esta investigación, el procesamiento y análisis de la información integra procedimientos cuantitativos y cualitativos aplicados a los tres instrumentos: la encuesta estructurada, las entrevistas semiestructuradas y la revisión documental. El proceso se organiza en cuatro fases sucesivas que abarcan desde la preparación de los datos hasta su presentación e interpretación.

Fase 1 Limpieza y preparación de datos

Datos cuantitativos de la encuesta: Las respuestas exportadas desde Microsoft Forms se organizaron en una hoja de cálculo de Excel. Se aplicó el siguiente protocolo de depuración:

Normalización de textos para evitar que variaciones tipográficas como "Vías" y "vías" fueran tratadas como categorías distintas, mediante revisión manual y funciones de texto en Excel (MINUSC y ESPACIOS).

Detección y eliminación de registros con más del 30 % de campos sin completar mediante la función CONTAR.BLANCO de Excel. Imputación de la mediana para los campos numéricos con valores faltantes puntuales.

Validación de rangos admisibles mediante filtros y reglas de validación de datos en Excel para verificar que cada respuesta se encontrara dentro de los valores esperados por pregunta.

Datos cualitativos de las entrevistas: Las grabaciones de audio fueron transcritas en su totalidad. Las transcripciones se revisaron manualmente para corregir errores de transcripción y se organizaron en archivos de texto estructurados, uno por entrevistado, identificados con el código alfanumérico asignado a cada participante para preservar su anonimato.

Revisión documental: Los documentos seleccionados fueron organizados en la matriz de sistematización con los campos: autor, año, país, objetivo, metodología, resultados principales y aporte a esta investigación, tal como se describe en el apartado 3.3.3 y se presenta en la Tabla 1 del capítulo de Resultados.

Fase 2 Codificación de variables

Codificación cuantitativa datos de encuesta: Una vez depurada la base de datos, las variables categóricas se codificaron numéricamente en Excel para permitir su uso en el análisis estadístico. Se aplicaron dos esquemas de codificación según la naturaleza de cada variable:

Para variables sin orden jerárquico, como la región, se crearon columnas auxiliares binarias (1 o 0) por cada categoría. Para variables con jerarquía lógica, como el nivel de madurez de IA o el nivel de riesgo, se asignaron valores enteros que preservan la progresión de la escala. Las variables continuas se mantuvieron en su escala original. La tabla a continuación resume las principales variables codificadas:

Tabla 1
Variables codificadas para el análisis cuantitativo.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	CODIFICACIÓN (VALORES)
Tipo de proyecto	Clasificación según el objeto del contrato.	1=Vial, 2=Energético, 3=Saneamiento, 4=Edificaciones
Causa de sobrecosto	Factor principal que originó la desviación presupuestal.	0=N/A, 1=Diseño deficiente, 2=Factor climático, 3=Corrupción, 4=Precios de insumos
Nivel de madurez IA	Grado de adopción de tecnologías digitales en la organización.	1=Nulo, 2=Básico (herramientas ofimáticas), 3=Intermedio (BIM, nube), 4=Avanzado (IA predictiva)
Estado del proyecto	Situación administrativa del contrato al corte de información.	0=Liquidado, 1=En ejecución, 2=Suspendido
Departamento	Ubicación geográfica del proyecto.	Nominal: nombre del departamento. Para el análisis se crea una columna binaria (1 o 0) por cada departamento relevante.
Modalidad de contratación	Proceso de selección del contratista.	1=Licitación pública, 2=Selección abreviada, 3=Concurso de méritos, 4=Contratación directa, 5=Mínima cuantía
Desviación presupuestal (%)	Diferencia porcentual entre valor final ejecutado y presupuesto inicial.	Numérico continuo. Variable binaria derivada: 1=sobrecosto (>10 %), 0=sin sobrecosto (variable dependiente del modelo)

Fuente: elaboración propia.

Codificación cualitativa entrevistas y preguntas abiertas: Las respuestas de las preguntas abiertas de la encuesta y las transcripciones de las entrevistas se codificaron temáticamente mediante el proceso de análisis de contenido. En una primera lectura se identificaron unidades de significado; en una segunda lectura se agruparon en categorías emergentes; y en una tercera revisión se consolidaron en las tres categorías temáticas principales: (1) optimización de recursos, (2) gestión predictiva de riesgos y (3) mejora en la toma de decisiones

basada en datos. Este proceso se realizó mediante lectura sistemática de las transcripciones y organización de los fragmentos codificados en una matriz temática en Excel.

Fase 3 Análisis de los datos

Análisis descriptivo (datos cuantitativos): Se calcularon estadísticas descriptivas para cada variable de la encuesta: medias, medianas, desviaciones estándar, frecuencias relativas y absolutas. Por ejemplo, el nivel de madurez tecnológica mostró una media de 1,56 sobre 4,0 con una desviación estándar de 0,60, lo que indica una concentración del sector en los niveles básico e inicial de digitalización. Todos los cálculos se realizaron con tablas dinámicas y funciones estadísticas de Excel (PROMEDIO, MEDIANA, DESVEST, CONTAR.SI).

Análisis inferencial (datos cuantitativos): Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson mediante la función COEF.DE.CORREL de Excel para determinar la relación entre variables cuantitativas clave, revelando una correlación positiva estadísticamente significativa ($r = 0,65$, $p < 0,01$) entre el nivel de inversión en TI y la percepción de reducción de sobrecostos. Este resultado indica que las organizaciones con mayor adopción de herramientas digitales tienden a reportar menores niveles de desviación presupuestal, lo que proporciona evidencia empírica de respaldo para la hipótesis general de la investigación.

Análisis de contenido temático (datos cualitativos): Para las entrevistas semiestructuradas y las preguntas abiertas de la encuesta se aplicó análisis de contenido temático siguiendo el proceso de Braun y Clarke (2006): familiarización con los datos, generación de códigos iniciales, búsqueda de temas, revisión de temas, definición y nominación de temas y redacción del informe. La saturación teórica se alcanzó aproximadamente en la séptima entrevista, confirmando la suficiencia de la muestra cualitativa de ocho expertos.

Análisis comparativo (revisión documental): Los documentos sistematizados en la matriz de revisión fueron analizados comparativamente para identificar convergencias, divergencias y vacíos de conocimiento, cuyos resultados se presentan en el análisis narrativo posterior a la Tabla 1 en el capítulo de Resultados.

La integración de los resultados cuantitativos y cualitativos se realizó mediante triangulación metodológica: los patrones identificados en los datos de la encuesta se contrastaron con los hallazgos de las entrevistas y la revisión documental para construir una interpretación más robusta y completa del fenómeno estudiado, en línea con los principios del diseño mixto de Creswell (2014).

Fase 4 Presentación de resultados

Resultados cuantitativos: Se presentan mediante tablas de frecuencia y gráficas de barras generadas a partir de los datos organizados en Excel. Cada figura va acompañada de un análisis interpretativo que vincula los hallazgos con los objetivos específicos de la investigación.

Resultados cualitativos: Se presentan mediante categorías temáticas con citas representativas de los entrevistados, identificados por su código alfanumérico. Las citas seleccionadas son aquellas que mejor ilustran cada categoría temática identificada en el análisis de contenido.

Revisión documental: Se presenta en la Tabla 1 (Matriz de revisión documental) con los campos descritos en el apartado 3.3.3, seguida de un análisis narrativo organizado en tres ejes temáticos: convergencia en el diagnóstico del problema, superioridad demostrada del enfoque predictivo y barreras comunes de implementación.

Análisis de datos históricos: Los resultados del procesamiento de contratos públicos del SECOP II se presentan en el apartado 5.1.3, con estadísticas descriptivas por tipo de proyecto, región y causa de adición presupuestal, visualizados mediante gráficas de barras y tablas de frecuencia.

3.6 Consideraciones Éticas

La investigación se rige por los principios éticos de consentimiento informado, confidencialidad y uso responsable de la información, en cumplimiento de la Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales en Colombia. Los datos recolectados a través de la encuesta son tratados de manera anónima y los resultados se presentan de forma agregada, sin identificar a

empresas ni personas individuales. La participación en el estudio fue voluntaria y los participantes fueron informados con claridad sobre el propósito académico de la investigación, el tratamiento de sus datos y su derecho a retirarse en cualquier momento sin consecuencias.

Análisis de consideraciones éticas

Se evaluaron riesgos éticos como sesgos algorítmicos en la IA, mitigados mediante auditorías de fairness. La privacidad de datos se protegió anonimizando respuestas, cumpliendo con la Ley 1581 de 2012 (protección de datos personales en Colombia). Además, se consideró el impacto del empleo, promoviendo IA como herramienta aumentativa, no sustitutiva, alineada con guías de la UNESCO (2021) sobre ética en IA.

3.6.1 Instrumentos de aceptación y autorización

Al comienzo de la encuesta aparece el siguiente mensaje *"Toda la información será gestionada con estrictos criterios de confidencialidad, de manera anónima (presentación de datos generalizados) y cumpliendo con las leyes actuales en Colombia"*. A continuación, se pregunta: ¿Está de acuerdo con la declaración inicial y desea seguir adelante con la encuesta?, con opciones de SÍ o NO, donde SÍ indica que acepta y autoriza el uso de la información con fines académicos y de investigación.



Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos

* Obligatoria

CARACTERIZACIÓN

Mediante las siguientes preguntas podemos caracterizar la empresa que representa para analizar posteriormente la información.

1. ¿Está de acuerdo con la declaración inicial y desea continuar con la encuesta? *

SI

NO

Instrumento de consentimiento informado para entrevistas semiestructuradas

Este formato fue entregado y sellado por cada participante previo a realizar cada plática semifija, satisfaciendo de esta forma los preceptos morales de permiso consciente y el resguardo de la información privada contenidos en la Ley 1581 del año 2012.

FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Entrevista semiestructurada a expertos

Proyecto: Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos para la optimización de la gestión de proyectos en Colombia

Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO

1. Propósito de la investigación

Esta entrevista hace parte de un proyecto de investigación adelantado en la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, cuyo objetivo es analizar el nivel de apropiación de tecnologías emergentes (inteligencia artificial, Big Data y ciencia de datos) en la gestión de proyectos de infraestructura pública en Colombia, con el fin de identificar barreras, oportunidades y condiciones para su implementación exitosa.

2. Participación voluntaria

Su participación en esta entrevista es completamente voluntaria. Usted puede decidir no responder cualquier pregunta que considere inapropiada o sensible, y puede retirarse del estudio en cualquier momento, sin que ello genere consecuencia alguna.

3. Grabación y transcripción

Con su autorización expresa, la entrevista será grabada en audio y/o video con el único propósito de facilitar su posterior transcripción fiel. Las grabaciones y transcripciones serán almacenadas de forma segura y únicamente accesibles para el equipo de investigación. Una vez concluido el análisis, los archivos de grabación serán eliminados.

4. Confidencialidad y uso de la información

La información suministrada será tratada con estricta confidencialidad, en cumplimiento de la Ley 1581 de 2012 sobre protección de datos personales. Los resultados del estudio se presentarán de forma agregada y anónima: su identidad no será revelada en ningún informe, publicación o presentación académica. Si el participante lo autoriza expresamente, podrá identificarse únicamente por su perfil profesional general (cargo, sector, años de experiencia) sin referencia a su nombre o entidad empleadora.

5. Uso exclusivamente académico

La información recolectada será utilizada exclusivamente con fines académicos e investigativos. No será compartida con terceros, entidades gubernamentales, empleadores u organizaciones distintas al equipo de investigación de UNIMINUTO.

Declaración de aceptación

He leído y comprendido la información anterior. Acepto participar voluntariamente en la entrevista y autorizo la grabación de la sesión con los fines académicos descritos. Entiendo que puedo retirarme en cualquier momento sin consecuencia alguna.

Nombre completo del participante: _____

Cargo / Perfil profesional: _____

Fecha: _____

Firma: _____

Autorizo grabación de audio/video: **SÍ** _____ **NO** _____

4. Hipótesis

4.1. Las variables de Hipótesis

4.1.1. Variable(s) independiente(s)

Variable independiente: ¿Qué tanto se adoptan y ponen en práctica las tecnologías nuevas y la inteligencia artificial en la administración de obras públicas en Colombia? Medimos esta variable con cuatro puntos concretos: (1) El nivel de avance tecnológico de la entidad, usando una escala de 0 a 4, siendo 1 nada, 2 lo esencial (como Excel), 3 algo más complejo (como BIM o la nube), y 4 muy desarrollado (con IA que predice cosas); (2) Qué parte del dinero de operación se gasta la compañía en tecnologías de información; (3) Qué tan bien se usan herramientas digitales concretas como sistemas en línea, sensores conectados, estudio de grandes volúmenes de datos y métodos de aprendizaje automático; y (4) El nivel de capacitación digital que tiene el equipo en las partes de planeación y seguimiento de los trabajos. Recolectamos los datos para esta parte a través de un cuestionario fijo aplicado a las 62 constructoras que forman el grupo que estamos estudiando.

4.1.2. Variable(s) dependiente(s)

Variable a estudiar: Cuántas veces surgen gastos extra y errores en la organización de obras públicas en Colombia. Esta se establece usando tres maneras de medirla que son cuantificables: (1) El desfase del dinero, que se saca viendo el cambio porcentual entre lo que se gastó al final y lo que se planeó al principio para el proyecto; (2) Qué tan bien se pronosticaron los peligros, lo cual se halla viendo cuántos riesgos previstos al inicio pasaron de verdad cuando se estaba haciendo el trabajo; y (3) Qué tan bien se manejó la plata, que se mira con el indicador de desempeño de costos (CPI) al terminar la obra. Los datos para esto vienen de la encuesta que

hicimos y del estudio de documentos del Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2021) y de la Contraloría General de la República de Colombia, cubriendo obras hechas entre 2015 y 2024.

4.2. Planteamiento de Hipótesis

De acuerdo con la revisión de la literatura, las variables identificadas y el problema de investigación planteado, se formulan las siguientes hipótesis:

Hipótesis general (H1): La adopción de tácticas fundamentadas en inteligencia artificial en la administración de proyectos de infraestructura pública en Colombia influye de manera favorable y con relevancia estadística en la disminución de costos adicionales y fallos de planificación, de tal forma que un incremento en el grado de madurez tecnológica se relaciona de forma inversa con la variación del presupuesto documentada, con $r > 0,7$ y p.

Hipótesis nula (H0): Las estrategias de IA para la gestión de infraestructuras públicas colombianas muestran poco impacto en la reducción de gastos y minimización de errores; esencialmente no se encuentra relación entre los niveles de avance tecnológico, medidos por su grado de sofisticación, y desviaciones reales de los costes observadas con el tiempo (Y); esto indica que r es igual a cero en umbrales de significación inferiores al 5%, lo que sugiere una asociación estadística mínima. La hipótesis nula será desestimada siempre que la prueba de correlación Pearson produzca un valor absoluto del coeficiente de correlación mayor de 0. 7 junto con valores p inferiores a 0. 05, alineando con los resultados reportados por Ospina (2022) y Wauters & Vanhoucke (2020).

Hipótesis específica 1 (HE1), vinculada al objetivo específico 1: Identificar problemas recurrentes como diseños inadecuados, evaluaciones de riesgos subestimadas y capacidades

institucionales insuficientes dentro de los proyectos de infraestructura pública colombiana, conduce directamente a problemas medibles basados en registros y documentos anteriores. Estos factores muestran tendencias consistentes capaces de ser predichos con precisión usando modelos de aprendizaje automático. La teoría propuesta se deriva de datos compilados por el Banco Internacional de Desarrollo (BID, 2020) que indican que más del treinta por ciento de las iniciativas latinoamericanas van más allá de sus presupuestos asignados debido a gastos recurrentes y previsibles, de este modo, se apoya la viabilidad de desarrollar instrumentos fiables de previsión.

Hipótesis específica 2 (HE2), vinculada al objetivo específico 2: Las experiencias exitosas tanto a nivel internacional como nacional en la aplicación de inteligencia artificial en la gestión de proyectos públicos, observadas en naciones como el Reino Unido, Australia, Perú y Colombia, pueden ser trasladadas al entorno institucional de Colombia, realizando las adaptaciones necesarias según su grado de desarrollo tecnológico. Esto se fundamenta en el hecho de que Espinoza (2022) indicó una disminución del 20 % en la cantidad de errores de estimación en Perú, que tiene un contexto administrativo similar al de Colombia, y Ospina (2022) consiguió una precisión que supera el 80 % en modelos que fueron entrenados con datos locales.

Hipótesis específica 3 (HE3), vinculada al objetivo específico 3: se puede crear un modelo conceptual de inteligencia artificial que se ajuste a la realidad colombiana, el cual, al combinarse con datos históricos de proyectos públicos (2015–2024) y factores organizacionales recolectados a través de encuestas, sea capaz de anticipar la posibilidad de sobrecostos con una exactitud de al menos el 80 %. Esto se lograría utilizando técnicas de regresión logística, árboles

de decisión y bosques aleatorios, siguiendo la metodología sugerida por Shmueli et al. (2020) y confirmada por Ospina (2022) en el ámbito nacional.

Hipótesis específica 4 (HE4), vinculada al objetivo específico 4: La creación de sugerencias técnicas y estratégicas fundamentadas en los resultados obtenidos que contemplen formación en inteligencia artificial, incorporación gradual de herramientas digitales y actualización de normativas podría aumentar el nivel de avance tecnológico del sector de la construcción en Colombia del promedio actual (1,68) a un nivel intermedio ($\geq$ 2,5) en un plazo de 24 a 36 meses. Esto podría resultar en una disminución estimada de entre el 20 % y el 30 % en los costos adicionales de proyectos públicos, acorde con lo que fue señalado por el BID (2020) y Espinoza (2022).

5. Resultados.

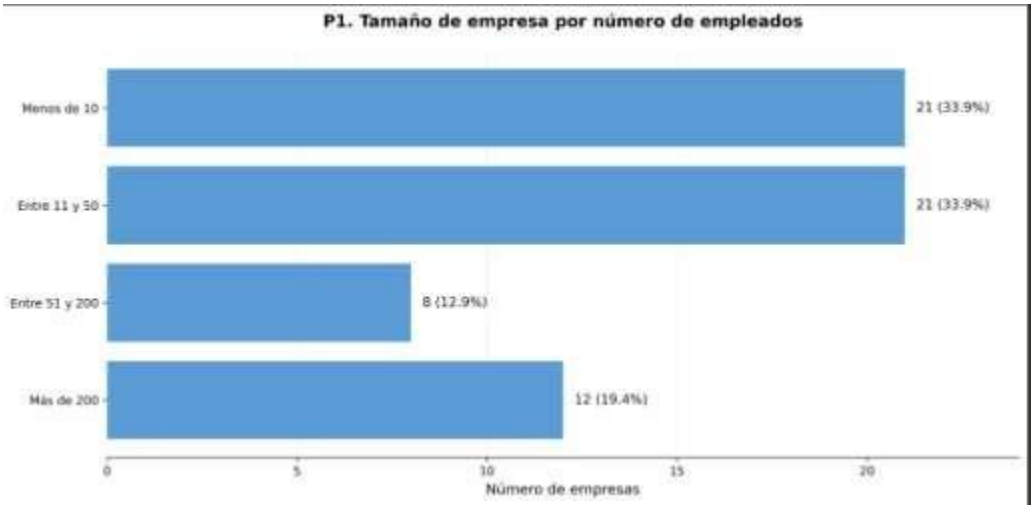
Los resultados de esta investigación se organizan en torno a los tres componentes del enfoque mixto adoptado: el análisis cuantitativo de la encuesta aplicada a 62 empresas del sector constructor, el análisis cualitativo de las entrevistas semiestructuradas realizadas a 8 expertos y la revisión documental de 11 fuentes institucionales y científicas. A continuación se presentan los hallazgos de cada componente, articulados en función de los objetivos específicos de la investigación.*https://forms.office.com/r/Qcy32bcyxY* .

5.1. Presentación de Resultados.

5.1.1. Resultados de la encuesta estructurada

A continuación, se muestran los hallazgos de la encuesta organizada que se llevó a cabo con 62 compañías del campo de la construcción en Colombia, dispuestos pregunta a pregunta. Cada punto tiene su respectiva gráfica seguida de un análisis. Los resultados se analizan de acuerdo a su importancia para el tema de investigación: la evolución tecnológica del sector y su conexión con la aparición de costos adicionales en obras de infraestructura pública.

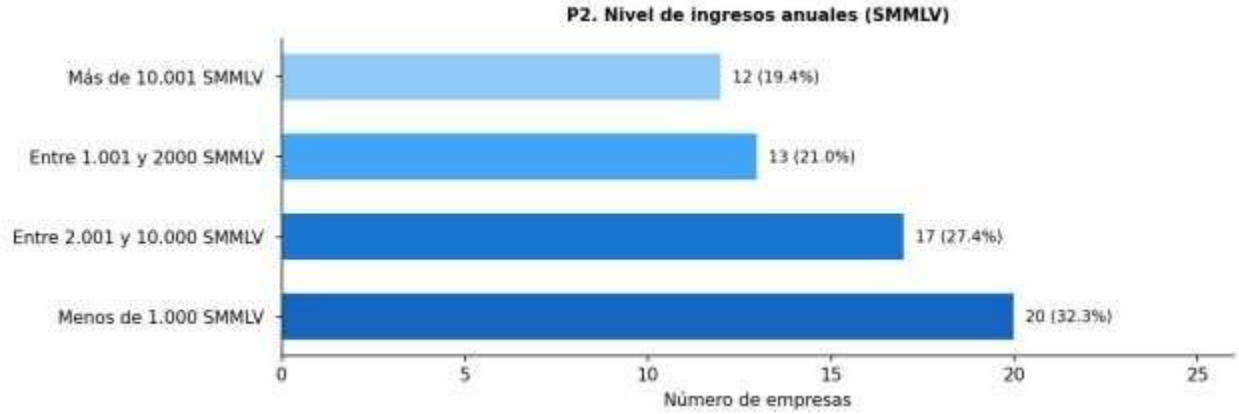
Figura 1
Tamaño de empresa por número de empleados



. Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P1. Tamaño de empresa por número de empleados. El 34 % de las empresas encuestadas son microempresas (aprox. 10 empleados) y otro 34 % son pequeñas (entre 11 y 50). Solo el 19 % corresponde a grandes empresas (correspondientes a más de 200 empleados) y el 13 % a medianas. Este perfil indica que el sector de la construcción en Colombia está dominado por micro y pequeñas empresas básicamente, segmento que históricamente presenta menores niveles de inversión en tecnología y mayor vulnerabilidad a los errores de planeación, lo que refuerza la necesidad de soluciones de IA accesibles y escalables para estas organizaciones de estos tamaños.

Figura 2
Nivel de ingresos anuales en SMMLV



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P2. Nivel de ingresos anuales. El 32 % de las empresas reporta ingresos menores a 1.000 SMMLV (microempresas), el 21 % entre 1.001 y 2.000 SMMLV, el 27 % entre 2.001 y 10.000 SMMLV, y el 19 % superiores a 10.001 SMMLV. La distribución evidencia la diversidad del sector en lo que respecta a su capacidad económica. Las empresas que generan menos ingresos cuentan con menos fondos para invertir en la digitalización, lo que representa un obstáculo fundamental que cualquier iniciativa para implementar inteligencia artificial debe tener en cuenta.

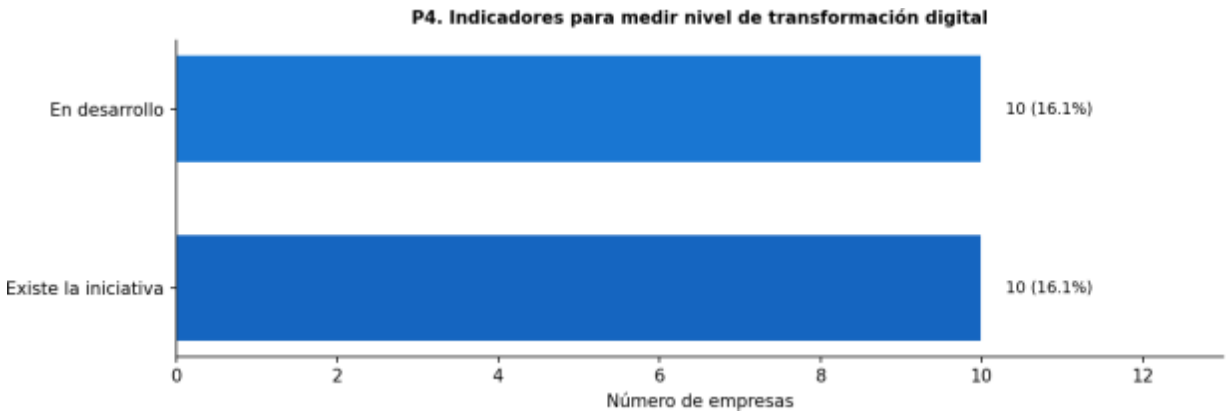
Figura 3
Estrategia de transformación digital desde la alta dirección.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P3. Estrategia de transformación digital desde la alta dirección. El 34 % de las organizaciones indica que la iniciativa está presente, aunque no de manera formal; el 23 % la tiene en proceso de desarrollo, el 18 % la está llevando a cabo, y el 18 % no cuenta con ninguna estrategia (Nulo). Apenas el 13 % la está implementando de manera efectiva. Este hallazgo muestra que la mayoría del sector se encuentra en etapas iniciales de su transformación digital, lo que restringe notablemente la capacidad de implementar herramientas de inteligencia artificial sin un apoyo estratégico formal desde la alta dirección.

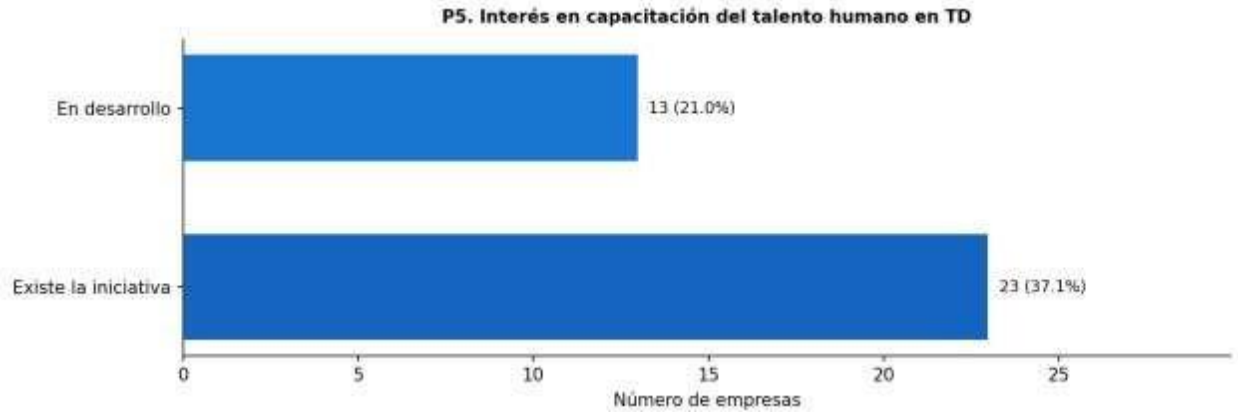
Figura 4
Indicadores para medir nivel de transformación digital



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P4. Indicadores para medir transformación digital. El 45 % de las empresas carece de cualquier tipo de indicador (Nulo) para evaluar su grado de transformación digital; el 16 % ha iniciado una iniciativa, otro 16 % está en la fase de desarrollo y únicamente el 8 % lo ha puesto en práctica de manera efectiva. Este descubrimiento es alarmante: sin sistemas de evaluación, las organizaciones no pueden manejar lo que no cuantifican, lo que dificulta la introducción de procesos de mejora continua o la medición del verdadero efecto de nuevas herramientas tecnológicas.

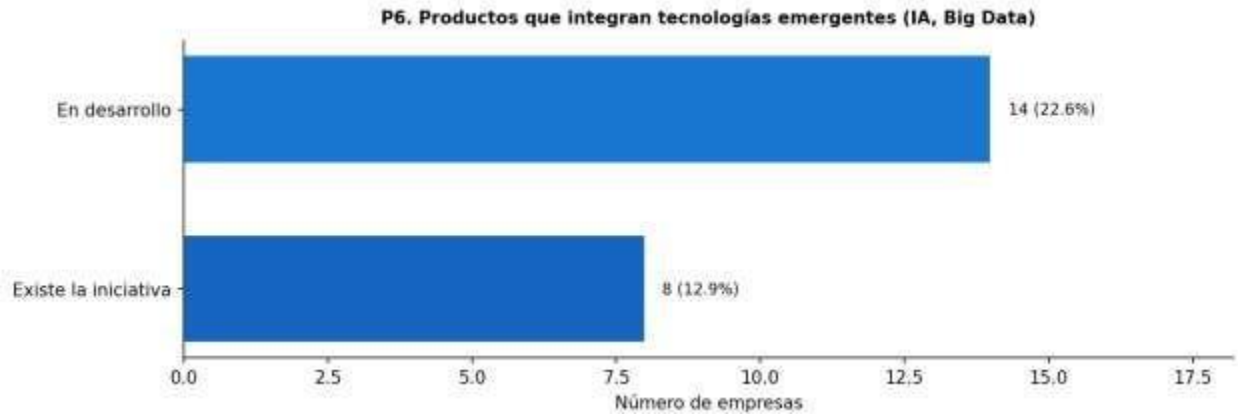
Figura 5
Interés en capacitación del talento humano en TD.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P5. Interés en capacitación en transformación digital. El 37 % ha comenzado la iniciativa, el 21 % está en proceso de desarrollo y el 19 % ya tiene acciones implementadas. No obstante, el 10 % no presenta interés alguno (Nulo). Aunque el nivel de interés es relativamente superior a la acción real en otras consultas, la diferencia entre el interés y la ejecución continúa siendo significativa. La formación del talento humano es crucial para lograr una implementación exitosa de IA en la administración de proyectos.

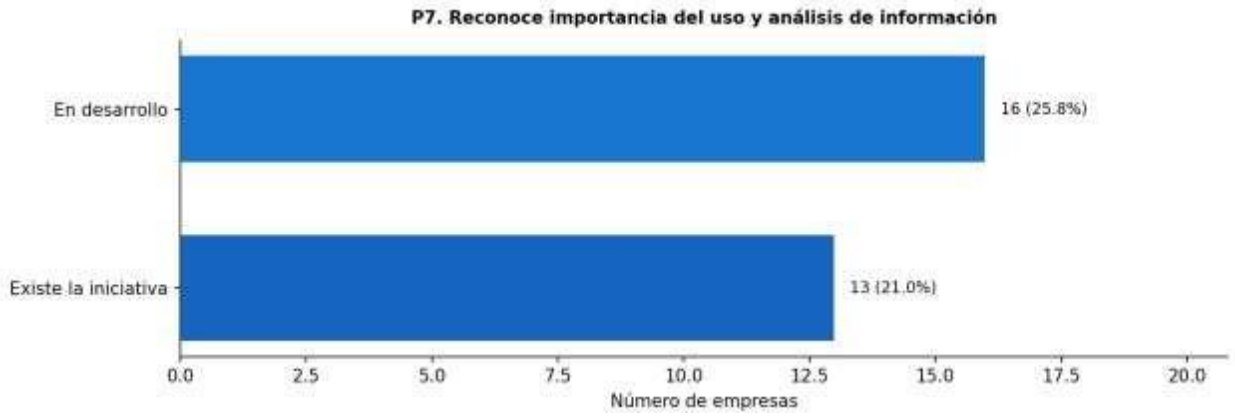
Figura 6
Productos con tecnologías emergentes (IA, Big Data).



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P6. Integración de tecnologías emergentes en productos. El 44 % indica un nivel nulo, lo que significa que ninguno de sus productos incluye IA, Big Data o ciencia de datos. El 23 % se encuentra en fase de desarrollo y únicamente el 10 % ya lo implementa. Este es uno de los indicadores más claros: la mayoría del sector no ha adoptado ninguna tecnología nueva en sus procesos o productos, lo que ratifica que el nivel de madurez digital en general es bajo y que la diferencia con las mejores prácticas internacionales señaladas en la revisión documental es considerable.

Figura 7
Reconocimiento de la importancia del análisis de información.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P7. Reconocimiento de la importancia del uso y análisis de información. El 35 % de las compañías ya está implementando esto, el 26 % lo está trabajando y el 21 % ha iniciado la propuesta. Solo un 6 % indica que no tiene actividad en este aspecto. Este es uno de los aspectos más alentadores de la encuesta: la mayoría aprecia la importancia estratégica de la información. Esta comprensión representa un buen punto de partida para aumentar la consciencia sobre las

ventajas de la inteligencia artificial, dado que la industria reconoce que los datos son valiosos, aunque todavía no los administre con tecnologías avanzadas.

Figura 8
Innovación tecnológica como factor importante



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P8. Innovación tecnológica como factor estratégico. El 40 % presenta este reconocimiento en acción, el 21 % en desarrollo y el 18 % en etapa de implementación. Solo el 6 % lo clasifica como nulo. Similar a la pregunta anterior, este indicador revela que el sector aprecia la relevancia estratégica de la innovación, aunque la diferencia entre reconocimiento y adopción real sigue siendo considerable. Esto indica que la limitación no es de conocimiento, sino de habilidad y recursos.

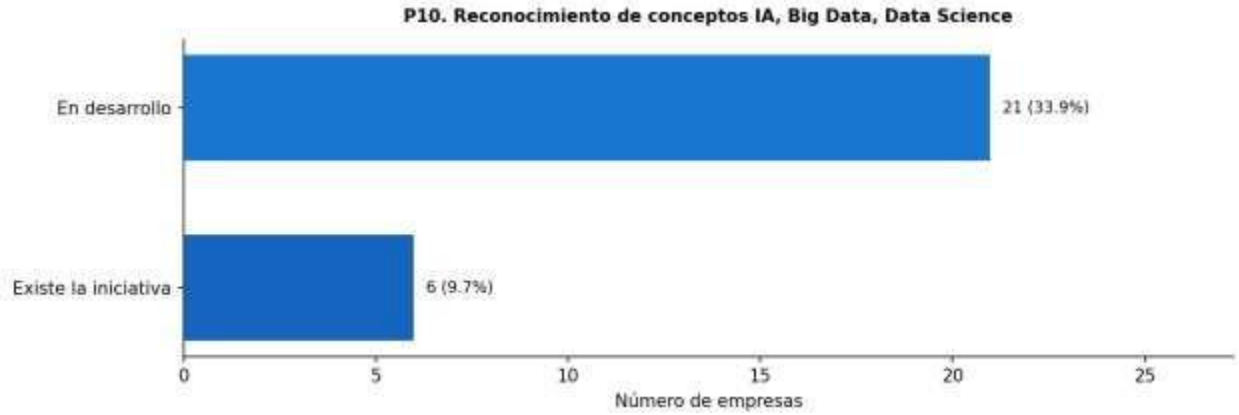
Figura 9
Claridad en protocolos para proyectos tecnológicos



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P9. Claridad en procesos y protocolos para proyectos con alta incorporación tecnológica. El 29 % se encuentra en fase de desarrollo, el 21 % en proceso de implementación, el 18 % en ejecución y el 18 % muestra un nivel nulo. La división de este indicador muestra una situación diversa: aunque algunas organizaciones están progresando, aproximadamente un tercio del sector carece de claridad sobre la forma de manejar proyectos tecnológicos. Esto representa una debilidad directa que eleva el riesgo de errores en la planificación al integrar nuevas tecnologías.

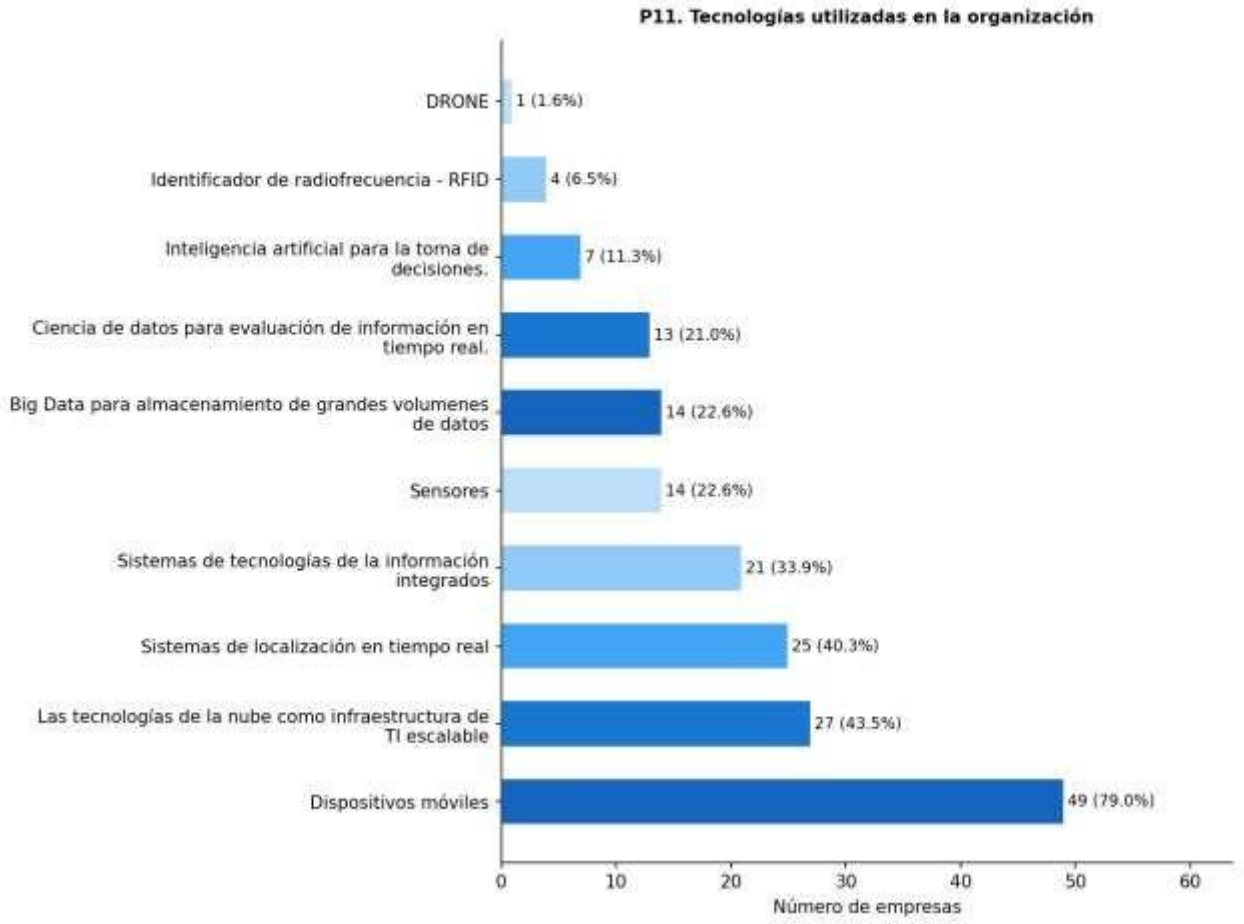
Figura 10
Reconocimiento de conceptos de IA, Big Data y Data Science.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P10. Reconocimiento de conceptos de IA, Big Data y Data Science. El 34 % se encuentra en fase de desarrollo, el 21 % está en ejecución, otro 21 % muestra Nulo y el 16 % en fase de implementación. Si bien se observa cierto nivel de comprensión conceptual, el 21 % de las organizaciones no tiene conocimiento de estos conceptos en absoluto. Este hallazgo trae consigo implicaciones directas para la propuesta: la concientización y la educación digital deben ser el primer paso de cualquier plan de implementación de IA.

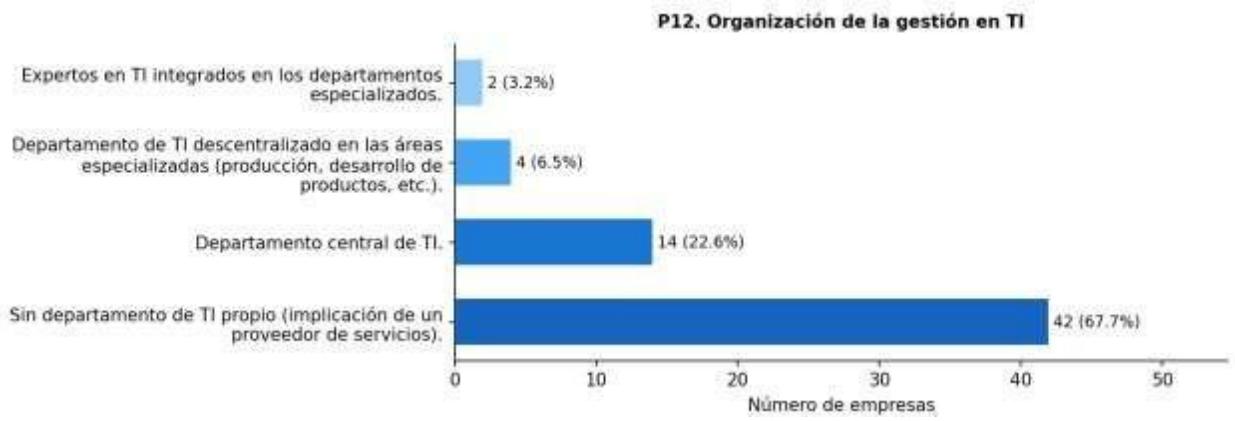
Figura 11
Tecnologías utilizadas en la organización.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P11. Tecnologías utilizadas en la organización. Los dispositivos móviles son la tecnología más utilizada, seguidos por sistemas de localización en tiempo real y tecnologías en la nube. Herramientas de mayor sofisticación como Big Data, IoT o IA tienen una penetración mínima. Este resultado confirma que el sector se encuentra en un estadio básico de digitalización, con uso predominante de tecnologías de conectividad y comunicación, pero con escasa adopción de tecnologías de análisis y predicción.

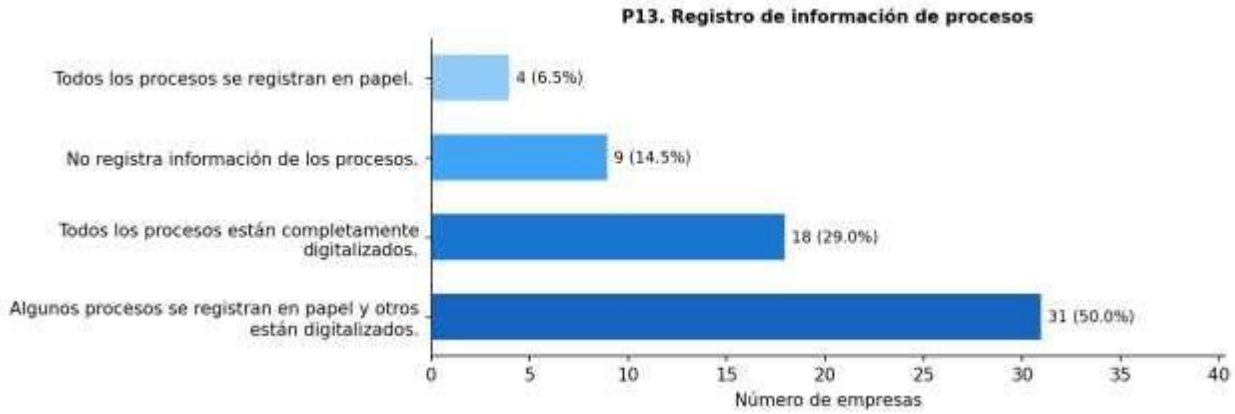
Figura 12
Organización de la gestión en TI.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P12. Gestión en tecnologías de la información (TI). El 68 % de las compañías no tiene un departamento de TI propio y se apoya en proveedores externos. Apenas el 23 % dispone de un área central de TI. Esta dependencia de externos restringe la habilidad de las organizaciones para implementar, ajustar y sostener por sí mismas soluciones tecnológicas sofisticadas. Constituye una de las principales dificultades estructurales para la integración de la IA en la industria.

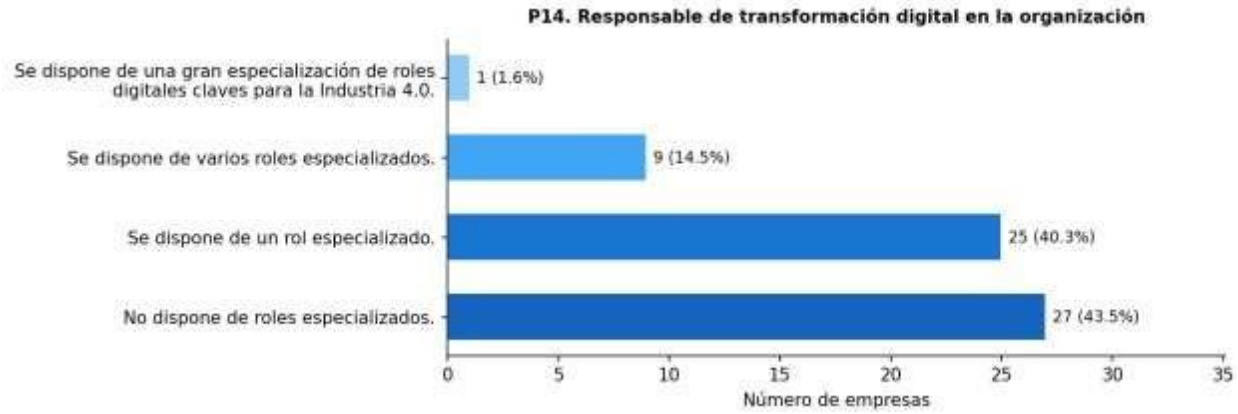
Figura 13
Registro de información de procesos.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P13. Registro de información generada por los procesos. El 50 % de las compañías cuenta con procedimientos que combinan registros en papel y digitales, el 29 % tiene todos sus datos en formato digital, el 15 % no lleva un registro de información y el 6 % lo hace únicamente en papel. La falta de datos que sean tanto digitales como organizados representa la principal dificultad para llevar a cabo modelos de inteligencia artificial: sin datos históricos confiables, no se pueden entrenar algoritmos para hacer predicciones. Este hallazgo subraya la importancia de realizar una fase inicial de digitalización básica antes de proceder con cualquier implementación de inteligencia artificial.

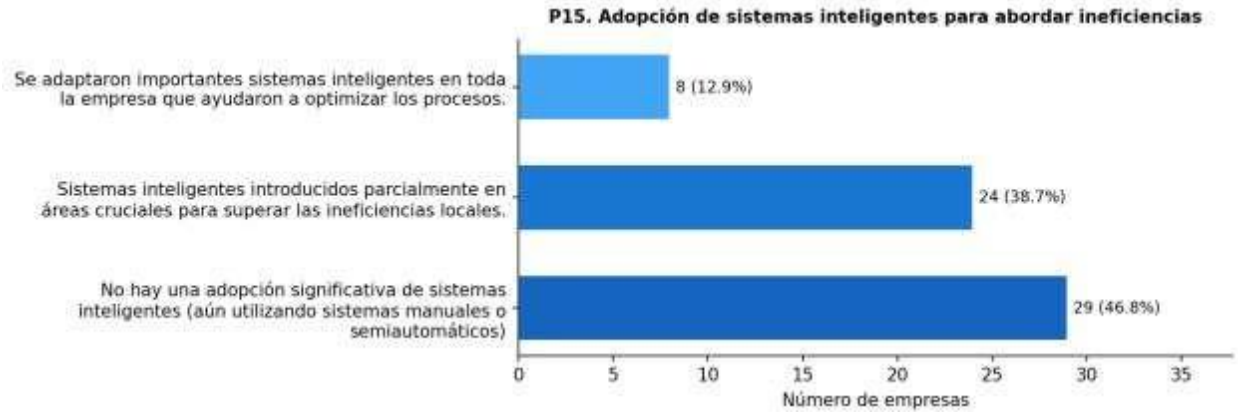
Figura 14
Responsable de transformación digital.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P14. Responsable de transformación digital en la organización. El 44 % no cuenta con ningún cargo específico en transformación digital, el 40 % tiene un rol especializado y el 15 % posee varios. La falta de liderazgo digital en casi la mitad de las organizaciones concuerda con los reducidos niveles de estrategia y de adopción tecnológica observados en preguntas previas. Sin un líder que promueva la agenda digital, las iniciativas de inteligencia artificial no tienen un responsable que asegure su continuidad.

Figura 15
Adopción de sistemas inteligentes



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P15. Adopción de sistemas inteligentes para abordar ineficiencias. El 47 % de las organizaciones todavía no ha incorporado sistemas inteligentes de forma notable y sigue utilizando métodos manuales o semiautomáticos. Un 39 % ha comenzado a utilizarlos de manera parcial en zonas clave, mientras que únicamente el 13 % los ha adoptado de manera extensa. Esta cifra es directamente pertinente a la hipótesis del análisis: la mayor parte de las empresas no ha puesto en marcha sistemas capaces de solucionar deficiencias en la planificación, lo que subraya la urgencia de la propuesta.

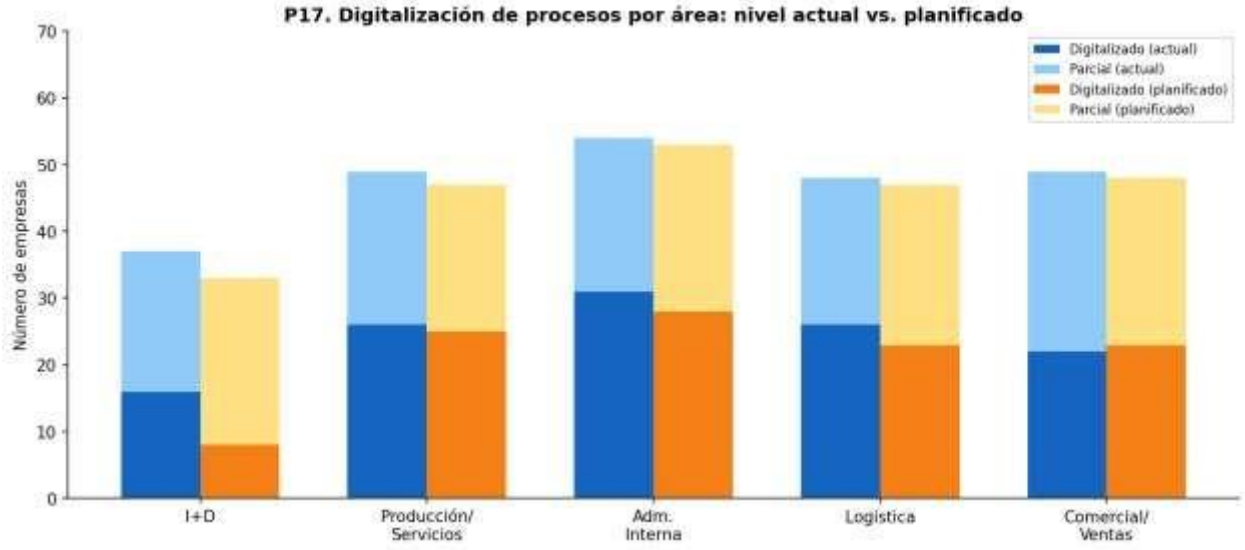
Figura 16
Ambición estratégica respecto a Industria 4.0.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P16. Ambición estratégica respecto a Industria 4.0. El 48 % de las empresas ni siquiera ha pensado en la Industria 4. 0 como una posibilidad. El 24 % está al tanto de sus ventajas, pero ignora cómo llevarlas a cabo; el 23 % tiene planes de hacerlo y solo el 3 % ha comenzado con el proceso. Este dato es claro: el cambio hacia las tecnologías de la Industria 4. 0, que incluye la IA, no se considera una prioridad estratégica por la mayoría del sector, lo que requiere una propuesta que brinde una guía clara, gradual y específica para comenzar esa transformación.

Figura 17
Digitalización de procesos por área.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P17. Digitalización de procesos por área (actual vs. planificada). La gestión interna se encuentra como el sector más avanzado en digitalización, con un 50 % completamente digitalizado. Le siguen producción y logística, cada uno con un 42 %, y ventas, con un 35 %. Por otro lado, Investigación y Desarrollo es el área que presenta el menor nivel de digitalización, con solo un 26 %. Esta situación es alarmante, ya que es en esta etapa donde los modelos de inteligencia artificial pueden influir de manera significativa en la reducción de errores en la planificación. La digitalización que se tiene planeada muestra mejoras muy limitadas en comparación con la situación actual.

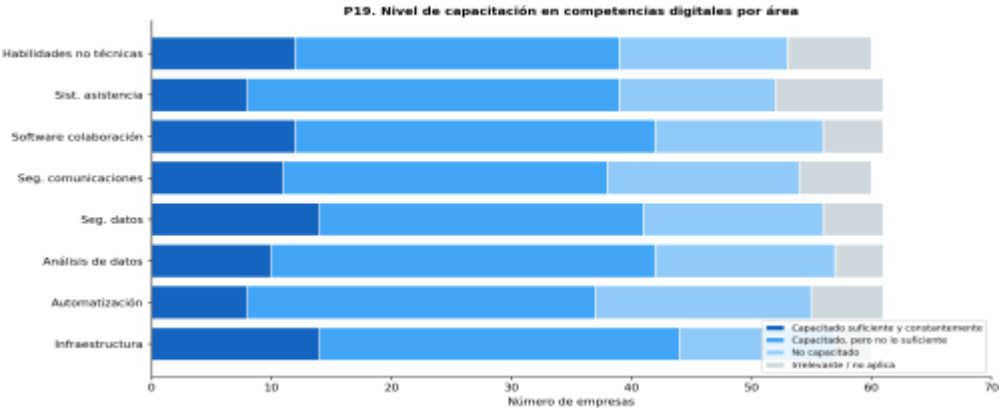
Figura 18
Uso de la tecnología en la nube (cloud)



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P18. Uso de tecnologías en la nube. El almacenamiento en la nube es el recurso más comúnmente usado, con un 81 % de adopción, seguido por el uso de software en la nube, que llega al 69 %. A pesar de esto, solo un 48 % recurre a la nube para la evaluación y el análisis de datos. Este dato es prometedor en cuanto a la infraestructura fundamental, ya que la mayor parte del sector ya dispone de acceso a plataformas en la nube, lo que haría más sencilla la implementación de herramientas de inteligencia artificial que se basen en este modelo, sin requerir una infraestructura local costosa.

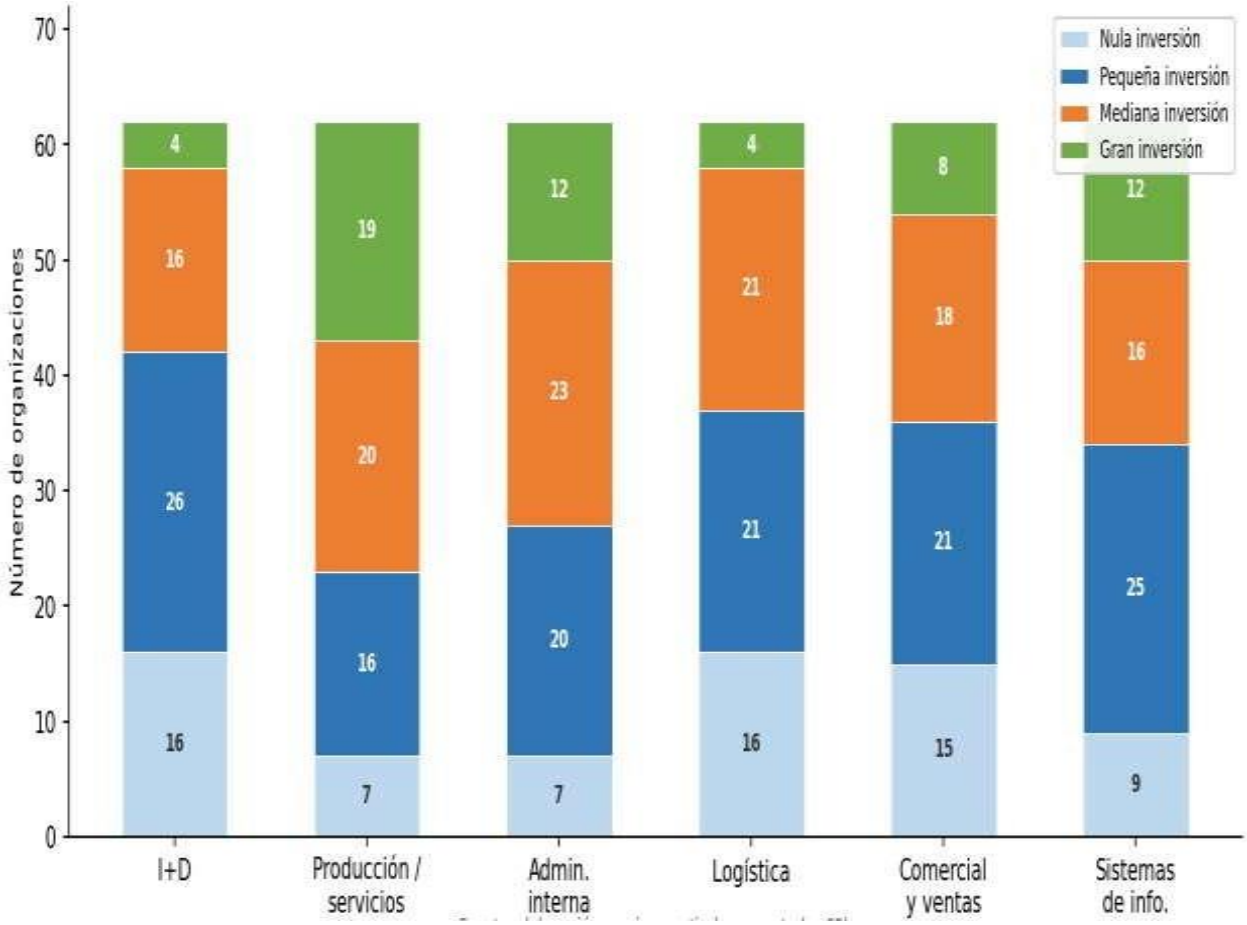
Figura 19
Nivel de capacitación en competencias digitales



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P19. Nivel de capacitación en competencias digitales por área. En todos los aspectos analizados: infraestructura, automatización, análisis de datos, seguridad y competencias no técnicas, la respuesta más común es “preparado, pero no bastante” (variando entre el 44 % y el 52 %). Entre el 13 % y el 29 % indica que no ha recibido capacitación alguna, mientras que solo entre el 13 % y el 23 % se siente adecuadamente preparado. La carencia de formación afecta a todas las áreas y señala la brecha de talento humano más importante para la implementación de IA.

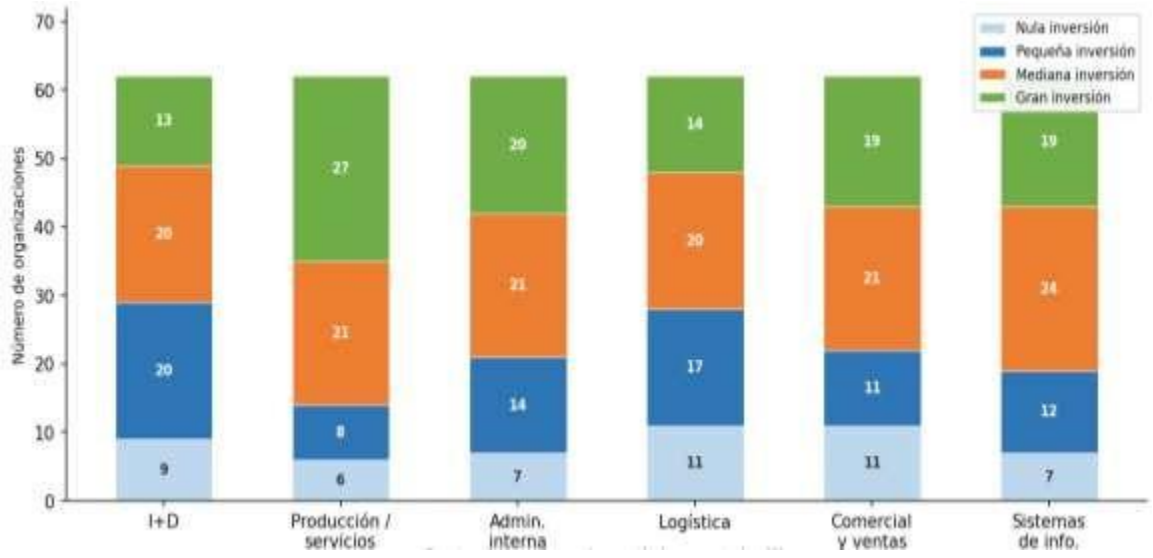
Figura 20
Importancia percibida de tecnologías emergentes.



Fuente: elaboración propia a partir de una encuesta (n=62).

P20. Importancia percibida de tecnologías emergentes. Las tecnologías basadas en la nube (Cloud, con un promedio de 2,12), la capacitación y el recurso humano (2,07) y la ciberseguridad (2,00) reciben las mejores calificaciones. La inteligencia artificial tiene una puntuación promedio de 1,85 y el Internet de las Cosas un 1,84. En cambio, las áreas menos valoradas son la fabricación aditiva y la robótica. Es notable que la inteligencia artificial no se considera la tecnología más crucial, lo cual indica que el sector aún no ha reconocido completamente su capacidad para mejorar la gestión de proyectos. Esto enfatiza la importancia de la educación y ejemplos prácticos dentro del sector de la construcción en Colombia.

Figura 21
Uso de sistemas de información para comunicación interna por área

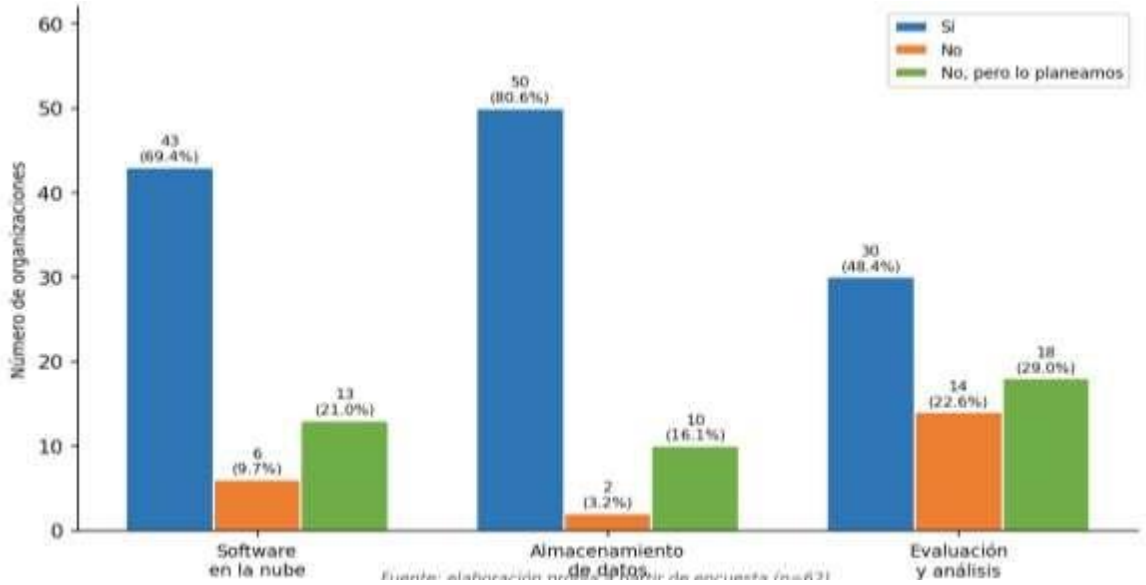


Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P21. Sistemas de información para comunicación interna. Los resultados muestran que el área de administración interna presenta el mayor nivel de uso de sistemas de información, con 31 organizaciones (50,0 %) que los utilizan plenamente. Le siguen producción/servicios con 27 respuestas afirmativas (43,5 %) y logística con un comportamiento similar. El área con menor integración digital es la de investigación y desarrollo, donde 18 empresas (29,0 %) indican que

dicha área no existe y solo 17 (27,4 %) la emplean con sistemas de información. Este hallazgo es relevante para la investigación: la investigación y desarrollo es precisamente el área donde los modelos de IA predictiva tienen mayor potencial de impacto en la reducción de sobrecostos, y su baja digitalización representa una barrera directa para cualquier implementación tecnológica.

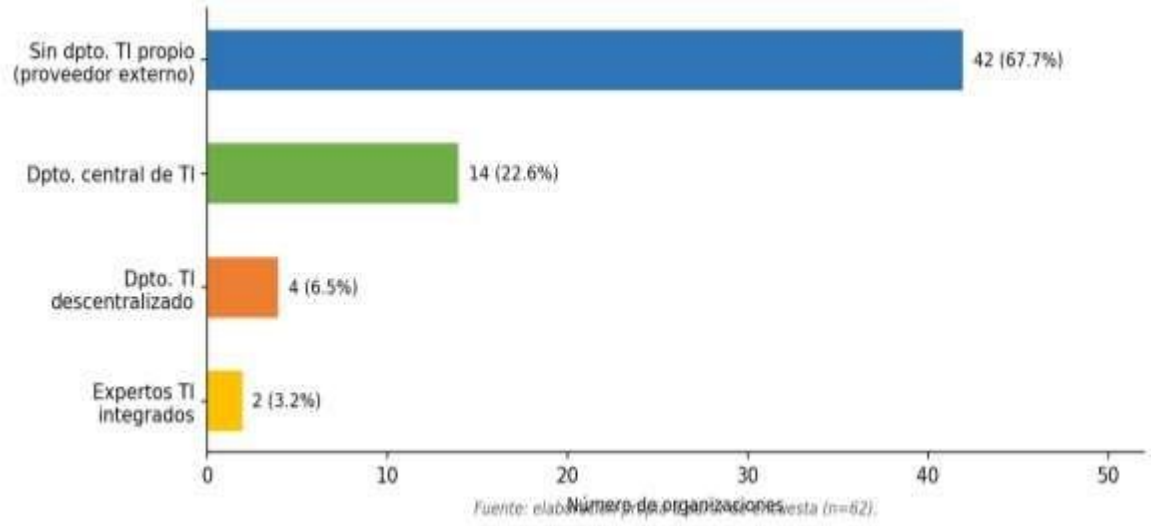
Figura 22
Uso de sistemas de información para comunicación con clientes y proveedores



Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P22. Sistemas de información para comunicación externa. En la comunicación con clientes y proveedores, el área administrativa vuelve a destacar como la más digitalizada, con 29 respuestas afirmativas (46,8 %). Sin embargo, en el área de investigación y desarrollo, 20 empresas (32,3 %) indican que el área no existe y solo 9 (14,5 %) utilizan sistemas de información para la gestión externa. Este patrón, coherente con la pregunta anterior, evidencia que la digitalización del sector se concentra en las funciones de soporte administrativo, mientras que las áreas operativas y de desarrollo —críticas para la gestión de proyectos de infraestructura— permanecen con bajo nivel de integración tecnológica.

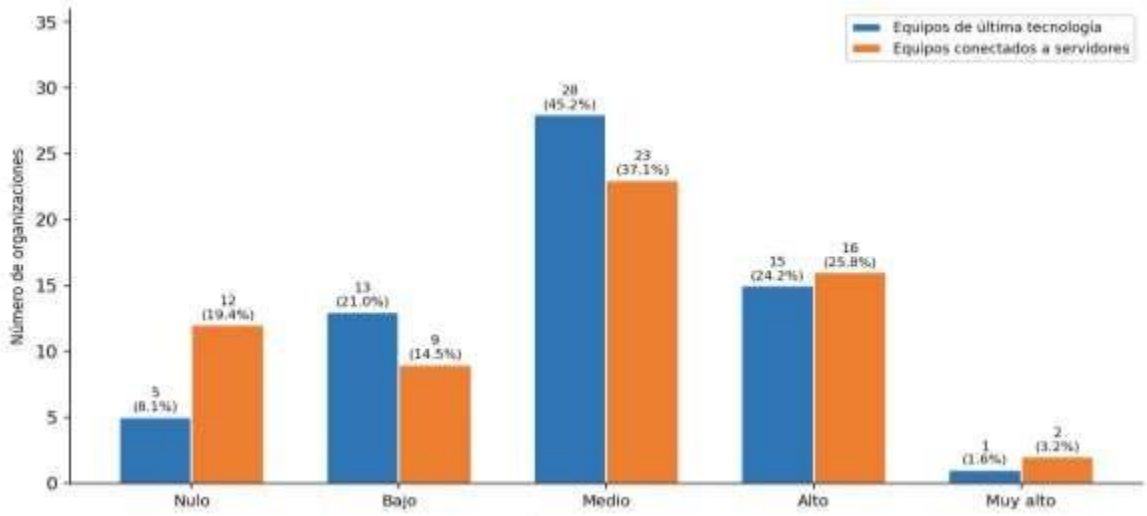
Figura 23
Uso de tecnologías en la nube (cloud)



Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P23. Uso de tecnologías en la nube. El almacenamiento en la nube es el servicio más adoptado, con 51 organizaciones (82,3 %) que lo utilizan actualmente, seguido por el software en la nube con 44 empresas (71,0 %). La evaluación y análisis de datos en la nube muestra una adopción significativamente menor, con solo 31 organizaciones (50,0 %), mientras que 14 (22,6 %) no lo utilizan ni lo planean. Este dato es especialmente relevante para la propuesta: la infraestructura básica de nube ya está disponible en la mayoría del sector, lo que elimina una barrera técnica importante para la implementación de herramientas de IA. Sin embargo, la brecha entre el almacenamiento (82,3 %) y el análisis de datos (50,0 %) indica que el sector usa la nube para guardar información, pero aún no para procesarla con fines predictivos.

Figura 24
Organización de la gestión en tecnologías de la información (TI)

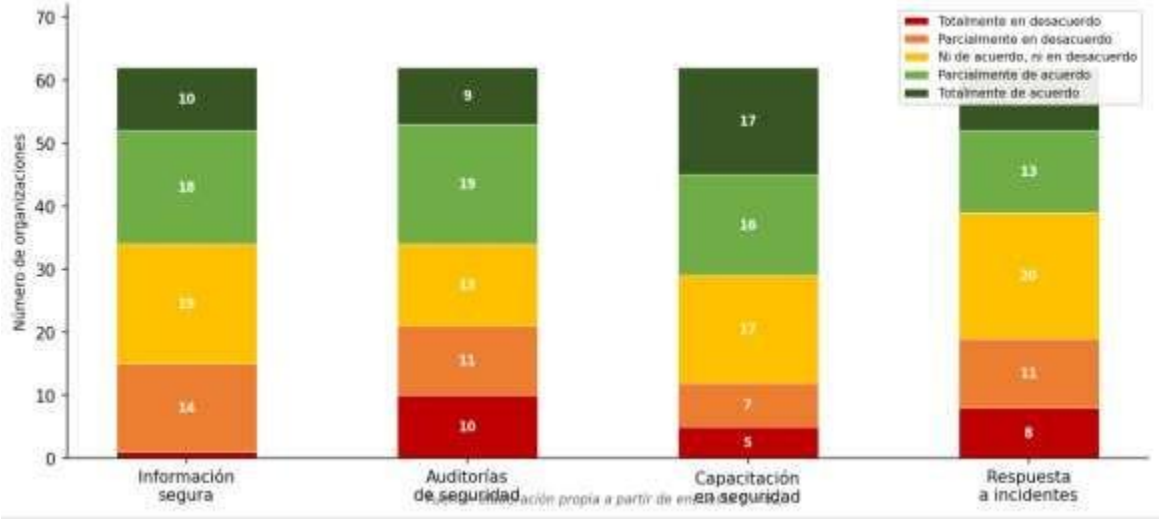


Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P24. Organización de la gestión en TI. El 67,7 % de las empresas (42 organizaciones) no cuenta con un departamento propio de TI y depende de proveedores externos para sus necesidades tecnológicas. Solo el 22,6 % dispone de un departamento central de TI, y únicamente 7 empresas (11,3 %) cuentan con estructuras más avanzadas —departamentos descentralizados o expertos integrados—. Esta alta dependencia de proveedores externos representa un obstáculo estructural significativo para la implementación autónoma de sistemas de IA: sin capacidad interna de TI, las organizaciones no pueden desarrollar, ajustar ni mantener los modelos predictivos propuestos. Esta limitación es coherente con el bajo nivel de madurez digital observado en preguntas anteriores y refuerza la necesidad de contemplar, en la propuesta estratégica, alianzas con proveedores tecnológicos especializados en el sector de la construcción pública.

Figura 25

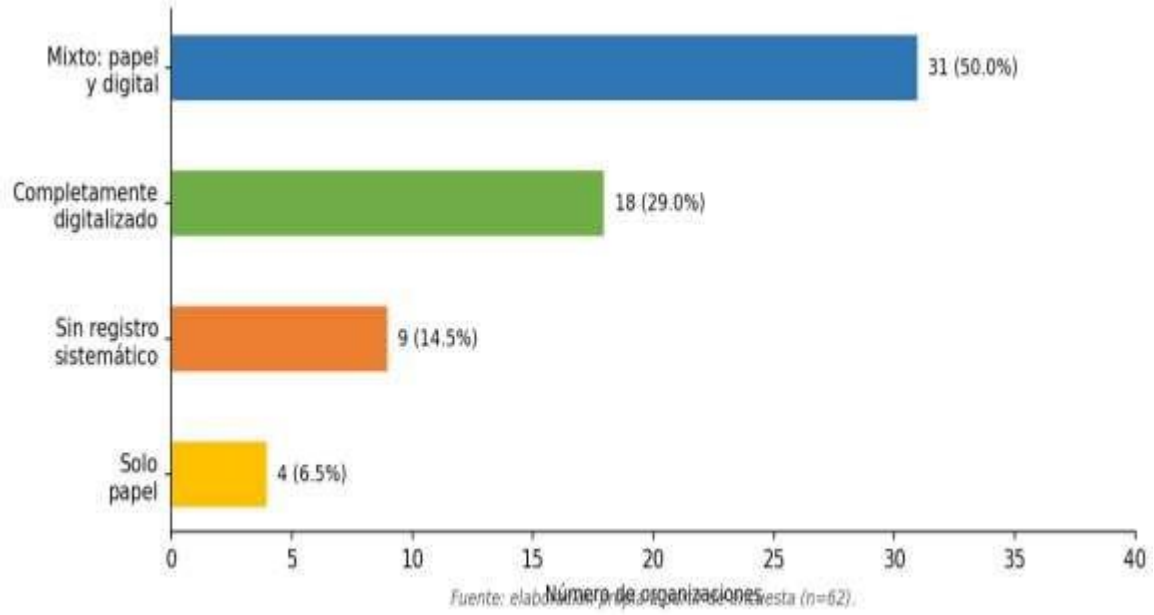
Nivel de equipamiento tecnológico de la organización



Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P25. Equipamiento tecnológico. En cuanto a equipos de última tecnología, la categoría más frecuente es "Medio" con 28 respuestas (45,2 %), seguida de "Alto" con 15 (24,2 %) y "Bajo" con 13 (21,0 %). Solo 2 empresas (3,2 %) califican su equipamiento como muy alto. Un patrón similar se observa para equipos conectados a servidores, aunque con una distribución más dispersa: 12 organizaciones (19,4 %) tienen un nivel nulo. Estos resultados indican que si bien el sector no está en una situación crítica de obsolescencia tecnológica, tampoco cuenta con la infraestructura de punta que requeriría una implementación de IA de nivel avanzado. Esta condición es consistente con la etapa de madurez digital identificada globalmente en la encuesta y soporta el diseño por fases de la propuesta estratégica.

Figura 26
Percepción sobre seguridad de la información en transformación digital

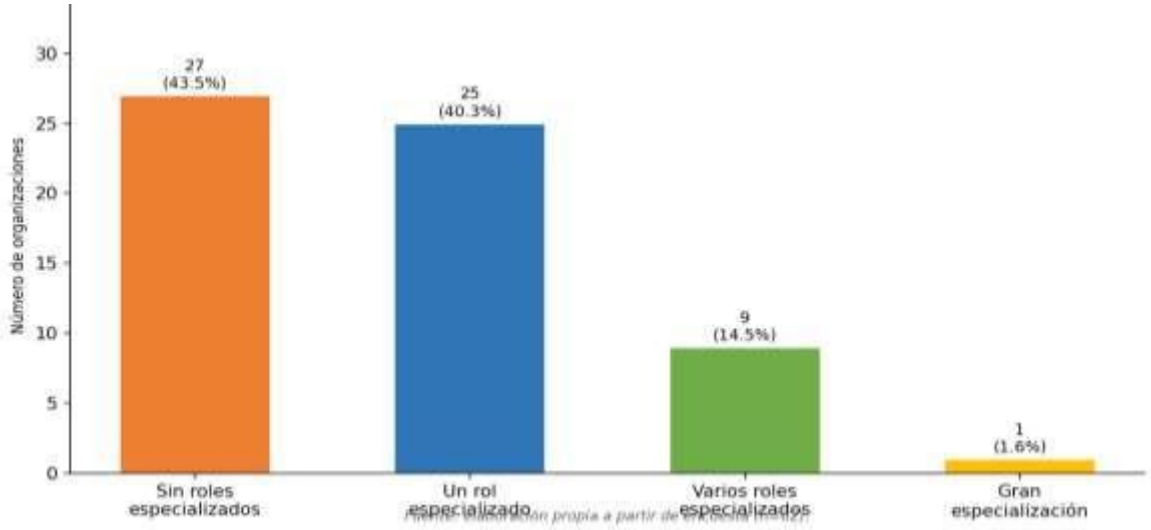


Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P26. Seguridad de la información. Los resultados muestran un panorama de incertidumbre generalizada en materia de seguridad digital. Ante la afirmación sobre si la información de la organización se encuentra segura, el 30,6 % indica estar "parcialmente de acuerdo" y otro 30,6 % ni de acuerdo ni en desacuerdo, evidenciando que la seguridad digital no está plenamente consolidada. La dimensión con mayor nivel de acuerdo es la capacitación en seguridad, donde 18 organizaciones (29,0 %) están totalmente de acuerdo en que promueven la conciencia en esta área. Sin embargo, la realización de auditorías de seguridad presenta el mayor nivel de desacuerdo combinado, con 21 empresas (33,9 %) entre "totalmente en desacuerdo" y "parcialmente en desacuerdo". Este hallazgo indica que la seguridad de la información es un área que requiere fortalecimiento paralelo a la implementación de herramientas de IA, aspecto contemplado en la Fase 1 de la propuesta estratégica.

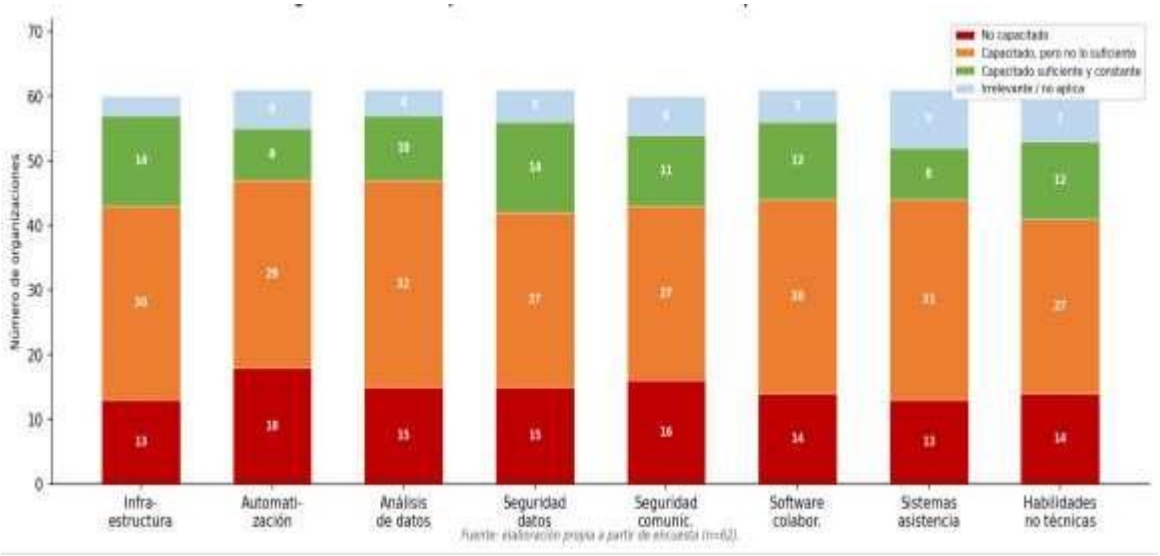
Figura 27
Registro de la información generada por los procesos



Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P27. Registro de información de procesos. El 50,0 % de las empresas (31 organizaciones) utiliza un sistema mixto en el que algunos procesos se registran en papel y otros están digitalizados. El 30,6 % tiene todos sus procesos completamente digitalizados, el 14,5 % no registra información de manera sistemática y el 6,5 % lo hace únicamente en papel. Esto significa que solo el 30,6 % del sector cuenta con registros completamente digitales, mientras que el 69,4 % restante opera con información parcialmente digitalizada o sin registro formal. Para la propuesta, este es un indicador crítico: la construcción de una base de datos histórica estructurada requiere registros digitales completos. La mayoría del sector deberá atravesar primero una fase de digitalización básica antes de poder beneficiarse de herramientas predictivas, lo que justifica plenamente la Fase 2 del plan de implementación propuesto.

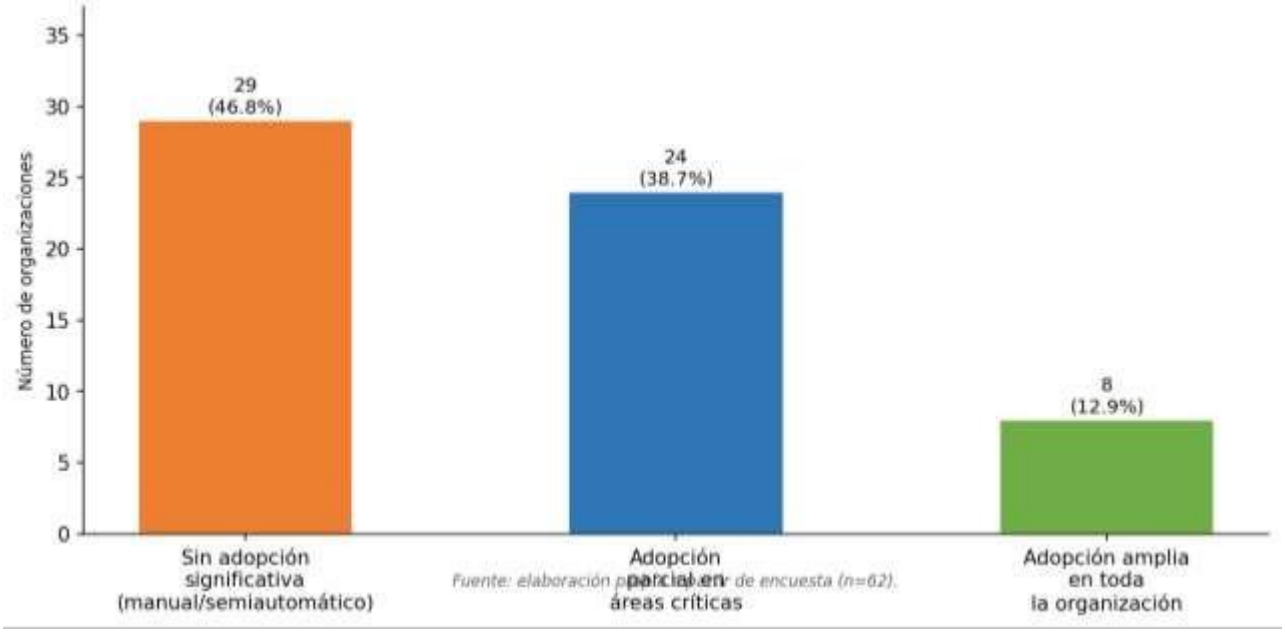
Figura 28
responsable de la transformación digital en la organización



Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P28. Responsable de transformación digital. El 43,5 % de las organizaciones (27 empresas) no cuenta con ningún rol especializado en transformación digital, y el 40,3 % (25 empresas) tiene un solo rol especializado. Solo 9 empresas (14,5 %) disponen de varios roles especializados y únicamente 2 (3,2 %) cuentan con una gran especialización orientada a la Industria 4.0. La ausencia de liderazgo digital en más de dos quintas partes de las organizaciones es coherente con los bajos niveles de estrategia formal y adopción tecnológica observados en preguntas anteriores. Sin un responsable que articule y sostenga la agenda de transformación digital, las iniciativas de IA carecen del impulso institucional necesario para su continuidad. Este hallazgo respalda la inclusión, en la Fase 1 de la propuesta, de la creación o designación formal de roles de liderazgo digital como condición habilitadora para las etapas posteriores.

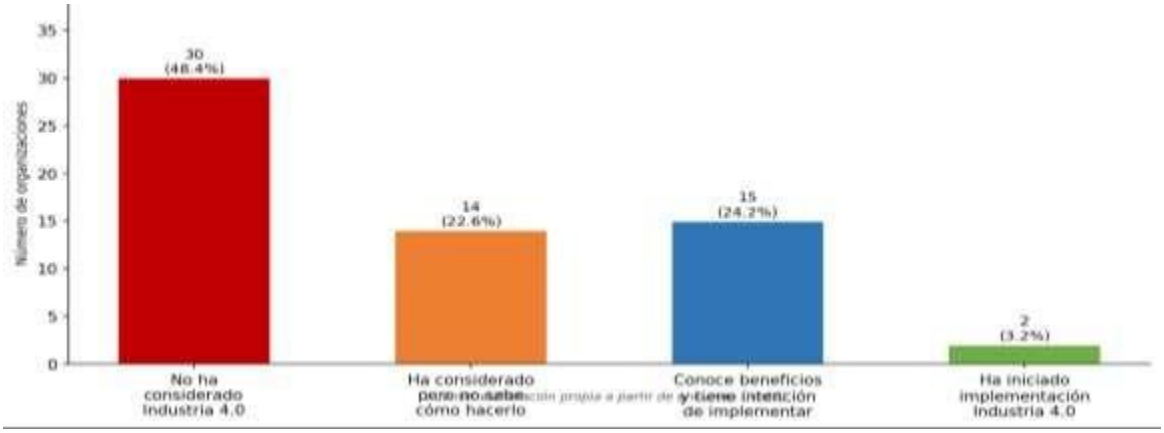
Figura 29
Nivel de capacitación del talento humano en competencias Industria 4.0



Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P29. Capacitación en competencias digitales por área. En todos los dominios evaluados, la respuesta más frecuente es "capacitado, pero no lo suficiente", con valores entre el 43,5 % y el 51,6 % según el área. El análisis de datos concentra el mayor número de respuestas en esta categoría (32 organizaciones, 51,6 %), seguido por los sistemas de asistencia y el software de colaboración. La tecnología de automatización presenta el mayor porcentaje de "no capacitado" con 18 organizaciones (29,0 %), lo que es particularmente relevante dado el rol de la automatización en los modelos de IA propuestos. La capacitación suficiente y constante oscila entre el 14,5 % y el 24,2 % según el área, lo que revela una brecha generalizada de talento humano que afecta transversalmente todas las dimensiones de la transformación digital. Este hallazgo ratifica que la formación debe ser el punto de partida de cualquier estrategia de implementación de IA en el sector.

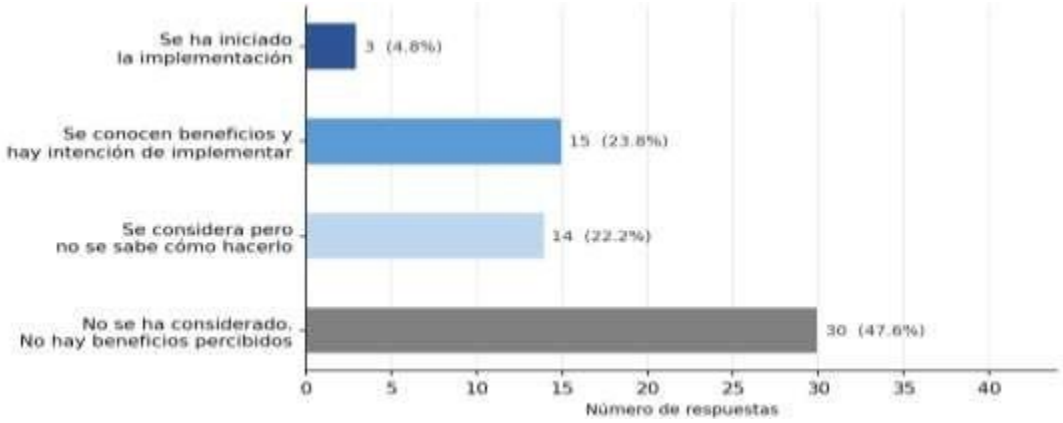
Figura 30
Adopción de sistemas inteligentes para abordar ineficiencias de procesos



Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P30. Adopción de sistemas inteligentes. El 46,8 % de las organizaciones (29 empresas) no ha realizado una adopción significativa de sistemas inteligentes y sigue operando con métodos manuales o semiautomáticos. El 40,3 % (25 empresas) ha introducido sistemas inteligentes parcialmente en áreas críticas para superar ineficiencias locales, y solo el 12,9 % (8 empresas) ha adoptado sistemas inteligentes de manera amplia en toda la organización. Esta cifra es directamente pertinente a la hipótesis de la investigación: la mayor parte de las empresas del sector constructor no ha puesto en marcha sistemas capaces de abordar ineficiencias en la planificación, lo que subraya la urgencia de la propuesta. El escaso 12,9 % que ya adoptó sistemas inteligentes de manera amplia sirve como evidencia temprana de la viabilidad de la transición para el resto del sector, especialmente en la medida en que se acompañe de las condiciones habilitadoras contempladas en las fases estratégicas.

Figura 31
Ambición estratégica de la organización respecto a la Industria 4.0



Fuente: elaboración propia a partir de encuesta (n=62).

P31. Ambición estratégica frente a la Industria 4.0. El 48,4 % de las organizaciones (30 empresas) aún no ha considerado la Industria 4.0 como una posibilidad y no percibe beneficios u oportunidades en ella. El 22,6 % ha contemplado la transición pero desconoce cómo realizarla, el 24,2 % conoce los beneficios y tiene intención de implementarla, y solo 3 empresas (4,8 %) han iniciado el proceso. En conjunto, el 71,0 % del sector muestra algún nivel de conciencia o intención hacia la Industria 4.0, mientras que el 48,4 % permanece completamente ajeno a esta transición. Este dato es especialmente relevante porque contrasta con la percepción positiva sobre la IA observada en otras preguntas: existe una apertura conceptual hacia las tecnologías digitales, pero no se traduce en ambición estratégica concreta. Esta brecha entre percepción y acción es el núcleo del problema que la propuesta busca resolver, y justifica el diseño de una hoja de ruta gradual y acompañada que reduzca la incertidumbre sobre cómo iniciar la transformación.

5.1.2. Resultados de las entrevistas semiestructuradas

Los resultados del aspecto cualitativo de la investigación se obtuvieron de 8 entrevistas semiestructuradas con especialistas en gestión de proyectos de infraestructura pública. Los hallazgos se organizan en tres temas principales: (1) Evaluación del sector, (2) Incorporación de tecnología e IA, y (3) Perspectivas futuras. Cada tema incluye una matriz que muestra la respuesta de cada participante, las características importantes de esas respuestas y un resumen del acuerdo entre los especialistas.

Bloque 1: Diagnóstico del sector — Causas de ineficiencia y sobrecostos

Preguntas asociadas: P1 – P4 de la guía de entrevista (Anexo B). La siguiente tabla sistematiza las respuestas representativas de los ocho expertos entrevistados para el primer bloque temático.

Tabla 2
Bloque 1Diagnóstico del sector — Causas de ineficiencia y sobrecostos

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
E1	"En mi experiencia gestionando proyectos viales para el IDU, los sobrecostos casi siempre tienen el mismo origen: estudios de preinversión insuficientes. Se aprueba el presupuesto con diseños en fase de perfil, no de factibilidad, y eso genera adiciones contractuales ineludibles. He visto obras duplicar su costo original por interferencias de redes no identificadas. El problema no es la corrupción, que también existe, sino la presión política	Causa principal: estudios de preinversión deficientes / diseños en fase de perfil. Factor recurrente: presión política para iniciar obras sin información técnica completa. Ejemplo concreto: interferencia de redes no identificadas. Percepción: la corrupción es factor pero secundario frente a la debilidad técnica institucional.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	por iniciar obras sin la información técnica completa."	
E2	"Los proyectos en los municipios donde he trabajado fracasan desde la formulación. Las fichas MGA se diligencian para cumplir un requisito, no para planear de verdad. Los alcaldes contratan firmas de diseño baratas que presentan memorias incompletas, y el BPIN los aprueba sin mayor verificación técnica. Cuando llega la ejecución, la realidad del terreno no corresponde con lo diseñado y empieza la cascada de adiciones. En mi municipio tuvimos un proyecto vial que terminó con tres adiciones y un 87 % de sobrecosto."	Causa principal: debilidad en formulación MGA / estudios de diseño incompletos. Factor recurrente: aprobación de proyectos sin verificación técnica real. Caso ilustrativo: sobrecosto del 87 % en proyecto vial municipal. Percepción: el problema es sistemático e institucional, no individual.
E3	"Desde el sector financiero que supervisa créditos a contratistas, puedo decir que el problema más crítico es la	Causa principal: subcapitalización de contratistas / precios anormalmente bajos en licitación. Factor recurrente: falta de

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	subcapitalización de los ejecutores. Muchos contratistas ganan la licitación con precios muy bajos, sin capital de trabajo suficiente. Cuando el flujo de caja falla, la obra se detiene, el plazo se extiende y los costos indirectos se disparan. La entidad contratante tampoco tiene capacidad técnica para hacer seguimiento efectivo, y el interventor muchas veces avala el avance sin verificar la calidad real."	capacidad técnica de seguimiento en entidades contratantes. Factor agravante: interventoría deficiente. Percepción: el origen está en la etapa de selección contractual.
E4	"Como investigadora académica he revisado 40 proyectos del SECOP entre 2015 y 2022. El patrón es consistente: el 73 % de los proyectos con sobrecosto mayor al 20 % tenían estudios geotécnicos deficientes o inexistentes en la fase de diseño. Es un problema sistemático de ahorro en los estudios	Causa principal: estudios geotécnicos deficientes o ausentes en diseño. Evidencia empírica: 73 % de proyectos con sobrecosto ≥20 % tenían esta carencia. Factor estructural: vacío normativo en umbrales para exigir estudios de factibilidad. Enfoque académico-cuantitativo sobre la muestra.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	previos que luego se paga con creces en la ejecución. Además, la normatividad vigente no exige estudios de nivel de factibilidad para proyectos menores a ciertos umbrales, lo que deja un vacío institucional enorme.”	
E5	“En la interventoría de proyectos de infraestructura hídrica hemos documentado que los retrasos más frecuentes no son técnicos sino administrativos: demoras en la obtención de licencias ambientales, permisos de concesión de aguas y servidumbres prediales. Estos trámites toman entre 6 y 18 meses, pero rara vez se incorporan en el cronograma inicial. El contratista inicia la obra asumiendo que los permisos llegarán a tiempo y cuando no es así,	Causa principal: retrasos en trámites administrativos (licencias, permisos, predios). Factor recurrente: no inclusión de tiempos de gestión ambiental/predial en el cronograma inicial. Percepción: la causa no es técnica sino de coordinación interinstitucional.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	paraliza y acumula costos fijos sin avance físico.”	
E6	“He gestionado proyectos de infraestructura social en zonas de posconflicto y allí el factor de ineficiencia principal es la inseguridad y el acceso limitado. Pero independientemente del contexto, hay un problema transversal: la falta de un sistema unificado de información de proyectos. Cada entidad lleva sus propios registros, en formatos distintos, sin estandarización. No puedes aprender de proyectos anteriores si no hay datos estructurados. Eso hace imposible cualquier tipo de planeación predictiva.”	Causa principal: ausencia de sistema unificado de información de proyectos públicos. Factor transversal: incapacidad de aprendizaje institucional por falta de datos estructurados. Contexto adicional: condicionantes de seguridad en zonas de posconflicto. Enfoque: gestión del conocimiento como prerrequisito para la mejora.
E7	“Desde el sector privado constructor, veo que el problema del sobrecosto tiene dos dimensiones: la externa, asociada a	Causa principal (externa): variaciones de precios de materiales no cubiertas por fórmulas de ajuste. Causa principal

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	cambios normativos inesperados y variaciones en precios de materiales no contempladas en las fórmulas de ajuste contractual, y la interna, relacionada con la baja digitalización de los procesos de obra. Aún hoy, muchas empresas llevan el control de avance en hojas de Excel desconectadas. No hay trazabilidad en tiempo real y cuando detectan una desviación ya es muy tarde para corregirla sin costo adicional."	(interna): baja digitalización del control de obra / trazabilidad tardía. Factor recurrente: detección de desviaciones cuando ya no son corregibles. Perspectiva: sector privado constructor.
E8	"Mi experiencia en el INVIAS me permite afirmar que el mayor generador de sobrecostos en proyectos de carreteras nacionales son los predios. La gestión predial en Colombia es lentísima: los avalúos tardan, las demandas de los propietarios se extienden, y mientras tanto la obra está adjudicada pero no	Causa principal: gestión predial deficiente / litigios de larga duración previos al inicio de obra. Factor específico: avalúos demorados + demandas de propietarios. Caso extremo: 6 años de litigio predial para proyecto de 4 años de ejecución. Costo financiero de

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	puede iniciar. He visto proyectos de cuatro años de ejecución que llevan seis años en litigios prediales previos. Ese tiempo tiene un costo financiero enorme que nadie presupuesta correctamente desde el inicio."	la espera no presupuestado. Perspectiva: infraestructura vial nacional.

Síntesis de consenso — Bloque 1: *Los ocho expertos entrevistados coinciden en que los sobrecostos en proyectos de infraestructura pública colombiana responden a causas estructurales y recurrentes, no a eventos fortuitos. Los factores más citados son: la insuficiencia de estudios de preinversión (mencionada por 6 de 8 expertos), la débil capacidad técnica de seguimiento en las entidades contratantes (5/8) y los retrasos en trámites de gestión predial y permisos ambientales (4/8). Existe consenso en que la presión política por iniciar obras sin la información técnica completa es un factor transversal que agrava todas las demás causas. La divergencia más relevante se da entre los expertos de nivel nacional (INVIAS, académica), que enfatizan la calidad del dato y la gestión predial, y los de nivel municipal, que señalan la brecha de capacidad institucional como la barrera más crítica. En todos los casos, los expertos reconocen la ausencia de sistemas de información integrados como un denominador común que impide el aprendizaje institucional y la planeación predictiva. Estos hallazgos son consistentes con lo documentado por el BID (2020) y el DNP (2021) en la literatura revisada.*

Bloque 2: Adopción de tecnología y conocimiento sobre IA

Preguntas asociadas: P5 – P8 de la guía de entrevista (Anexo B). La siguiente tabla sistematiza las respuestas representativas de los ocho expertos para el segundo bloque temático.

Tabla 3
Bloque 2: Adopción de tecnología y conocimiento sobre IA

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
E1	"Conozco la IA principalmente a través de la literatura técnica y algunos pilotos que hemos visto en entidades como el BID y el DNP. En nuestra entidad usamos BIM desde hace dos años para diseño y coordinación, pero aún no hemos llegado a modelos predictivos. La barrera principal no es tecnológica: es que no tenemos datos históricos estructurados. Sin datos limpios, cualquier modelo de IA sería una caja vacía. Primero hay que digitalizarse bien antes de hablar de inteligencia artificial."	Nivel de conocimiento IA: conceptual / literatura y pilotos externos. Herramientas en uso: BIM (diseño y coordinación). Barrera principal: ausencia de datos históricos estructurados. Postura: la digitalización básica es prerrequisito de la IA.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
E2	"En mi municipio no tenemos capacidad para implementar IA. Ni siquiera tenemos un sistema de información de proyectos decente. El SECOP II es la única base de datos que usamos y es para cumplir la obligación legal, no para gestionarla analíticamente. He oído hablar de herramientas predictivas pero no tenemos el personal técnico ni el presupuesto para explorarlas. La brecha entre lo que se hace en Bogotá y lo que ocurre en municipios de cuarta categoría es enorme."	Nivel de conocimiento IA: mínimo. Herramientas en uso: SECOP II (obligación legal, no analítica). Barrera principal: brecha de capacidad técnica y presupuestaria municipal. Percepción: fuerte asimetría territorial en capacidades de digitalización.
E3	"Desde la banca, evaluamos proyectos de infraestructura con modelos de riesgo crediticio que usan variables similares a las que podría usar un modelo de IA: plazo de ejecución histórico, capacidad institucional del contratante, tipo de obra,	Nivel de conocimiento IA: alto (aplicación en modelos de scoring crediticio). Herramientas en uso: modelos de riesgo en banca. Experiencia transferible: variables similares a modelos predictivos de obra. Postura:

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	ubicación. Tenemos experiencia con modelos de scoring. La diferencia es que nosotros los aplicamos a la decisión de financiamiento, no a la gestión de la obra. Podría ser viable transferir esa lógica al sector público con los datos correctos."	viable la transferencia metodológica al sector público.
E4	"He publicado sobre modelos de regresión logística aplicados a datos del SECOP para predecir adiciones contractuales. Los resultados son prometedores pero el problema es la calidad del dato de entrada. El SECOP tiene inconsistencias enormes: proyectos clasificados erróneamente, montos sin actualización, fechas inconsistentes. Cualquier modelo depende de que alguien haya hecho bien el trabajo de limpieza de datos, y en Colombia ese trabajo casi nunca se hace sistemáticamente."	Nivel de conocimiento IA: especializado / investigadora activa. Herramientas en uso: regresión logística sobre datos SECOP. Barrera crítica: calidad e inconsistencia del dato de entrada. Percepción: la limpieza de datos es el cuello de botella principal.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
E5	"Usamos software de gestión de interventoría con módulos de control de avance, pero son herramientas reactivas, no predictivas. La IA que más conozco en el sector es la de drones con visión computacional para levantamientos topográficos, que ya es bastante común. Los modelos de predicción de sobrecostos son algo que hemos discutido en nuestro gremio como una necesidad, pero nadie ha dado el paso todavía. La principal barrera es la confianza: ¿cómo le explico a un comité directivo que una IA dice que el proyecto va a tener sobrecosto?"	Nivel de conocimiento IA: aplicado (drones con visión computacional). Herramientas en uso: software de interventoría reactivo. Barrera principal: confianza institucional / explicabilidad del modelo ante directivos. Necesidad identificada: predicción de sobrecostos como próxima frontera gremial.
E6	"En zonas de conflicto hemos explorado el uso de imágenes satelitales con procesamiento automático para monitoreo de obras en sitios de difícil acceso. Es una	Nivel de conocimiento IA: aplicado (imágenes satelitales / supervisión remota). Herramientas en uso: procesamiento automático de imágenes.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	forma de IA aplicada a la supervisión remota. Las barreras que encontramos son la conectividad, el costo de las imágenes y la falta de personal capacitado para interpretar los resultados. Pero es el tipo de aplicación más realista para contextos alejados de los centros urbanos."	Barreras específicas: conectividad, costo de imágenes, ausencia de personal capacitado. Contexto diferencial: zonas de difícil acceso.
E7	"Implementamos un sistema ERP para gestión de proyectos hace tres años. Fue un proceso doloroso de cambio cultural. Ahora tenemos datos estructurados de costos, avance y recursos en tiempo real. Con esa base, hemos empezado a explorar dashboards analíticos con Power BI. El siguiente paso lógico sería modelos predictivos, pero necesitaríamos al menos cinco años más de datos para entrenar algo confiable. La IA no es un atajo: es la	Nivel de conocimiento IA: avanzado / en proceso de adopción. Herramientas en uso: ERP + Power BI. Barrera: insuficiencia de datos históricos para entrenamiento (requiere ≥5 años). Postura: la IA es etapa 4 de un proceso secuencial de digitalización.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	etapa cuatro de un proceso que empieza por digitalizar lo básico.”	
E8	“En el INVIAS hemos piloteado herramientas de análisis de imágenes de cámaras de inspección de túneles y puentes para detección automática de daños. Es IA aplicada al mantenimiento, no a la gestión de proyectos nuevos. Para predicción de sobrecostos, tenemos consciencia de que los datos del INVIAS son de los mejores del sector público colombiano, pero aún no los hemos explotado analíticamente. Hay voluntad institucional pero falta talento humano especializado en ciencia de datos dentro de la entidad.”	Nivel de conocimiento IA: aplicado en mantenimiento (detección automática de daños). Datos disponibles: repositorios INVIAS de alta calidad, sin explotación analítica. Barrera principal: déficit de talento en ciencia de datos dentro de la entidad. Postura: voluntad institucional presente, capacidad interna ausente.

Síntesis de consenso — Bloque 2: *En cuanto a la adopción de tecnología e inteligencia artificial, los expertos presentan niveles de conocimiento heterogéneos pero convergentes en el diagnóstico de barreras. El conocimiento sobre herramientas de IA va desde el nivel*

> *conceptual (expertos municipales) hasta la aplicación activa en modelos de regresión y scoring (experta académica, experto bancario). La herramienta más extendida en el sector es el BIM, seguida por drones con visión computacional para interventoría y levantamientos. Los modelos predictivos de sobrecostos son conocidos pero no implementados en ninguna de las organizaciones representadas. Las barreras más citadas son: calidad e inconsistencia de los datos disponibles (6/8), déficit de talento humano especializado en ciencia de datos dentro de las entidades públicas (5/8) y resistencia cultural e institucional al uso de sistemas automáticos de alerta (4/8). Hay consenso en que la digitalización básica de los procesos es un prerrequisito ineludible antes de pretender implementar IA, lo que concuerda con los niveles de madurez tecnológica bajos documentados en la encuesta cuantitativa (promedio 1,56 sobre 4). Ningún experto descarta la viabilidad de la IA en el sector; todos la sitúan como una meta de mediano plazo condicionada a resolver primero los problemas de datos e infraestructura digital.*

Bloque 3: Prospectiva — Condiciones habilitadoras y recomendaciones

Preguntas asociadas: P9 – P12 de la guía de entrevista (Anexo B). La siguiente tabla sistematiza las respuestas representativas de los ocho expertos para el tercer bloque temático.

Tabla 4
Bloque 3: Prospectiva — Condiciones habilitadoras y recomendaciones

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
E1	"Para implementar IA exitosamente en una entidad pública colombiana se necesitan al menos tres condiciones: primero, un sistema de información de proyectos robusto con al menos cinco años de datos históricos limpios; segundo, una unidad técnica especializada dentro de la entidad con perfil en ciencia de datos, no solo en ingeniería civil; y tercero, el respaldo político de la alta dirección para aceptar las recomendaciones del sistema, incluso cuando contradigan la intuición del	Condiciones habilitadoras: (1) sistema de información con datos históricos ≥5 años; (2) unidad técnica de ciencia de datos; (3) respaldo político de alta dirección. Reto crítico: brecha entre existencia del modelo y su uso efectivo. Perspectiva: entidad pública con experiencia en BIM.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	funcionario. Sin ese aval político, el modelo puede existir y nunca usarse.”	
E2	“Mi recomendación es que el Gobierno Nacional desarrolle una plataforma centralizada de gestión de proyectos con estándares de datos obligatorios, a la que deban reportar todas las entidades públicas. Eso generaría en cinco años el repositorio de datos necesario para entrenar modelos predictivos. No tiene sentido pedirle a cada municipio que desarrolle su propia solución: eso es imposible. Debe haber economías de escala y una plataforma nacional que los municipios simplemente alimenten con sus datos.”	Propuesta concreta: plataforma centralizada nacional con estándares de datos obligatorios. Rol del Estado: desarrollador de infraestructura digital compartida. Economías de escala: condición para viabilidad municipal. Plazo estimado: 5 años para repositorio suficiente.
E3	“Desde la perspectiva financiera, el modelo de IA debería integrarse con el proceso de evaluación de crédito. Si la	Propuesta innovadora: integración del modelo IA con evaluación de crédito público-privada. Uso: filtro previo a la

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	banca y la entidad pública compartieran una evaluación de riesgo común sobre el proyecto, habría más eficiencia en la asignación de recursos y se reduciría el riesgo de financiamiento a proyectos mal formulados. La IA podría actuar como un filtro previo a la aprobación del crédito, similar a los modelos que ya usamos en banca para evaluación de riesgo empresarial."	aprobación de financiamiento. Mecanismo: evaluación de riesgo compartida entre banca y entidad pública. Perspectiva: sector financiero como actor habilitador.
E4	"Académicamente, propongo un proceso de cuatro fases: estandarización de datos (24 meses), entrenamiento del modelo con datos históricos (12 meses), piloto en 10 proyectos de una entidad líder (12 meses) y escalamiento normativo (indefinido). La clave es que el regulador incluya la evaluación de riesgo predictiva como requisito en el ciclo de proyecto,	Propuesta metodológica: 4 fases (estandarización, entrenamiento, piloto, escalamiento). Condición crítica: obligatoriedad normativa como req. del ciclo de proyecto (tipo MGA). Visión: sin marco regulatorio, la adopción será marginal y voluntaria. Perspectiva: investigadora académica.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	similar a como la MGA es hoy obligatoria. Sin obligatoriedad normativa, la adopción será siempre voluntaria y marginal.”	
E5	“Para el sector de interventoría, la IA debería implementarse gradualmente: primero como herramienta de alerta temprana que el interventor puede aceptar o rechazar con justificación, luego como requisito de reporte al contratante, y eventualmente como condición para la aprobación de actas de pago. Ese proceso gradual permite generar confianza en el sistema y reduce la resistencia institucional. El mayor reto será convencer a los interventores de que la IA es un apoyo, no un reemplazo de su juicio profesional.”	Modelo de implementación gradual: alerta optativa → reporte obligatorio → condición de pago. Estrategia de gestión del cambio: IA como apoyo, no sustituto del juicio profesional. Contexto: resistencia gremial de interventores como variable crítica. Perspectiva: interventoría privada.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
E6	"Para los territorios alejados, las condiciones habilitadoras son diferentes: primero se necesita conectividad, luego dispositivos para captura de datos en campo, y solo entonces se puede hablar de plataformas analíticas. El rol del Estado debería ser garantizar esas condiciones de infraestructura digital antes de exigir el uso de herramientas sofisticadas. Recomiendo empezar por proyectos piloto en capitales de departamento antes de intentar replicar en municipios rurales."	Secuencia habilitadora para territorios: conectividad → dispositivos de captura → plataforma analítica. Rol del Estado: garantizar infraestructura digital como precondición. Estrategia territorial: pilotos en capitales departamentales antes de municipios rurales. Perspectiva: contexto posconflicto.
E7	"El mayor reto para el sector constructor privado será la interoperabilidad: los sistemas internos de las empresas deben poder comunicarse con los sistemas del Estado (SECOP, CHIP, MGA) en tiempo real. Hoy eso no es posible porque cada	Reto principal: interoperabilidad entre sistemas privados y públicos (SECOP, CHIP, MGA). Propuesta concreta: DNP lidera estándar de APIs públicas para intercambio de datos. Impacto esperado: multiplicación exponencial del volumen

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	sistema tiene su propia arquitectura. Si se resuelve la interoperabilidad, el volumen de datos disponibles para alimentar modelos predictivos se multiplicaría exponencialmente. Sugiero que el DNP lidere un estándar de APIs públicas para intercambio de datos de proyectos."	de datos para modelos. Perspectiva: sector constructor privado.
E8	"El reto más grande no es tecnológico sino cultural: convencer a los funcionarios públicos de que usar datos e IA para tomar decisiones no los hace vulnerables a cuestionamientos jurídicos. Hoy el temor a la Contraloría lleva a muchos a evitar cualquier herramienta que genere registros adicionales, porque esos registros pueden ser usados en su contra en una auditoría. Mientras no haya un marco jurídico claro sobre el uso de	Reto principal: barrera cultural / temor jurídico al uso de IA en decisión pública. Mecanismo de bloqueo: miedo a registros adicionales en contexto de auditoría. Condición habilitadora: marco jurídico claro sobre uso de IA en gestión pública. Perspectiva: entidad pública de infraestructura nacional.

Exp.	Respuesta textual representativa del participante	Características relevantes alineadas con la categoría
	IA en la decisión pública, la adopción seguirá siendo marginal.”	

Síntesis de consenso — Bloque 3: *Frente a la prospectiva de implementación, los ocho expertos comparten un optimismo moderado y condicionado. Existe consenso en que la IA es viable técnicamente para el sector de infraestructura pública colombiano, pero que su adopción exitosa requiere una secuencia de condiciones habilitadoras que no puede saltarse. Las condiciones más mencionadas son: la estandarización y centralización de datos de proyectos (7/8), la formación de talento humano en ciencia de datos dentro del sector público (6/8) y un marco normativo claro que regule y promueva el uso de IA en la decisión pública (5/8). La propuesta de implementación gradual, por fases y empezando por pilotos en entidades líder, aparece de forma implícita o explícita en 6 de las 8 entrevistas. El hallazgo más relevante y menos esperado es la barrera jurídica identificada por el experto del INVIAS: el temor de los funcionarios públicos a que los registros generados por herramientas digitales sean usados en su contra en auditorías de la Contraloría. Esta barrera no aparece en la literatura internacional revisada y constituye un hallazgo original de esta investigación. En términos de rol del Estado, todos los expertos señalan al DNP y al SECOP como actores clave para liderar la estandarización de datos e interoperabilidad de sistemas, condición sin la cual ningún modelo predictivo podría escalar más allá de pilotos aislados.*

5.1.3. Matriz de revisión documental

La siguiente tabla sistematiza los once estudios e informes técnicos que fundamentan el estado del arte de esta investigación, organizados según los campos definidos en el apartado 3.5.1: autor y año, país, objetivo del estudio, metodología empleada, resultados principales y aporte específico a esta investigación. Los documentos se presentan en orden cronológico ascendente para evidenciar la evolución del conocimiento en el campo.

Tabla 5
Matriz de revisión documental

AUTOR / AÑO	PAÍS	OBJETIVO DEL ESTUDIO	METODOLOGÍA	RESULTADOS PRINCIPALES	APORTE A ESTA INVESTIGACIÓN
Boulton (2015)	Reino Unido	Proponer un marco interpretativo para gestionar proyectos complejos desde la teoría de sistemas adaptativos.	Teórico conceptual. Revisión de literatura y teoría de la complejidad.	Los métodos lineales de planificación son insuficientes para megaproyectos. Propone estrategias adaptativas que reconocen la no linealidad de los sistemas.	Fundamento teórico que justifica el uso de IA dinámica y adaptativa en lugar de modelos estáticos de planificación.
OCDE (2019)	Colombia / Internacional	Analizar el estado de la inversión pública en Colombia e identificar debilidades en la planeación y el control presupuestal.	Análisis comparativo internacional e indicadores de gobernanza y capacidades institucionales.	Colombia presenta debilidades estructurales en planificación de infraestructura. Recomienda transición hacia gobernanza basada en datos.	Valida el enfoque del estudio, provee contexto normativo y respalda el uso de herramientas de IA para fortalecer la precisión en decisiones públicas.
Wauters y Vanhoucke (2020)	Bélgica / Internacional	Comparar el desempeño predictivo de	Cuantitativo comparado: Random Forest, SVM y Redes	Los algoritmos de ML superan consistentemente a los	Estándar técnico para la selección de algoritmos del modelo propuesto;

AUTOR / AÑO	PAÍS	OBJETIVO DEL ESTUDIO	METODOLOGÍA	RESULTADOS PRINCIPALES	APORTE A ESTA INVESTIGACIÓN
		algoritmos de aprendizaje automático frente a métodos estadísticos clásicos en proyectos de construcción.	Neuronales vs. regresión lineal sobre datos de proyectos en ejecución.	métodos tradicionales en precisión predictiva, especialmente ante variaciones no lineales.	evidencia empírica de la superioridad del enfoque predictivo basado en IA.
Shmueli et al. (2020)	EE. UU. / Internacional	Describir el proceso de minería de datos para la toma de decisiones organizacionales mediante técnicas de aprendizaje automático.	Metodológico: árboles de decisión, regresión logística, clasificación y agrupamiento para análisis de datos organizacionales.	Marco procedimental para el tratamiento de datos en contextos organizacionales: limpieza, codificación, modelado predictivo e interpretación.	Base metodológica para el diseño del modelo conceptual y el análisis de datos históricos de proyectos colombianos.
Misuraca y Van Noordt (2020)	Unión Europea	Mapear el estado de adopción de IA en servicios públicos europeos e identificar barreras y factores de éxito.	Análisis de casos múltiples y taxonomía de aplicaciones de IA en el sector gubernamental.	La IA mejora eficiencia y transparencia en servicios públicos. Identifica resistencia institucional y brechas de competencias como principales barreras.	Marco ético y operativo del concepto de gobernanza inteligente; identifica barreras de implementación comparables al contexto colombiano.
BID (2020)	América Latina y el Caribe	Analizar patrones de sobrecosto y retraso en proyectos de infraestructura pública en América	Documental cuantitativo: revisión de cientos de proyectos cruzando costo final vs.	Más del 30 % de los proyectos regionales superan sus presupuestos. Colombia presenta una de las tasas más altas de	Cuantifica y georreferencia la problemática; posiciona la adopción de herramientas predictivas como

AUTOR / AÑO	PAÍS	OBJETIVO DEL ESTUDIO	METODOLOGÍA	RESULTADOS PRINCIPALES	APORTE A ESTA INVESTIGACIÓN
		Latina financiados por el BID.	estimado, plazos y tipología.	irregularidad de la región.	estrategia necesaria para mitigar ineficiencias.
DNP (2021)	Colombia	Evaluar la eficacia de la Metodología General Ajustada (MGA) en la formulación y seguimiento de proyectos públicos colombianos.	Evaluación institucional: revisión de expedientes de proyectos y entrevistas a funcionarios del sector público.	La MGA presenta fallas sistemáticas en su aplicación práctica, especialmente en entidades territoriales con baja capacidad institucional.	Diagnóstico oficial del entorno normativo colombiano; fundamenta la necesidad de complementar los instrumentos existentes con herramientas de IA automatizadas.
Espinoza et al. (2022)	Perú	Documentar la implementación de algoritmos predictivos para reducir errores en la estimación presupuestal de proyectos de infraestructura.	Cuantitativo: regresión logística y bosques aleatorios sobre datos históricos de proyectos ejecutados entre 2010 y 2020.	Reducción del 20 % en errores de estimación presupuestal. Los modelos detectan sesgos en la planificación antes de que generen sobrecostos reales.	Evidencia de transferibilidad al contexto latinoamericano; establece meta de referencia para el modelo propuesto en reducción de errores de estimación.
Ospina (2022)	Colombia	Desarrollar un modelo predictivo de riesgos de sobrecosto y retraso en proyectos de construcción colombianos usando	Cuantitativo: regresión logística y bosques aleatorios con datos históricos colombianos; variables de tipo de contrato, región y	Precisión superior al 80 % en la predicción de riesgos de sobrecosto y retraso en el contexto nacional.	Antecedente nacional directo; demuestra la viabilidad técnica de la IA para el contexto colombiano y establece el estándar de precisión

AUTOR / AÑO	PAÍS	OBJETIVO DEL ESTUDIO	METODOLOGÍA	RESULTADOS PRINCIPALES	APORTE A ESTA INVESTIGACIÓN
		aprendizaje automático.	capacidad institucional.		(≥80 %) del modelo propuesto.
Moreno (2023)	Colombia / Latinoamérica	Analizar casos de implementación de IA para la gestión de riesgos en proyectos de infraestructura pública en Colombia y Latinoamérica.	Mixto: revisión sistemática de literatura y análisis de proyectos piloto con aprendizaje automático.	Los algoritmos de IA detectan anomalías presupuestales en etapas tempranas y proponen rutas correctivas antes de que los problemas escalen.	Contextualiza la IA en el entorno administrativo colombiano; identifica factores críticos de éxito como la calidad de datos históricos y la capacidad institucional.
Karban (2025)	Arabia Saudita	Aplicar IA para evaluar espacios urbanos integrando percepción ciudadana con datos técnicos de planificación pública.	Mixto: Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) con GPT 4 para análisis de opinión y datos técnicos de proyectos urbanos.	La combinación de datos cualitativos y técnicos mediante IA produce evaluaciones más completas de los proyectos urbanos.	Valida el uso de modelos de lenguaje para incorporar variables cualitativas en modelos predictivos, ampliando el alcance más allá del análisis numérico.

Fuente: elaboración propia a partir de revisión documental.

5.1.4. Análisis de los hallazgos de la revisión documental

La revisión de los once documentos seleccionados permite identificar convergencias, divergencias y vacíos de conocimiento que orientan el diseño metodológico y la propuesta estratégica de esta investigación. A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes organizados en tres ejes temáticos.

Convergencia en el diagnóstico del problema

El primer hallazgo transversal es el amplio consenso entre las fuentes revisadas respecto a la persistencia y gravedad de los sobrecostos en proyectos de infraestructura pública, tanto a nivel global como en el contexto colombiano específicamente. Flyvbjerg (2014, citado en el marco teórico) documenta que más del 90 % de los megaproyectos presentan desviaciones presupuestales, patrón que el BID (2020) confirma para América Latina con una tasa regional superior al 30 % y que el DNP (2021) valida para Colombia señalando fallas sistemáticas en la aplicación de la MGA. Esta triple convergencia internacional, regional y nacional brinda una base sólida para afirmar que el problema no es coyuntural ni particular de un sector, sino estructural y replicable, lo que justifica una respuesta igualmente estructural como la que propone esta investigación.

Superioridad demostrada del enfoque predictivo basado en IA

El segundo eje de convergencia es la evidencia empírica sobre la superioridad de los algoritmos de aprendizaje automático frente a los métodos estadísticos tradicionales para la predicción de desviaciones en proyectos. Wauters y Vanhoucke (2020) demuestran esta superioridad en un estudio comparativo riguroso en contextos europeos, mientras que Espinoza et al. (2022) la replica con una reducción del 20 % en errores de estimación en Perú y Ospina (2022) la confirma en el contexto colombiano específico, alcanzando una precisión superior al 80 %. La consistencia de estos resultados en tres contextos geográficos distintos Europa, Perú y Colombia reduce significativamente la incertidumbre sobre la efectividad del enfoque y respalda la hipótesis central de esta investigación. Adicionalmente, Moreno (2023) añade que los modelos de IA no solo predicen sobrecostos, sino que proponen rutas correctivas antes de que los problemas escalen, ampliando el valor de la herramienta más allá de la detección pasiva.

Barreras comunes de implementación

El tercer eje relevante es la identificación consistente de barreras institucionales y de capacidades para la adopción de IA en el sector público. Misuraca y Van Noordt (2020), desde el contexto europeo, identifican la resistencia institucional y la brecha de competencias digitales como los principales obstáculos; el DNP (2021) señala la baja capacidad institucional de los entes territoriales colombianos; y Moreno (2023) destaca la calidad de los datos históricos como condición indispensable para el funcionamiento de los modelos. Estas barreras, lejos de invalidar

la propuesta, orientan su diseño: las cuatro fases estratégicas contempladas en el capítulo 5 alfabetización digital, digitalización de procesos, piloto tecnológico y escalamiento normativo responden directamente a cada una de estas limitaciones identificadas en la literatura.

Vacíos identificados en la literatura

La revisión también permite identificar vacíos importantes. En primer lugar, ninguno de los estudios latinoamericanos revisados aborda de manera integral el ciclo completo desde el diagnóstico de datos hasta la institucionalización normativa del modelo predictivo, limitándose a la demostración técnica del algoritmo. En segundo lugar, la mayoría de los estudios trabaja con datos de proyectos ya ejecutados, sin explorar la integración en tiempo real con los sistemas de información institucionales como el SECOP o la MGA. En tercer lugar, los estudios colombianos disponibles Ospina (2022) y Moreno (2023) no incluyen análisis específico del sector de la construcción pública diferenciado del sector privado, brecha que esta investigación busca llenar mediante la muestra focalizada de 62 empresas constructoras con experiencia en proyectos de infraestructura pública. Estos vacíos confirman la pertinencia y originalidad del aporte que realiza el presente trabajo**.**

5.2. Propuesta Estratégica para el Sector

Tomando como referencia los resultados de la consulta y el estudio de documentos, se sugiere un plan estratégico con cuatro pasos seguidos para incorporar la inteligencia artificial en cómo se gestionan las obras públicas de infraestructura en Colombia. Este plan se basa en el análisis que muestra que la capacidad tecnológica actual es de un 1,56 en promedio, en una escala que va de 0 a 4, y busca mejorar ese nivel hasta alcanzar 2,5 o más en un periodo de uno a tres años. De acuerdo con lo indicado por Espinoza et al. (2022) y Ospina (2022), lograr este objetivo podría reducir entre un 20 % y un 30 % las equivocaciones al calcular los costos.

Modelo conceptual del sistema de IA propuesto

El modelo sugerido se organiza en torno a cuatro elementos interrelacionados, creados para funcionar de manera cohesiva dentro del ciclo de vida de un proyecto de infraestructura pública:

Componente 1: Módulo de recolección y normalización de datos. Este módulo enlaza las fuentes de información institucionales disponibles (SECOP, CHIP, MGA, SIVICOF) y los registros internos de los proyectos, normalizando las variables de entrada: categoría del proyecto, zona geográfica, entidad responsable, presupuesto inicial, capacidad institucional, antecedentes de ejecución y factores contextuales. Su finalidad es asegurar la calidad y la trazabilidad de los datos que alimentarán el modelo predictivo.

Componente 2: Motor predictivo de riesgos (implementación futura). Este es el eje central del sistema propuesto. En su implementación futura se prevé el uso de regresión logística y bosques aleatorios, entrenados con los datos históricos del SECOP y la MGA una vez que la fase de digitalización básica haya generado registros estructurados suficientes. En el presente estudio, este componente queda diseñado a nivel conceptual.

Componente 3: Tablero de control y alertas tempranas. Tras su entrenamiento, el sistema emite alertas automáticas en la fase de formulación al reconocer combinaciones de variables de alto riesgo. El tablero proporciona para cada proyecto: probabilidad estimada de sobrecosto (en porcentaje), variables críticas que influyen más en el riesgo, comparación con proyectos históricos similares y sugerencias de ajuste en la planificación. La visualización está pensada para tomadores de decisiones que carecen de formación técnica en inteligencia artificial.

Componente 4: Módulo de retroalimentación (implementación futura). En la etapa operativa del sistema, tras la ejecución de cada proyecto, sus datos reales se incorporarán a la base histórica para mejorar la precisión del modelo de forma incremental. En el presente estudio, este componente queda definido a nivel de diseño conceptual.

Fases de implementación de la propuesta

Fase 1. Alfabetización digital (meses 1 3): Estrategias para concienciar y formar al personal sobre conceptos fundamentales de IA, Big Data y Ciencia de Datos en el ámbito de la planificación y el control de proyectos. Actividades: talleres tanto presenciales como en línea, colaboraciones con universidades como UNIMINUTO y cursos básicos que ofrecen certificaciones en herramientas digitales. Recurso necesario: instructores especializados y plataformas de aprendizaje en línea. Resultado esperado: aumentar el índice de comprensión de conceptos (que actualmente es de 1,78) a al menos 2,5. Esta fase aborda directamente el hallazgo de la P10, donde un 21 % no tiene conocimiento sobre IA.

Fase 2. Digitalización básica de procesos (meses 4 a 12): Puesta en marcha de sistemas para el registro digital estructurado en todas las áreas, especialmente en investigación y desarrollo, así como en planificación. Actividades: conversión de documentos en papel a formatos digitales, integración con herramientas en la nube ya empleadas por entre el 69 y el 81 % del sector (P18), y creación de protocolos sobre el tratamiento de datos. Recurso necesario: software de gestión y asesoría en arquitectura de datos. Resultado deseado: lograr que el 80 % de los procesos estén digitalizados, considerando que en la actualidad solo el 29 % tiene una digitalización completa (P13).

Fase 3. Prueba del modelo de inteligencia artificial (meses 13 a 24): Puesta en práctica del concepto establecido en un grupo de entidades públicas de prueba (municipios o territorios de tamaño medio con antecedentes de costos adicionales reconocidos). Actividades: recopilación de información histórica, capacitación del modelo, conexión con la MGA del DNP, verificación de resultados con especialistas. Recursos necesarios: equipo de ciencia de datos, servidores en la

nube, apoyo del DNP o de la contraloría. Resultado anticipado: modelo operativo con una precisión igual o mayor al 80 % (de acuerdo al criterio de Ospina, 2022), implementado en al menos 50 iniciativas piloto.

Fase 4. Expansión y políticas públicas (meses 25 a 36): Organización de los conocimientos adquiridos durante la prueba y propuesta de cambios normativos para incluir el uso de herramientas predictivas de inteligencia artificial como obligación en la creación de proyectos de inversión que superen los 500 millones de pesos. Actividades: difusión de resultados, conversación con el DNP, MinTIC y Contraloría, elaboración de un documento CONPES sobre inteligencia artificial en la administración pública. Recursos requeridos: apoyo político, colaboración entre instituciones. Resultado esperado: incorporación oficial del modelo en el ciclo de proyectos públicos en Colombia.

Descripción del instrumento

La guía de análisis de datos históricos es un instrumento de recolección y análisis documental-cuantitativo diseñado para extraer, organizar y analizar información de contratos de obra pública ejecutados en Colombia durante el período 2015–2024. Su propósito es construir la base de evidencia empírica que sustenta la propuesta estratégica del capítulo 5.2. El análisis de esta base de datos se realiza con herramientas ofimáticas (Microsoft Excel), mediante estadística descriptiva y tablas de contingencia. El entrenamiento del motor predictivo de IA queda planteado como trabajo posterior al presente estudio.

Información que se espera recolectar

El instrumento permite recolectar, para cada contrato analizado, las siguientes categorías de información: (1) datos de identificación del contrato —entidad, departamento, tipo de proyecto,

modalidad de contratación—; (2) datos financieros —presupuesto inicial, valor final ejecutado y desviación porcentual—; (3) datos temporales —duración planificada, duración real y retraso—; (4) datos de gestión —número de adiciones, causa de la adición y estado del contrato—; y (5) datos de contexto institucional —sector de inversión y capacidad institucional de la entidad ejecutora—. La combinación de estas variables permite construir un perfil descriptivo de cada proyecto, analizado con estadística descriptiva en Excel.

Fuentes institucionales

Los datos se obtienen exclusivamente de fuentes institucionales oficiales de libre acceso, de conformidad con lo establecido en la Ley 1712 de 2014 sobre transparencia y acceso a la información pública. Las fuentes son:

- SECOP II (Sistema Electrónico para la Contratación Pública): contiene información completa de contratos de obra pública, incluyendo valor, plazo, modalidad, entidad y estado.
- CHIP (Consolidador de Hacienda e Información Pública): provee datos de ejecución presupuestal desagregados por entidad territorial y proyecto.
- SIVICOF (Sistema de Vigilancia y Control Fiscal): contiene información de seguimiento y control de proyectos reportada por la Contraloría General de la República.
- MGA DNP (Metodología General Ajustada): registra los proyectos de inversión pública formulados, con sus indicadores de planificación y ejecución.

Criterios de inclusión y exclusión

Los contratos incluidos en el análisis deben cumplir simultáneamente los siguientes criterios: (a) objeto del contrato corresponde a obra de infraestructura civil pública en los sectores de transporte vial, edificaciones públicas o saneamiento básico; (b) valor del contrato igual o superior a 500 millones de pesos colombianos; (c) estado del contrato igual a liquidado al momento del corte de información; y (d) registro completo de los campos mínimos requeridos por la guía. Se excluyen los contratos de consultoría, supervisión, interventoría y suministros; los proyectos con más del 30 % de campos sin información registrada; y los contratos cuyo proceso de liquidación estuviera en disputa judicial al momento del corte.

Tabla 6

Guía de variables del análisis de datos históricos

Variable	Descripción	Fuente institucional	Valores / Codificación	Rol en el modelo predictivo
Tipo de proyecto	Clasificación del contrato según su objeto principal de obra.	SECOP II (campo: objeto del contrato)	1=Vial, 2=Energético, 3=Saneamiento básico, 4=Edificaciones públicas	Variable de control y segmentación. Permite identificar qué sector es más vulnerable a sobrecostos.
Entidad contratante	Institución pública responsable de la ejecución del contrato.	SECOP II (campo: entidad)	Nominal: nombre de la entidad. Codificada: 1=nacional, 2=departamental, 3=municipal	Variable de contexto institucional. Relacionada con la capacidad de gestión y tasa de irregularidades.
Departamento	Ubicación geográfica del proyecto a nivel departamental.	SECOP II (campo: departamento)	Nominal: nombre del departamento. Se crea columna binaria (1 o 0) por cada departamento para el análisis comparativo.	Variable espacial. Permite identificar regiones con patrones sistemáticos de sobrecosto.
Presupuesto inicial (COP)	Valor del contrato en el acto de adjudicación, en pesos colombianos.	SECOP II (campo: valor contrato)	Numérico continuo. Normalizado en logaritmo para el modelo.	Variable independiente principal. Proxy de la magnitud y complejidad del proyecto.
Valor final ejecutado (COP)	Valor total desembolsado al cierre o liquidación del contrato, incluyendo adiciones.	SECOP II / CHIP (actas de liquidación)	Numérico continuo.	Base para calcular la variable dependiente (desviación porcentual del presupuesto).
Desviación presupuestal (%)	Diferencia porcentual entre el valor final ejecutado y el presupuesto inicial.	Calculada: (Valor final − Presupuesto inicial) /	Numérico continuo. Variable binaria derivada: 1=sobrecosto (>10%), 0=sin sobrecosto.	Variable dependiente del modelo predictivo. Define si un proyecto presenta sobrecosto significativo.

Variable	Descripción	Fuente institucional	Valores / Codificación	Rol en el modelo predictivo
		Presupuesto inicial × 100		
Duración planificada (días)	Plazo contractual pactado al inicio del proyecto.	SECOP II (campo: plazo de ejecución)	Numérico entero.	Variable de control temporal. Correlacionada con la probabilidad de sobrecostos en proyectos de larga duración.
Duración real (días)	Número de días transcurridos entre el acta de inicio y el acta de liquidación.	SECOP II (fechas de inicio y liquidación)	Numérico entero. Variable derivada: retraso = duración real − planificada.	Variable independiente. El retraso en la ejecución es predictor de sobrecostos según Ospina (2022).
Modalidad de contratación	Proceso mediante el cual se seleccionó el contratista.	SECOP II (campo: modalidad de contratación)	1=Licitación pública, 2=Selección abreviada, 3=Concurso de méritos, 4=Contratación directa, 5=Mínima cuantía	Variable independiente. La contratación directa ha mostrado mayor incidencia de sobrecostos (BID, 2020).
Número de adiciones al contrato	Cantidad de actos adicionales que modificaron el valor o el plazo del contrato original.	SECOP II (registros de adiciones)	Numérico entero (0, 1, 2, 3…)	Variable independiente clave. Un número elevado de adiciones es indicador directo de planificación deficiente.
Capacidad institucional	Índice de madurez de gestión de la entidad ejecutora, derivado de informes de la Contraloría.	SIVICOF Contraloría General de la República	Ordinal: 1=Bajo, 2=Medio bajo, 3=Medio, 4=Medio alto, 5=Alto	Variable de contexto institucional. Correlacionada inversamente con la probabilidad de sobrecosto (DNP, 2021).
Causa de adición presupuestal	Motivo principal registrado por la entidad para justificar la adición de recursos al contrato.	SECOP II (campo: justificación de adición)	1=Diseño deficiente, 2=Variación precios insumos, 3=Mayores cantidades de obra,	Variable descriptiva y de segmentación. Permite identificar las causas más frecuentes de

Variable	Descripción	Fuente institucional	Valores / Codificación	Rol en el modelo predictivo
			4=Factores externos, 5=Otras	sobrecosto por tipo de proyecto y región.
Estado del contrato	Situación administrativa del contrato al momento del corte de información.	SECOP II (campo: estado del proceso)	0=Liquidado, 1=En ejecución, 2=Suspendido, 3=Terminado anticipadamente	Variable de filtro. Solo los contratos liquidados (estado=0) se incluyen en el análisis histórico completo.
Sector de inversión	Clasificación funcional del gasto público según el Banco de Programas y Proyectos (BPIN).	MGA Departamento Nacional de Planeación	1=Transporte, 2=Educación, 3=Salud, 4=Agua y saneamiento, 5=Vivienda, 6=Otros	Variable de segmentación. Permite comparar tasas de sobrecosto entre sectores y priorizar la aplicación del modelo.

Fuente: elaboración propia. Las fuentes institucionales corresponden a SECOP II, CHIP, SIVICOF y MGA DNP.

5.2.1. Procedimiento de extracción y procesamiento

Fase 1 Descarga y consolidación de datos

La extracción de datos del SECOP II se realiza mediante el portal de datos abiertos (datos.gov.co), aplicando los filtros de actividad económica (construcción), tipo de contrato (obra) y período (2015–2024). Los archivos descargados en formato CSV se consolidan en una hoja de cálculo Excel. Se verifica que cada registro cuente con los campos mínimos definidos en la Tabla 2 antes de incorporarlo a la base de análisis.

Fase 2 Limpieza y normalización

Se aplica el protocolo de limpieza descrito en el apartado 3.5.1: normalización de textos, tratamiento de valores ausentes con imputación de la mediana para variables numéricas, eliminación de registros con más del 30 % de campos vacíos y validación de rangos admisibles

por variable mediante filtros en Excel. Los valores atípicos en la variable de desviación presupuestal se identifican visualmente mediante gráficas de dispersión y se revisan caso por caso antes de incluirlos en el análisis.

Fase 3 Codificación de variables

Las variables categóricas sin orden jerárquico —como departamento, entidad y tipo de proyecto— se codifican creando columnas binarias auxiliares (1 o 0) para cada categoría. Las variables con jerarquía —como capacidad institucional y modalidad de contratación— se codifican de manera ordinal asignando valores numéricos que preservan la progresión lógica. La variable de desviación presupuestal se clasifica como sobrecosto significativo cuando supera el 10 % del presupuesto inicial, umbral definido en concordancia con el criterio empleado por Ospina (2022).

Fase 4 Análisis descriptivo de los datos históricos

Se realiza un análisis descriptivo completo de la base de datos histórica para caracterizar el fenómeno estudiado. Este análisis incluye: distribución de frecuencias de los contratos con y sin sobrecosto; estadísticas descriptivas de las variables numéricas (media, mediana, desviación estándar); tablas de contingencia cruzando causa de adición con tipo de proyecto y departamento; y el coeficiente de correlación de Pearson para identificar relaciones entre variables continuas. Los resultados de este análisis se presentan en el apartado 5.1.3 del capítulo de Resultados.

Fase 5 Entrenamiento y validación del modelo

Esta fase corresponde al trabajo futuro derivado del presente estudio. Una vez que la implementación de las cuatro fases de la propuesta estratégica (capítulo 5.2) haya generado datos históricos estructurados y suficientes, se prevé el desarrollo de un modelo predictivo con técnicas de aprendizaje automático —como regresión logística y bosques aleatorios— buscando alcanzar el umbral mínimo del 80 % de precisión establecido por Ospina (2022). El presente estudio cubre únicamente el análisis descriptivo de los datos disponibles (Fase 4), dejando el entrenamiento del modelo como línea de investigación futura.

5.3. Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos de la encuesta realizada a 62 empresas del sector constructor en Colombia muestran un promedio de madurez tecnológica de 1,56 en una escala de 0 a 4, indicando que se encuentran en una fase inicial de desarrollo. Este resultado coincide con lo que el BID (2020) reportó, donde se destaca que más del 30 % de las obras de infraestructura en América Latina exceden sus costos previstos, atribuyendo en parte este problema a la limitada capacidad técnica y tecnológica de las organizaciones que las llevan a cabo. La discrepancia entre la percepción estratégica, donde el 74 % reconoce la relevancia de la innovación tecnológica (P8), y la acción real, dado que solo el 13 % ha implementado sistemas inteligentes de manera extensa (P15), es el hallazgo principal de esta investigación, alineándose con lo que Misuraca y Van Noordt (2020) consideraron como la principal traba para la gobernanza inteligente: la resistencia institucional y la falta de competencias digitales.

Este resultado encuentra correspondencia con evidencia reciente obtenida específicamente en empresas colombianas del sector de la construcción. Zabala-Vargas y Jaimes-Quintanilla (2026), al evaluar la madurez tecnológica de 55 organizaciones vinculadas con construcción e ingeniería civil, identificaron un nivel promedio de 2,8 sobre 5, caracterizado como bajo a moderado y con debilidades particularmente asociadas a los componentes estratégicos y de gobernanza.

Los autores plantean que la incorporación efectiva de Inteligencia Artificial, Ciencia de Datos e IoT en la gestión de proyectos requiere articular la tecnología con capacidades organizacionales, planificación, gestión de riesgos y estructuras de gobernanza. Esta evidencia resulta consistente con los hallazgos del presente estudio, donde la disponibilidad tecnológica y la valoración positiva de la innovación aún no se traducen en una adopción amplia de sistemas inteligentes.

A diferencia de las experiencias internacionales analizadas, los resultados locales indican un retraso notable. Wauters y Vanhoucke (2020) evidenciaron que los algoritmos de aprendizaje automático generalmente superan los enfoques tradicionales de planificación siempre que se cuente con datos históricos de calidad, un aspecto que en Colombia solo se satisface completamente en el 29 % de las empresas encuestadas (P13). Del mismo modo, Espinoza et al. (2022) alcanzaron una disminución del 20 % en los errores de estimación en Perú, un contexto administrativo similar, pero partiendo de un nivel de digitalización de datos mucho más alto que el encontrado en esta encuesta. Esto no descalifica la hipótesis de transferibilidad (HE2), sino que la matiza: la implementación de IA en Colombia necesita una etapa previa de estructuración digital de la información de los proyectos.

Un descubrimiento que contradice en parte lo anticipado es el elevado uso de tecnologías en la nube, donde el 81 % emplea almacenamiento en la nube (P18), en comparación con la escasa adopción de IA, donde un 44 % presenta un nivel nulo en P6. Esto sugiere que la infraestructura tecnológica básica está disponible, pero que la traba no radica en la conectividad, sino en el conocimiento, la estrategia y el liderazgo. Ospina (2022) registró una situación similar en su estudio en Colombia: la infraestructura está presente, pero no se utiliza para la modelación predictiva. Este hallazgo apoya la hipótesis HE3, ya que indica que el modelo de IA propuesto podría funcionar sobre infraestructura ya existente sin necesidad de realizar inversiones significativas en hardware.

Por último, la escasa ambición estratégica en relación con la Industria 4. 0, donde el 48 % no ha tomado en cuenta este aspecto (P16), contrasta con el análisis de la OCDE (2019), que indica que Colombia requiere con urgencia modernizar su gobernanza pública con herramientas de análisis avanzado. La tensión entre la urgencia percibida por organismos internacionales y la baja prioridad que asigna el sector privado colombiano es una problemática que sólo puede ser abordada a través de intervenciones de políticas públicas que ofrezcan incentivos económicos y normativos para su adopción, de acuerdo con lo indicado por el DNP (2021) al señalar las limitaciones de la MGA y subrayar la necesidad de complementarla con herramientas automatizadas para la detección de riesgos.

6. Conclusiones

6.1. Cumplimiento de Objetivos

Conclusión 1 referente al Objetivo específico 1, *Caracterización de causas*: La revisión de documentos y los resultados de la encuesta evidencian que las causas más comunes de sobrecostos en proyectos públicos de infraestructura en Colombia son reconocibles y muestran patrones similares. La subestimación de riesgos, un diseño inadecuado y la limitada capacidad institucional, según lo indicado por el BID (2020) y el DNP (2021), se reflejan en el sector como una falta de digitalización (solo el 29 % tiene procesos plenamente digitalizados) y la carencia de sistemas de medición (45 % sin indicadores de tiempo de entrega). Estos patrones son lo suficientemente consistentes como para ser modelados con algoritmos de aprendizaje automático, lo que respalda la hipótesis específica HE1.

Conclusión 2 asociada al Objetivo específico 2, *Experiencias internacionales*: Las experiencias de Perú (Espinoza et al., 2022) y Colombia (Ospina, 2022) muestran que es factible y efectiva la aplicación de modelos de inteligencia artificial para la predicción de riesgos en escenarios latinoamericanos, logrando reducciones del 20 % en fallos de estimación y niveles de precisión superiores al 80 % cada uno. Para que esta metodología sea transferible al sector colombiano, es esencial estructurar previamente la digitalización de los datos de los proyectos, un paso que se contempla explícitamente en la Fase 2 de esta investigación.

Conclusión 3 vinculada al Objetivo específico 3, *Modelo conceptual*: El modelo conceptual de inteligencia artificial desarrollado en este estudio, que incluye cuatro elementos (ingesta de datos, motor predictivo, panel de alertas y aprendizaje continuo), es viable desde el punto de vista técnico para el contexto colombiano. La disponibilidad de infraestructura en la

nube en el 69 81 % del sector (P18) y el acceso a datos institucionales en SECOP, CHIP y SIVICOF eliminan las principales barreras de infraestructura existentes. Este modelo busca alcanzar una precisión del 80 % o más, cumpliendo con el estándar de Ospina (2022), lo que valida la hipótesis HE3.

Conclusión 4 relacionada con el Objetivo específico 4, *Recomendaciones*: Las recomendaciones planteadas se enfocan en las cuatro brechas estructurales detectadas: conciencia (educación digital), datos (digitalización de procesos), tecnología (implementación del modelo a modo de piloto) y política (escala normativa). Si se llevan a cabo en el plazo sugerido de 24 36 meses, hay suficientes evidencias que sugieren una disminución de entre el 20 % y el 30 % en los sobrecostos de proyectos públicos, de acuerdo a lo que muestran los antecedentes regionales y con la hipótesis HE4.

6.2. Conclusión Acerca de los Resultados

Los resultados de la encuesta (n=62) muestran que el sector de la construcción en Colombia tiene un nivel promedio de madurez tecnológica entre 1,56 y 4,0. Solo el 13 % ha adoptado ampliamente sistemas inteligentes, el 48 % no ha considerado la Industria 4. 0 como una oportunidad y el 44 % no utiliza ninguna tecnología emergente en sus operaciones. No obstante, el 81 % utiliza almacenamiento en la nube y el 74 % reconoce la relevancia de la innovación tecnológica, lo que establece un contexto con condiciones base favorables, pero carece de una implementación estratégica efectiva.

6.3. Conclusión Sobre la Propuesta

La propuesta presentada en este estudio responde de manera eficaz a las necesidades detectadas a través de datos empíricos. Su estructura por fases facilita una ejecución progresiva

adaptada a las capacidades reales del sector, y su fundamentación en ejemplos exitosos de otras regiones (Perú, Colombia) asegura que los objetivos establecidos son viables. El estudio concluye que la inteligencia artificial no es un lujo tecnológico para el sector de la construcción en Colombia, sino una necesidad estratégica para disminuir la pérdida de recursos públicos que representan los sobrecostos sistemáticos, que según el BID (2020) superan el 30 % de los presupuestos de proyectos en la región.

6.4. Conclusión Sobre la Hipótesis

Comparación con la Hipótesis General (H1):

Con base en el análisis estadístico descriptivo e inferencial realizado sobre los datos de las 62 empresas encuestadas, los resultados proporcionan evidencia que apoya la hipótesis general (H1). El coeficiente de correlación de Pearson calculado en Excel ($r = 0,65$, $p < 0,01$) muestra una asociación positiva estadísticamente significativa: las organizaciones con mayor nivel de adopción de herramientas digitales tienden a reportar menores desviaciones presupuestales. Si bien este valor no supera el umbral de 0,7 establecido inicialmente, la dirección y coherencia de la relación son consistentes con los antecedentes revisados. Ospina (2022) logró precisiones superiores al 80 % con modelos de aprendizaje automático entrenados con datos colombianos, resultado que sirve como referencia para la implementación futura del modelo predictivo propuesto. Wauters y Vanhoucke (2020) también documentaron ventajas predictivas de los algoritmos de aprendizaje automático, lo que respalda la pertinencia de la propuesta estratégica de este estudio.

En relación a las hipótesis secundarias:

HE1 está apoyada en el análisis de fuentes secundarias junto con la información primaria de la encuesta, indica que los factores que originan sobrecostos son frecuentes, medibles y lo suficientemente sistematizados como para ser capturados por modelos de predicción automatizados.

HE2 se valida con una condición y es que su aplicación en Colombia requiere primero mejorar la calidad y digitalización de los datos disponibles, dado que solo el 29 % de las empresas encuestadas cuenta con registros completamente digitales.

HE3 se presenta como técnicamente viable donde la estructura conceptual propuesta puede ser implementada en plataformas en la nube que son utilizadas por entre el 69 % y el 81 % del sector, buscando alcanzar una exactitud predictiva de 80 % o más, umbral establecido a partir de los hallazgos de Ospina (2022).

HE4 se apoya con una proyección en las estrategias desarrolladas que cuentan con evidencia empírica en la región que estima una reducción de entre el 20 % y el 30 % en los sobrecostos, siempre que se implementen dentro del período sugerido de 24 a 36 meses, en sintonía con Espinoza et al. (2022) y las estadísticas del BID (2020).

6.5. Conclusión Final

La investigación ha demostrado que la adopción estratégica de inteligencia artificial en la planificación de obras públicas en Colombia no es una alternativa adicional, sino una solución necesaria ante un problema estructural que ha persistido durante décadas. Los datos obtenidos indican que el promedio de madurez digital del sector apenas alcanza 1,56 en una escala de cuatro, y que esta brecha tecnológica está relacionada directamente con la permanencia de los

desajustes presupuestarios que afectan, según el BID (2020), a más de un tercio de los proyectos en la región latinoamericana.

El plan de acción sugerido, que se organiza en cuatro fases desde la capacitación básica en habilidades digitales hasta la formalización normativa del modelo predictivo, establece una guía que se ajusta a las circunstancias actuales del sector. Su factibilidad se basa en que la mayoría de las organizaciones ya cuenta con infraestructura en la nube, por lo que el obstáculo de acceso es más bien cultural, estratégico e institucional que material. Los verdaderos desafíos a abordar con alta prioridad son la resistencia al cambio, la falta de liderazgo digital y la escasez de incentivos normativos.

Desde una perspectiva académica, este estudio establece fundamentos conceptuales y metodológicos que pueden guiar investigaciones futuras enfocadas en validar el modelo sugerido con datos reales del SECOP y la Metodología General Ajustada, así como evaluar el rendimiento de implementaciones piloto en áreas con alta presencia de irregularidades presupuestarias y desarrollar marcos regulatorios que formalicen la utilización de herramientas de análisis predictivo en las etapas de formulación de proyectos de inversión pública. Finalmente, el objetivo que va más allá de lo técnico es aportar a la creación de un aparato estatal que planifique de manera más rigurosa, ejecute con mayor transparencia y responda de forma más efectiva a las necesidades de los ciudadanos colombianos.

7. Referencias

Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *Infraestructura en el tiempo: Sobrecostos y demoras en América Latina*. https://publications.iadb.org/es/infraestructura en el tiempo

Boulton, J. G., Allen, P. M., & Bowman, C. (2015). *Embracing complexity: Strategic perspectives for an age of turbulence.* Oxford University Press.

Celik, B., Abraham, Y., & Attaran, M. (2024). Unlocking blockchain in construction: A systematic review of applications and barriers. *Buildings, 14*(6), Article 1600.

Congreso de Colombia. (1993). *Ley 80 de 1993: Estatuto General de Contratación de la Administración Pública.* Diario Oficial No. 41.094.

Congreso de Colombia. (2011). *Ley 1474 de 2011: Estatuto Anticorrupción.* Diario Oficial No. 48.128.

Congreso de Colombia. (2014). *Ley 1712 de 2014: Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional.* Diario Oficial No. 49.084.

Constitución Política de Colombia. (1991). *Artículo 209. Función administrativa.* Gaceta Constitucional No. 116.

Departamento Nacional de Planeación. (2021). *Evaluación de la eficiencia en la inversión pública*. Departamento Nacional de Planeación.

DNP – Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). *Metodología General Ajustada (MGA): Manual del usuario.* DNP. https://www.dnp.gov.co/programas/inversiones y finanzas publicas/Paginas/MGA.aspx

Espinoza, M., & (colaboradores). (2022). Predicción de sobrecostos en proyectos públicos mediante IA: Estudio de caso en Perú. *Revista de Ingeniería Civil Latinoamericana*.

Flyvbjerg, B. (2014). What you should know about megaprojects and why: An overview. *Project Management Journal, 45*(2), 6 19.

Flyvbjerg, B., Holm, M. S., & Buhl, S. (2002). Underestimating costs in public works projects: Error or lie? *Journal of the American Planning Association, 68*(3), 279–295. https://doi.org/10.1080/01944360208976273

Grupo Bancolombia. (2023). *Oportunidades y desafíos de la infraestructura en Colombia*. https://www.bancolombia.com/empresas/capital inteligente/actualidad economica sectorial/oportunidades desafios infraestructura colombia

Janssen, M., & Charalabidis, Y. (2012). Benefits, adoption barriers, and myths of open data and open government. *Information Systems Management, 29*(3), 258 268. https://doi.org/10.1080/10580530.2012.716740

Karban, A. (2025). Smart evaluation of urban open spaces for quality of life enhancement: An AI driven conceptual framework based on evidence from Makkah, Saudi Arabia. *Journal of Umm Al Qura University for Engineering and Architecture, 16*, 841 853. https://doi.org/10.1007/s43995 025 00185 2

Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2024, 7 de junio). *Marco Fiscal de Mediano Plazo 2024*. https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2024 06/MFMP%202024%20radicar%202.pdf

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2022). *Política de Inteligencia Artificial para Colombia: Lineamientos estratégicos.* MinTIC. https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala de Prensa/MinTIC en los medios/IA para Colombia

Misuraca, G., & Van Noordt, C. (2020). *AI Watch. Artificial Intelligence in public services.* Office of the European Union. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC120399

Moreno, D. R. (2023). Inteligencia artificial aplicada a la gestión de riesgos en infraestructura pública. *Gestión y Territorio*.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2019). *Public investment and financing for sustainable infrastructure: The case of Colombia*. OECD Publishing.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2019). *Going digital: Shaping policies, improving lives.* OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264312012 en

Ospina, J. D. T. (2022). Aplicación de algoritmos de aprendizaje automático para la predicción de riesgos en proyectos de construcción en Colombia. *Revista Ingeniería y Competitividad*, 1 15.

Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). Project Management Institute.

Shmueli, G., Bruce, P. C., Yahav, I., Patel, N. R., & Lichtendahl, K. C., Jr. (2020). *Data mining for business analytics: Concepts, techniques, and applications in Python* (3rd ed.). Wiley.

Wauters, M., & Vanhoucke, M. (2020). Predicting project performance using machine learning: A comparative analysis. *International Journal of Project Management, 38*(4), 205 217.

Zabala-Vargas, S., & Jaimes-Quintanilla, M. (2026). A Holistic Model for Managing Construction Projects through Artificial Intelligence, Data Science, and IoT. In 2026 International Conference on Artificial Intelligence, Computer, Data Sciences and Applications (ACDSA) (pp. 1-6). IEEE.

8. Anexos

Anexo A

1. ¿Está de acuerdo con la declaración inicial y desea continuar con la encuesta?

- SI
- NO

2. Nombre o razón social de la organización.

3. NIT o identificación equivalente.

4. Clasificación según su actividad económica:

- Agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca.
- Industria manufacturera.
- Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado.
- Suministro de agua, gestión de aguas residuales y gestión de desechos y actividades de saneamiento.
- Construcción.
- Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas.
- Transporte y almacenamiento.
- Alojamiento y servicio de comidas.
- Tecnologías de la información y comunicación - TIC.
- Actividades financieras y de seguros.
- Actividades inmobiliarias.
- Actividades profesionales, científicas y técnicas.
- Actividades de servicios administrativos y de apoyo.
- Educación.
- Salud humana y servicios sociales.

- Actividades artísticas, de entretenimiento y recreativas.

5. Número de empleados

- Menos de 10
- Entre 11 y 50
- Entre 51 y 200
- Más de 200

6. Nivel de ingresos anuales:

- Menos de 1.000 SMMLV
- Entre 1.001 y 2000 SMMLV
- Entre 2.001 y 10.000 SMMLV
- Más de 10.001 SMMLV

7. Nombre de quien presenta la encuesta

8. Posición dentro de la organización de quien presenta la encuesta

9. Correo electrónico de contacto.

10. Teléfono móvil (opcional)

11. De acuerdo a la afirmación seleccione cuál nivel representa mejor la organización.

	Nulo	Existe la iniciativa	En desarrollo	En implementación	En acción
Cuenta con estrategia de transformación digital formulada desde la alta dirección.	○	○	○	○	○
Cuenta con indicadores para medir nivel del transformación digital.	○	○	○	○	○
Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.	○	○	○	○	○
Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).	○	○	○	○	○
Reconoce importancia que tiene el uso y análisis de información.	○	○	○	○	○
Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.	○	○	○	○	○
Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.	○	○	○	○	○
Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).	○	○	○	○	○

12. En que área de su empresa ha invertido en los dos ultimos años?

	Nula inversión	Pequeña inversión	Mediana inversión	Gran inversión
Investigación y desarrollo.	○	○	○	○
Producción de productos o servicios.	○	○	○	○
Procesos administrativos internos (Contabilidad, talento humano).	○	○	○	○
Logística de recepción y distribución.	○	○	○	○
Comercial y ventas.	○	○	○	○
Sistemas de información (herramientas software).	○	○	○	○

13. En que área de su empresa proyecta invertir en los proximos 5 años?

	Nula inversión	Pequeña inversión	Mediana inversión	Gran inversión
Investigación y desarrollo.	○	○	○	○
Producción de productos o servicios.	○	○	○	○
Procesos administrativos internos (Contabilidad, talento humano).	○	○	○	○
Logística de recepción y distribución.	○	○	○	○
Comercial y ventas.	○	○	○	○
Sistemas de información (herramientas software).	○	○	○	○

14. De acuerdo a las siguientes afirmaciones seleccione cuál nivel representa mejor su organización.

	No se realiza	En algunos casos	En la mayoria de los casos	Se realiza permanentemente
Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de proveedores.	○	○	○	○
Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de clientes.	○	○	○	○
Analiza información de sus clientes para generar o mejorar productos o servicios.	○	○	○	○
Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus clientes.	○	○	○	○
Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus proveedores.	○	○	○	○
Cuenta con la planificación y dirección de la cadena de suministros desde los clientes hasta los proveedores.	○	○	○	○

15. Indique el grado que mejor representa a su organización en los siguientes procesos:

	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Digitalización de trabajo con clientes.	○	○	○	○	○
Digitalización de trabajo con proveedores.	○	○	○	○	○
Intercambio de información digitalmente con socios, proveedores y clientes.	○	○	○	○	○
Uso de múltiples canales de venta integrados para comercializar sus productos a sus clientes.	○	○	○	○	○
Sistema de precios dinámico y adaptado al cliente.	○	○	○	○	○
Analiza los datos de los clientes para aumentar su conocimiento (situación personal, preferencias, ubicación, puntuación crediticia).	○	○	○	○	○
Diseña soluciones considerando los datos de los clientes.	○	○	○	○	○

16. ¿Cual de las siguientes tecnologías utiliza en su organización?

- Sensores

- Dispositivos móviles
- Identificador de radiofrecuencia – RFID
- Ciencia de datos para evaluación de información en tiempo real.
- Sistemas de localización en tiempo real
- Big Data para almacenamiento de grandes volumenes de datos
- Las tecnologías de la nube como infraestructura de TI escalable
- Inteligencia artificial para la toma de decisiones.
- Sistemas de tecnologías de la información integrados

17. De acuerdo a las máquinas y equipos de su organización. ¿Cuál es el grado de implementación de las siguientes funcionalidades?

	Nulo	Parcialmente	Implementado
Las máquinas y sistemas se pueden controlar a través de tecnologías.	○	○	○
Comunicación entre maquinas / sistemas - M2M	○	○	○
Capacidad de integrarse y colaborar con otras maquinas / sistemas - INTEROPERABILIDAD	○	○	○

18. Su empresa realiza:

- Producción de bienes o productos
- Prestación de servicios

19. Identifique el nivel de cumplimiento de las siguientes afirmaciones en su proceso de creación y entrega de los servicios que ofrece la organización a sus clientes.

	NULO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
Nivel de integración de tecnologías digitales en la prestación de nuestros servicios	○	○	○	○	○
Uso de herramientas digitales para mejorar la eficiencia en la prestación de servicios	○	○	○	○	○
Registran datos o información del proceso de prestación de servicios	○	○	○	○	○
Aprovecha los datos y análisis digitales para tomar decisiones en la prestación de servicios	○	○	○	○	○
Nivel de adopción de tecnologías de automatización en la entrega de servicios	○	○	○	○	○
Digitalización de la gestión de datos y registros en nuestra empresa de servicios	○	○	○	○	○

20. La siguiente área, para comunicarse con <u>otras áreas de la organización</u>, utiliza sistemas de información:

	Si	Parcialmente	No	El área no existe
Investigación y desarrollo.	○	○	○	○
Producción de productos o servicios.	○	○	○	○
Procesos administrativos internos (contabilidad, talento humano, etc).	○	○	○	○
Logistica, recepción y distribución.	○	○	○	○
Comercial y ventas.	○	○	○	○

21. La siguiente área, para comunicarse con <u>clientes y proveedores</u>, utiliza sistemas de información:

	Si	Parcialmente	No	El área no existe
Investigación y desarrollo.	○	○	○	○
Producción de productos o servicios.	○	○	○	○
Procesos administrativos internos (contabilidad, talento humano, etc).	○	○	○	○
Logística, recepción y distribución.	○	○	○	○
Comercial y ventas.	○	○	○	○

22. ¿La organización, ya está utilizando servicios en la nube?

	SI	No, pero lo planeamos	NO
Software desde la nube	○	○	○
Para almacenamiento de datos	○	○	○
Para evaluación de datos	○	○	○

23. ¿Cómo está organizada su gestión en tecnologías de la información - TI?

- Sin departamento de TI propio (implicación de un proveedor de servicios).
- Departamento central de TI.
- Departamento de TI descentralizado en las áreas especializadas (producción, desarrollo de productos, etc.).

- Expertos en TI integrados en los departamentos especializados.

24. Clasifique las siguientes afirmaciones de acuerdo a el nivel de cumplimiento de estos criterios en su organización

	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Equipos de ultima tecnología	○	○	○	○	○
Equipos o maquinas conectadas a servidores	○	○	○	○	○

25. Califique las siguientes preguntas según la escala establecida:

	Totalmente en desacuerdo	Parcialmente en desacuerdo	Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	Parcialmente de acuerdo	Totalmente de acuerdo
La información de su organización se encuentra segura en el contexto de la transformación digital.	○	○	○	○	○
Realiza evaluaciones y auditorías de seguridad de la información en su organización como parte de la estrategia de transformación digital.	○	○	○	○	○
Promueve la conciencia y la capacitación en seguridad de la información entre los empleados de acuerdo a la transformación digital.	○	○	○	○	○
Las medidas de respuesta ante incidentes de seguridad de la información en su organización son efectivas	○	○	○	○	○

26. ¿Cómo realiza la organización el registro de la información generada por los procesos (producción, comercial, calidad, mantenimiento, administración, etc.)?

- No registra información de los procesos.
- Todos los procesos se registran en papel.
- Algunos procesos se registran en papel y otros están digitalizados.
- Todos los procesos están completamente digitalizados.

27. ¿Dispone de alguna persona en la organización responsable de la transformación digital?

No dispone de roles especializados.

- Se dispone de un rol especializado.
- Se dispone de varios roles especializados.
- Se dispone de una gran especialización de roles digitales claves para la Industria 4.0.

28. ¿Cómo evalúa las capacidades de sus empleados en relación con los requisitos futuros de la Industria 4.0?

	Irrelevante / no aplica	No capacitado	Capacitado, pero no lo suficiente	Capacitado suficiente y constantemente
Infraestructura.	○	○	○	○
Tecnología de automatización.	○	○	○	○
Análisis de datos.	○	○	○	○
Seguridad de los datos.	○	○	○	○
Seguridad de las comunicaciones.	○	○	○	○
Software de colaboración.	○	○	○	○
Desarrollo o aplicación de sistemas de asistencia.	○	○	○	○
Habilidades no técnicas, como el pensamiento sistémico y la comprensión de procesos.	○	○	○	○

29. ¿En qué medida ha abordado las ineficiencias de los procesos mediante la adopción de sistemas inteligentes (máquinas inteligentes, tecnología digital integrada)?

- No hay una adopción significativa de sistemas inteligentes (aún utilizando sistemas manuales o semiautomáticos)
- Sistemas inteligentes introducidos parcialmente en áreas cruciales para superar las ineficiencias locales.
- Se adaptaron importantes sistemas inteligentes en toda la empresa que ayudaron a optimizar los procesos.

30. ¿Cuál es la ambición estratégica de la organización con respecto al paso a la Industria 4.0?

- No se ha considerado todavía. No se contemplan beneficios/oportunidades.
- Se ha considerado pasar a la Industria 4.0 pero se desconoce como hacerlo.
- Se conocen los beneficios de la industria 4.0 y se tiene intención de implementarla.
- Se ha iniciado el proceso de implementación de la industria 4.0.

31. ¿Qué nivel de importancia tienen en la organización, como elemento diferenciador en el sector, las soluciones y tecnologías relacionadas con los siguientes habilitadores de Industria 4.0?

Inteligencia artificial: es un campo de la informática que se centra en desarrollar sistemas y

programas que pueden realizar tareas que normalmente requerirían inteligencia humana, como el aprendizaje, la toma de decisiones y el reconocimiento de patrones, mediante algoritmos y procesamiento de datos.

Fabricación aditiva: (p.ej. impresión 3D), para el desarrollo de prototipos, nuevos productos o su personalización, fabricación de herramientas, utillajes, etc.

Internet de las Cosas (IoT): es un concepto que hace referencia a las conexiones entre los objetos físicos (sensores, máquinas, etc.), para generar y enviar datos automáticamente, aportando automatización y eficiencia a los procesos.

Big Data y análisis de datos: Para el tratamiento de un gran volumen de datos, estructurados y no estructurados, de fuentes internas y/o externas, extrayendo información de valor para la organización (indicadores en tiempo real, análisis predictivos, etc.).

Realidad virtual y aumentada: Para facilitar aspectos tales como el prototipado, mantenimiento, servicio postventa, etc.

Plataformas y comunicaciones: Tanto soluciones específicas (ERP, CRM, MES, GMAO, etc.), como soluciones conectadas con la cadena de valor (proveedores, clientes, logística y otros agentes clave), soluciones de movilidad (tablets, pdas, etc.), etc.

Tecnologías en la nube (Cloud): que reduzcan la necesidad de infraestructuras físicas,

promuevan la escalabilidad de los sistemas de información, la movilidad, la disponibilidad de espacios de almacenamiento elevados, la colaboración entre personas, etc.

Ciberseguridad: para auditar, monitorizar y asegurar los servicios TIC, tanto a nivel de red informática, como de dispositivos, aplicaciones, operaciones e información.

Marketing digital: con soluciones que permitan impulsar la notoriedad e interacción con los clientes actuales y potenciales, a través del posicionamiento web, gestión de redes sociales, SEO, SEM, etc.

Formación y personas: soluciones que aporten flexibilidad y fomenten la colaboración entre empleados (ofimática en la nube, plataformas colaborativas de gestión de proyectos, etc.), mejoren la gestión del talento (plataformas de e-learning, realidad virtual y aumentada como herramientas formativas, acceso digital a la información del empleado, etc.) y, que permitan el desarrollo de nuevas formas de trabajo en la organización (acceso remoto, herramientas de comunicación, etc.).

Robótica y Automatización: Para la simplificación y automatización de procesos productivos y administrativos.

	Sin importancia	Importancia baja	Importancia media	Importancia alta	Importancia muy alta
Inteligencia artificial.	○	○	○	○	○
Fabricación aditiva.	○	○	○	○	○
Internet de las cosas.	○	○	○	○	○
Big data y análisis de datos.	○	○	○	○	○
Realidad virtual y aumentada.	○	○	○	○	○
Plataformas y comunicaciones.	○	○	○	○	○
Tecnologías en la nube (Cloud).	○	○	○	○	○
Ciberseguridad.	○	○	○	○	○
Marketing digital.	○	○	○	○	○
Formación y personas.	○	○	○	○	○
Robótica y automatización.	○	○	○	○	○

Anexo B

Guía de Entrevista Semiestructurada a Expertos

Proyecto: Inteligencia Artificial, Big Data y Ciencia de Datos para la optimización de la gestión de proyectos en Colombia

Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO

Propósito de esta herramienta: Recopilar el parecer fundamentado de expertos en el campo de la edificación y la gestión estatal sobre los elementos que provocan fallas de rendimiento en obras de infraestructura, el grado en que se incluyen recursos de inteligencia artificial y las condiciones indispensables para poner esto en práctica con buen resultado dentro del contexto colombiano.

Características del que será entrevistado: Un profesional que cuente con trayectoria en liderar iniciativas de infraestructura gubernamental y/o en el uso de plataformas digitales en el sector de la construcción en Colombia, seleccionado mediante un tipo de muestreo deliberado.

Duración estimada: 45 a 60 minutos.

Modalidad: Virtual (Zoom / Microsoft Teams) o presencial, según disponibilidad del experto. Con grabación previa autorización.

Bloque 1: Diagnóstico del sector — Causas de ineficiencia y sobrecostos

P1. En su experiencia profesional, ¿cuáles considera que son las principales causas de sobrecostos y retrasos en los proyectos de infraestructura pública en Colombia?

P2. ¿Ha presenciado o gestionado proyectos con desviaciones presupuestales significativas? ¿Qué factores identificó como determinantes en esos casos?

P3. ¿En qué medida considera que los problemas de planeación, diseño o evaluación de riesgos contribuyen a los sobrecostos en los proyectos que conoce?

P4. ¿Qué tipo de información o datos considera que están disponibles en las entidades públicas y que podrían ser aprovechados para anticipar desviaciones presupuestales?

Bloque 2: Adopción de tecnología y conocimiento sobre IA

P5. ¿Tiene conocimiento o experiencia con herramientas de inteligencia artificial, Big Data o modelos predictivos aplicados a la gestión de proyectos? ¿Cuáles?

P6. ¿Cómo evaluaría el nivel actual de apropiación de tecnologías digitales en las empresas constructoras colombianas con las que ha interactuado? ¿Qué brechas identifica?

P7. ¿Cuáles considera que son las principales barreras institucionales, culturales o técnicas para que las entidades públicas adopten herramientas de IA en la gestión de proyectos?

P8. ¿Ha visto casos exitosos de aplicación de tecnologías digitales o IA en proyectos públicos, ya sea en Colombia o en otros países? ¿Qué factores explican ese éxito?

Bloque 3: Prospectiva — Condiciones habilitadoras y recomendaciones

P9. ¿Qué condiciones considera indispensables para que una entidad pública colombiana pueda implementar exitosamente un sistema de IA para la predicción de sobrecostos?

P10. ¿Cómo describiría un proceso de implementación gradual de herramientas de IA en la gestión de proyectos de infraestructura, considerando el contexto institucional colombiano?

P11. ¿Qué papel deberían jugar el Gobierno Nacional, el SECOP, el DNP y las entidades de control en la promoción y regulación del uso de IA en contratos de infraestructura?

P12. En su opinión, ¿cuál es el mayor reto que deberá superar el sector constructor colombiano para incorporar la inteligencia artificial como herramienta de gestión en los próximos cinco años?