

Optimización de recursos en proyectos eléctricos de alta tensión con IA



Aplicación de la Inteligencia Artificial para optimizar la gestión de los recursos en proyectos de líneas de transmisión eléctrica en Colombia

Franklin Ermis Muñoz Torres

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

24 de agosto de 2025

Optimización de recursos en proyectos eléctricos de alta tensión con IA

Aplicación de la Inteligencia Artificial para optimizar la gestión de los recursos en proyectos de líneas de transmisión eléctrica en Colombia

Franklin Ermis Muñoz Torres

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
24 de agosto de 2025

Contenido

Lista de tablas	5
Lista de figuras.....	6
Lista de anexos	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1 Descripción del problema.....	12
1.2 La pregunta de investigación.....	13
1.3 Los objetivos de investigación.....	14
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	14
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	14
1.4 Justificación de la investigación.....	14
2. MARCO DE REFERENCIA	16
2.1 Marco teórico	16
2.1.1 <i>Inteligencia artificial</i>	16
2.1.2 <i>Gestión de los recursos en proyectos</i>	17
2.1.3 <i>Industria 4.0 y modelos de madurez tecnológica</i>	17
2.1.4 <i>Transformación digital en proyectos de infraestructura</i>	18
2.1.5 <i>Sostenibilidad y eficiencia en la gestión de proyectos eléctricos</i>	18
2.2 Estado del arte.....	19
2.3 Marco normativo	21
3. METODOLOGÍA.....	23
3.1 Enfoque y alcance de la investigación.....	23
3.2 Población y muestra	24
3.2.1 <i>Definición de la población</i>	24
3.2.2 <i>Cálculo y selección de la muestra</i>	24
3.3 Instrumento(s).....	24

Optimización de recursos en proyectos eléctricos de alta tensión con IA

3.4	Descripción de procedimientos	25
3.4.1	<i>Fase I: Estado del arte</i>	25
3.4.2	<i>Fase II: Encuesta de madurez tecnológica</i>	26
3.4.3	<i>Fase III: Integración de resultados y formulación de estrategias</i>	27
3.6	Consideraciones éticas	29
3.6.1	<i>Análisis de consideraciones éticas</i>	29
3.6.2	<i>Instrumentos de aceptación y autorización</i>	30
4.	HIPÓTESIS	31
4.1	Las variables	32
4.1.1.	<i>Variable(s) independiente(s)</i>	32
4.1.2.	<i>Variable(s) dependiente(s)</i>	33
5.	RESULTADOS	33
5.1	Presentación de resultados	33
5.2	Propuesta al sector	42
5.2.1	<i>Propuesta 1 – Mantenimiento predictivo y salud de activos basada en IA</i>	43
5.2.2	<i>Propuesta 2 – Optimización de la planificación y asignación de recursos de proyectos mediante IA</i>	43
5.2.3	<i>Propuesta 3 – Sistema de apoyo a decisiones y gestión del conocimiento</i>	44
5.2.4	<i>Propuesta 4 – Gemelos digitales y simulación de proyectos de transmisión</i>	45
5.3	Discusión	47
6.	CONCLUSIONES	48
7.	Referencias	51
	Anexos	55
	Anexo 1 – Encuesta de madurez	55
	Anexo 2 – Matriz Documental	56

Lista de tablas

Tabla 1. *Presentación de resultados*.....33
Tabla 2. *Madurez tecnológica desde la perspectiva estratégica P11*34

Lista de figuras

Figura 1. <i>Importancia percibida de habilitadores de industrias 4.0 – P32</i>	37
Figura 2. <i>Distribución de niveles de inversión por área P12</i>	38
Figura 3. <i>Distribución de niveles de inversión por área P13</i>	39
Figura 4. <i>Distribución porcentual del nivel de madurez y pregunta P19</i>	40
Figura 5. <i>Distribución porcentual por nivel P20</i>	41

Lista de anexos

Anexo 1 Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos

Anexo 2 Matriz documental

Resumen

La investigación aplicó un enfoque mixto: revisión documental (2018-2024) y una encuesta de madurez tecnológica tipo Likert aplicada a empresas del sector de transmisión eléctrica en Colombia. Los resultados evidencian un nivel medio-alto de madurez digital, destacando el registro de datos (3,54), el uso de herramientas digitales (3,53) y el aprovechamiento de datos en decisiones (3,51), aunque con rezagos en integración tecnológica (2,95) y formación especializada.

Con base en este diagnóstico se formularon cuatro propuestas estratégicas: mantenimiento predictivo con IA, optimización de la planificación y asignación de recursos, sistema de apoyo a decisiones con PLN y gemelos digitales para simulación. En conjunto, confirman que la IA es un medio eficaz para mejorar la eficiencia, reducir sobrecostos y fortalecer la sostenibilidad en proyectos de transmisión de alta tensión en Colombia.

Palabras clave: gestión de recursos, inteligencia artificial, transmisión eléctrica, madurez tecnológica, optimización.

Abstract

The research applied a mixed approach: a document review (2018-2024) and a Likert-type technological maturity survey applied to companies in the electricity transmission sector in Colombia. The results show a medium-high level of digital maturity, highlighting data recording (3.54), the use of digital tools (3.53), and the use of data in decision-making (3.51), although there are gaps in technological integration (2.95) and specialized training.

Based on this diagnosis, four strategic proposals were formulated: predictive maintenance with AI, optimization of resource planning and allocation, decision support system with PLN, and digital twins for simulation. Together, they confirm that AI is an effective means of improving efficiency, reducing cost overruns, and strengthening sustainability in high-voltage transmission projects in Colombia.

Keywords: resource management, artificial intelligence, electricity transmission, technological maturity, optimization.

Introducción

En las últimas dos décadas, la transformación digital ha modificado profundamente la manera en que se conciben y ejecutan los proyectos de infraestructura en el mundo. El desarrollo de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA), el Big Data, la automatización y los sistemas de gemelo digital ha permitido mejorar la planificación, el control de costos y la gestión de recursos en sectores estratégicos como la energía y la construcción. Estudios recientes muestran que el uso de IA en la industria de la energía contribuye a mejorar la eficiencia en más de un 20 %, especialmente en actividades de mantenimiento predictivo y optimización logística (Darko A., 2020) (Li X., 2024).

En América Latina, sin embargo, la adopción de estas tecnologías ha sido más lenta y desigual. La región enfrenta dificultades asociadas a limitaciones presupuestales, baja interoperabilidad tecnológica y déficit de capital humano especializado (Mendoza JG, 2022). Particularmente en el sector de transmisión eléctrica, estas brechas se reflejan en sobrecostos, retrasos y dificultades en la asignación eficiente de recursos. En Colombia, los proyectos de expansión del Sistema Interconectado Nacional han enfrentado retrasos de hasta 12 meses y sobrecostos cercanos al 18 %, lo que afecta la confiabilidad y sostenibilidad del sistema eléctrico (Taboada I., 2023).

En este contexto, la investigación se centra en la aplicación de la inteligencia artificial como estrategia para optimizar la gestión de recursos en proyectos de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia. El problema identificado radica en que la gestión de recursos aún depende de modelos tradicionales de planificación y control, lo que conduce a decisiones tardías, desperdicio de materiales y desviaciones en cronogramas y presupuestos. De ahí surge la pregunta de investigación: ¿Qué estrategias basadas en inteligencia artificial pueden implementarse para optimizar la gestión de recursos en proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia, a partir de su nivel actual de madurez tecnológica?

La justificación de este trabajo se fundamenta en la necesidad de fortalecer la competitividad del sector eléctrico nacional y garantizar la confiabilidad del servicio en el marco de la transición energética. El uso de IA permite anticipar escenarios de riesgo, optimizar rutas logísticas, reasignar recursos de manera dinámica y mejorar la productividad del talento humano. De igual forma, su implementación puede contribuir a disminuir la huella ambiental mediante un uso más eficiente de materiales y equipos.

El objetivo general planteado fue diseñar estrategias basadas en inteligencia artificial que permitan optimizar la gestión de recursos en proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia, y de él se derivaron objetivos específicos orientados a: i) analizar el estado del arte y la normativa vigente; ii) evaluar el nivel actual de madurez tecnológica en la gestión de recursos; iii) identificar brechas y oportunidades de mejora; y iv) proponer estrategias de optimización con IA.

La revisión literaria evidenció que los mayores avances internacionales se concentran en la integración de IA con BIM y gemelos digitales, en la robotización de procesos de inspección y en el uso de analítica predictiva para la toma de decisiones. En Colombia, aunque existen experiencias aisladas, el nivel de adopción aún es limitado y requiere de estrategias estructuradas para ser efectivo.

En términos metodológicos, la investigación adoptó un enfoque mixto: se realizó una revisión documental del estado del arte y un diagnóstico empírico mediante una encuesta de madurez tecnológica aplicada a profesionales y organizaciones del sector. Los datos obtenidos fueron procesados mediante herramientas estadísticas descriptivas y correlacionales.

Los resultados evidenciaron un nivel medio-alto de madurez en el sector, con fortalezas en el registro y aprovechamiento de datos, y rezagos en automatización, integración tecnológica y capacitación del talento humano. Con base en estos hallazgos se formularon estrategias orientadas a la transformación digital del sector, que incluyen la implementación de modelos predictivos, el uso de gemelos digitales y el fortalecimiento de la formación especializada.

Las conclusiones confirman la hipótesis de que la inteligencia artificial constituye un medio eficaz para mejorar la eficiencia en la gestión de recursos, y resaltan la necesidad de impulsar proyectos piloto y programas de capacitación como pasos fundamentales para cerrar la brecha tecnológica en Colombia.

Finalmente, el documento se estructura de la siguiente manera: en el Capítulo 1 se presenta el planteamiento del problema; en el Capítulo 2 se desarrolla el marco de referencia, que incluye antecedentes, fundamentos teóricos y normativos; en el Capítulo 3 se expone la metodología; en el Capítulo 4 se presentan la hipótesis y las variables; en el Capítulo 5 se describen los resultados y la discusión; y en el Capítulo 6 se exponen las conclusiones generales del trabajo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

En las últimas dos décadas, la digitalización de la industria de la construcción y la energía ha experimentado un crecimiento acelerado, impulsado por tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial (IA), el Big Data y el Building Information Modeling (BIM). A nivel internacional, múltiples investigaciones demuestran que la IA ha optimizado procesos de planificación, control de costos, gestión de materiales y mantenimiento predictivo en proyectos de infraestructura eléctrica y civil, generando incrementos en eficiencia superiores al 20 % en algunos casos (Darko A., 2020). Sin embargo, su implementación se ha concentrado principalmente en países con alto grado de madurez digital, mientras que en regiones en desarrollo, como América Latina, su adopción ha sido más lenta y desigual (Mendoza JG, 2022).

En el contexto latinoamericano, la inversión en proyectos de transmisión eléctrica enfrenta desafíos asociados a retrasos en cronogramas, sobrecostos y baja eficiencia en la asignación de recursos, lo que impacta directamente la confiabilidad del suministro energético. Estudios recientes señalan que en países como Brasil, México y Colombia, los proyectos de líneas de transmisión han presentado sobrecostos promedio del 18 % y retrasos de hasta 12 meses debido a limitaciones en la gestión de datos y coordinación de actores (Taboada I., 2023). Estas cifras evidencian una brecha tecnológica que podría ser reducida mediante la incorporación de herramientas de IA para la predicción, simulación y optimización en tiempo real.

En Colombia, la expansión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) ha sido una prioridad estratégica para garantizar la cobertura y estabilidad energética, especialmente en zonas no interconectadas y de alta demanda industrial. Según datos de la Unidad de Planeación Minero Energética, el país prevé la construcción de más de 3.000 km de nuevas líneas de transmisión de alta tensión hacia 2030. Sin embargo, persisten retos significativos en la optimización de recursos humanos, materiales y financieros, debido a la complejidad geográfica, la diversidad climática y la dispersión de la infraestructura eléctrica. Estos factores incrementan los costos operativos y prolongan los tiempos de ejecución, lo que afecta la competitividad y sostenibilidad de los proyectos.

El problema central identificado radica en que la gestión de los recursos en proyectos de líneas de transmisión eléctrica en Colombia no se apoya suficientemente en sistemas inteligentes de análisis predictivo y optimización, lo que provoca decisiones tardías, desperdicio de materiales, sobreasignación de personal y desviaciones presupuestales. Aunque existen experiencias aisladas de implementación de IA en el sector energético nacional, estas no han sido sistemáticas ni escalables, limitando su impacto real (Sacks R., 2020).

Entre las causas principales se identifican: (1) falta de integración tecnológica entre sistemas de diseño, planificación y control de obra, (2) carencia de personal capacitado en el uso de herramientas de IA y análisis de datos, (3) limitaciones regulatorias y presupuestales que retrasan la adopción de innovaciones y (4) baja interoperabilidad entre plataformas y actores involucrados en el ciclo de vida del proyecto.

Las consecuencias de esta problemática incluyen sobrecostos recurrentes, incumplimiento de plazos contractuales, menor calidad en la ejecución y un aumento en la huella ambiental por ineficiencias logísticas. En términos sociales y económicos, estos retrasos repercuten en la confiabilidad del suministro eléctrico, encareciendo las tarifas y afectando la competitividad de sectores industriales clave. Asimismo, la falta de optimización en la gestión de recursos limita la capacidad del país para avanzar hacia una transición energética sostenible.

En este escenario, la aplicación de IA se presenta como una alternativa viable y necesaria para mejorar la planificación y ejecución de proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia, mediante la predicción de riesgos, la optimización de rutas logísticas, la asignación eficiente de recursos y el monitoreo en tiempo real del avance de obra. La investigación propuesta busca aportar soluciones concretas que permitan cerrar la brecha tecnológica y mejorar los indicadores de desempeño del sector.

1.2 La pregunta de investigación

¿Qué estrategias basadas en inteligencia artificial pueden implementarse para optimizar la gestión de recursos en proyectos de líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión en Colombia a partir de su nivel actual de madurez tecnológica?

1.3 Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar estrategias basadas en inteligencia artificial que permitan optimizar la gestión de recursos en proyectos de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia, a partir del diagnóstico del nivel actual de madurez tecnológica del sector.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar el estado del arte y la normativa vigente sobre la aplicación de inteligencia artificial en la gestión de recursos en proyectos de infraestructura eléctrica, para establecer un marco conceptual y regulatorio de referencia.

Evaluar el nivel actual de madurez tecnológica en la gestión de recursos de los proyectos de líneas de transmisión eléctrica en Colombia, utilizando los resultados de la encuesta de madurez aplicada al sector.

Identificar brechas y oportunidades de mejora en los procesos de planificación, asignación y control de recursos, comparando el diagnóstico nacional con experiencias internacionales exitosas.

Proponer un conjunto de estrategias basadas en inteligencia artificial para optimizar la gestión de recursos en los proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia, considerando viabilidad técnica, económica y organizacional.

1.4 Justificación de la investigación

En la actualidad, los proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión representan un pilar estratégico para garantizar la seguridad energética, la competitividad industrial y la cobertura de servicio en Colombia. La creciente demanda de energía, sumada a los desafíos de la transición hacia fuentes más limpias, exige que estos proyectos se ejecuten con altos estándares de eficiencia, sostenibilidad y control de recursos.

Sin embargo, la gestión de recursos en este tipo de iniciativas continúa enfrentando problemáticas recurrentes como sobrecostos, retrasos y baja integración tecnológica, las

cuales impactan de manera directa la calidad y oportunidad del servicio eléctrico. Ante este panorama, la inteligencia artificial (IA) se presenta como una herramienta clave para transformar la forma en que se planifican, asignan y controlan los recursos en este sector.

A nivel internacional, diversas investigaciones han evidenciado que la IA ha permitido optimizar la planificación de proyectos, mejorar la asignación de recursos y reducir la incertidumbre en entornos complejos. Por ejemplo, (Darko A., 2020) destacan que la IA aplicada a la industria de la construcción y energía ha facilitado el análisis predictivo y la detección temprana de problemas, contribuyendo a ahorros significativos en tiempo y costos.

De igual manera, (Sacks R., 2020) enfatizan el potencial de los sistemas de gemelo digital combinados con IA para monitorear y ajustar el uso de recursos en tiempo real, lo que aumenta la resiliencia y capacidad de respuesta de los proyectos ante imprevistos.

En el contexto colombiano, el desarrollo de proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión enfrenta condiciones geográficas complejas, normativas exigentes y necesidades de conexión en zonas apartadas. Estas particularidades demandan soluciones innovadoras para la gestión de recursos, que permitan maximizar la eficiencia operativa sin comprometer la calidad del servicio.

La encuesta de madurez tecnológica disponible para este estudio constituye un insumo valioso, ya que ofrece un diagnóstico real y actualizado sobre el nivel de adopción de tecnologías avanzadas en el sector, facilitando la identificación de brechas y oportunidades concretas de mejora.

El por qué de esta investigación radica en que el uso de IA no solo puede mejorar la gestión de recursos, sino que también puede aumentar la sostenibilidad económica y ambiental de los proyectos. Una gestión más precisa de materiales y personal reduce desperdicios, minimiza la huella de carbono asociada al transporte y disminuye el riesgo de sobreasignación de equipos.

Además, la capacidad de anticipar escenarios de riesgo permite tomar decisiones preventivas, evitando retrasos y sobrecostos. Tal como señalan (Mendoza JG, 2022). la incorporación de IA en la construcción latinoamericana puede ser un catalizador para cerrar la brecha tecnológica frente a países líderes en innovación.

El para qué de este proyecto se fundamenta en múltiples beneficios: Para la comunidad científica, esta investigación aporta evidencia empírica y un modelo de estrategias aplicables al contexto colombiano, enriqueciendo la literatura sobre IA en infraestructura energética en economías emergentes. Para la industria y las empresas del sector eléctrico, ofrece un conjunto de estrategias prácticas y adaptadas al nivel actual de madurez tecnológica, con potencial de mejorar los indicadores clave de desempeño (KPIs) en tiempo, costo y calidad. Para la comunidad en general, la optimización de recursos en proyectos de transmisión significa un servicio eléctrico más confiable, con menor riesgo de interrupciones y tarifas más estables a mediano plazo.

Para los estudiantes e investigadores, representa una oportunidad de aplicar metodologías de análisis y formulación estratégica con impacto real, desarrollando competencias en gestión de proyectos y tecnologías emergentes. Para la especialización en Gerencia de Proyectos, constituye un caso de estudio relevante y transferible a otras áreas, fortaleciendo la pertinencia académica y la capacidad de innovación. En síntesis, esta investigación no se limita a identificar problemas, sino que propone soluciones adaptadas al contexto nacional, aprovechando las ventajas de la IA para cerrar brechas tecnológicas y mejorar la eficiencia de los proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión. Su enfoque positivo y propositivo busca influir tanto en la práctica profesional como en la generación de nuevo conocimiento científico, reafirmando la importancia de la investigación aplicada en el desarrollo del sector energético.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Inteligencia artificial*

La Inteligencia Artificial (IA) es un eje central para la investigación, ya que permite el diseño de sistemas capaces de ejecutar tareas que antes eran exclusivas de la inteligencia humana, como el aprendizaje, la predicción o la toma de decisiones estratégicas.

(Anandasivakumar Ekambaram a, 2018) abrieron la discusión al analizar cómo la combinación de Big Data e IA podía optimizar la gestión del conocimiento en proyectos, permitiendo decisiones basadas en datos en lugar de intuiciones. Posteriormente, (Jagatheesaperumal,

2021) confirmaron que la sinergia entre IA y Big Data en la Industria 4.0 favorece la eficiencia operativa y la productividad. (Li X., 2024) presentaron evidencias de que el uso de algoritmos de IA en empresas de energía incrementa la eficiencia operativa, mientras que (Cui, Chen, & Xu, 2024) mostraron cómo la integración de gemelos digitales con IA hace posible el monitoreo en tiempo real, con impactos directos en la gestión de recursos en proyectos eléctricos. En conjunto, estas perspectivas refuerzan la importancia de la IA como pilar de la transformación digital y como herramienta estratégica para la optimización de recursos en proyectos de transmisión de alta tensión.

2.1.2 Gestión de los recursos en proyectos

La gestión de recursos en proyectos implica la planificación, asignación y control del uso de recursos humanos, financieros, tecnológicos y materiales. Su propósito es garantizar que cada recurso se utilice de manera eficiente y se logren los objetivos en tiempo, costo y calidad. (Contreras Socarrás, Gómez, Misle Rodríguez, & Garzón Burgos, 2018) destacaron que la integración de Building Information Modeling (BIM) con las buenas prácticas del PMI reduce los tiempos de ejecución y ajusta presupuestos de forma más precisa en proyectos eléctricos. Años después, (Fridgeirsson, 2023) mostraron que la IA aplicada a la gestión de cronogramas, costos y riesgos facilita una mayor precisión en las decisiones, mejorando la eficiencia general de los proyectos. Asimismo, (Herrera & Conde, 2023) demostraron que los modelos predictivos basados en aprendizaje profundo pueden anticipar necesidades de generación energética, lo cual se extrapola a la planificación de materiales y personal en transmisión eléctrica. Estos aportes, sumados al avance de la digitalización, evidencian que la gestión de recursos en proyectos eléctricos debe evolucionar hacia la integración de tecnologías inteligentes para enfrentar los retos actuales de competitividad y sostenibilidad.

2.1.3 Industria 4.0 y modelos de madurez tecnológica

La Industria 4.0 representa la digitalización avanzada de procesos industriales, con la incorporación de IoT, Big Data, robótica e inteligencia artificial. (Kinelski, 2020) resaltó que las empresas energéticas que adoptan estas tecnologías logran mayor competitividad y eficiencia operativa. (Pan Y., 2023) identificó que la integración de BIM e IA no solo mejora la rentabilidad, sino que también fortalece la seguridad y la interoperabilidad en proyectos de construcción. Más tarde, (Ding C., 2023) profundizaron en la importancia de la robótica y la

percepción espacial en líneas de transmisión, demostrando que estas tecnologías incrementan el nivel de madurez digital en el sector. (Taboada I., 2023) revisaron de manera sistemática las aplicaciones de IA en gestión de proyectos, destacando su capacidad para gestionar la incertidumbre mediante aprendizaje automático. Finalmente, (Cui, Chen, & Xu, 2024) plantearon el uso de gemelos digitales como un modelo innovador para monitorear en tiempo real los recursos en proyectos eléctricos. Estos antecedentes consolidan la madurez tecnológica como un indicador estratégico para evaluar el grado de preparación de las organizaciones frente a la transformación digital.

2.1.4 Transformación digital en proyectos de infraestructura

La transformación digital constituye un eje transversal en la gestión moderna de proyectos de infraestructura, al integrar tecnologías emergentes para optimizar procesos, mejorar la productividad y aumentar la sostenibilidad. De acuerdo con (Nambisan, Lyytinen, Majchrzak, & Song, 2021), la transformación digital no solo implica la incorporación de herramientas tecnológicas, sino también cambios estructurales en la manera de planificar, ejecutar y controlar los proyectos. En el sector energético, estudios recientes demuestran que la adopción de plataformas digitales permite una mejor coordinación entre actores y una mayor eficiencia en el uso de recursos (Marcos-Pablos & García-Peñalvo, 2020). Este concepto es relevante en el marco teórico del presente estudio, ya que conecta directamente la inteligencia artificial con la gestión de recursos y la necesidad de modernizar la ejecución de proyectos eléctricos de alta tensión.

2.1.5 Sostenibilidad y eficiencia en la gestión de proyectos eléctricos

La sostenibilidad ha emergido como un criterio fundamental en la gestión de proyectos, especialmente en el sector energético, donde los impactos ambientales y sociales son significativos. Según (Silvius & Schipper, 2020), incorporar la sostenibilidad en la gestión de proyectos implica considerar no solo el alcance, tiempo y costo, sino también los impactos a largo plazo sobre la sociedad y el medioambiente. En proyectos eléctricos de transmisión, la eficiencia en el uso de recursos humanos, financieros y tecnológicos constituye un elemento clave para reducir sobrecostos y riesgos. Estudios como el de (Kivilâ, Martinsuo, & Vuorinen, 2017) demuestran que la integración de prácticas sostenibles en la gestión de proyectos contribuye a mejorar la aceptación social y el rendimiento económico. Este concepto resulta

crucial en el marco teórico porque vincula la transformación digital y la inteligencia artificial con objetivos de sostenibilidad y competitividad del sector eléctrico colombiano.

2.2 Estado del arte

Para esta investigación se hace revisión al estado del arte y se consultaron bases de datos académicas como Scopus de los últimos siete años en donde la ecuación de búsqueda utilizada fue: ('inteligencia artificial' OR 'IA') AND ('gestión de recursos' OR 'optimización') AND ('líneas de transmisión eléctrica' OR 'infraestructura energética'), con el fin de garantizar la actualidad y relevancia de los aportes científicos.

La gestión de recursos en proyectos eléctricos enfrenta desafíos de eficiencia, costos y riesgos que han motivado múltiples investigaciones en diferentes contextos. La literatura académica y técnica ha respondido a estos retos con propuestas metodológicas que incluyen el uso de inteligencia artificial, modelos predictivos y tecnologías de la industria 4.0, cuya evolución se puede rastrear en una serie de estudios clave publicados entre 2018 y 2024.

(Anandasivakumar Ekambaram a, 2018) exploraron la relación entre la gestión del conocimiento y Big Data en organizaciones basadas en proyectos. Su objetivo fue analizar cómo los datos masivos y las técnicas de IA podían mejorar la planificación y ejecución en entornos complejos. Utilizando estudios de caso, los autores mostraron que la falta de integración tecnológica limitaba la eficiencia, mientras que la implementación de herramientas digitales permitía anticipar riesgos y reducir costos. Su relevancia radica en que introduce el papel de la IA como un medio para gestionar información crítica, sirviendo de base para investigaciones posteriores en proyectos eléctricos.

(Contreras Socarrás, Gómez, Misle Rodríguez, & Garzón Burgos, 2018) desarrollaron un estudio de caso en Bogotá sobre la aplicación de BIM en proyectos de infraestructura eléctrica. La metodología incluyó la revisión documental y análisis de resultados de proyectos piloto. Concluyeron que el uso de BIM y las prácticas del PMI mejoraron la coordinación de fases, redujeron tiempos de ejecución y permitieron un ajuste más realista de los presupuestos. Este trabajo es importante para la presente investigación, pues muestra la transición desde métodos tradicionales hacia la digitalización avanzada, abriendo la puerta a la integración futura con IA.

(Kinelski, 2020) realizó un análisis sobre los factores de éxito en la gestión de proyectos en empresas energéticas en la economía digital. A través de entrevistas y revisión de casos, identificó que la incorporación de IoT, IA y automatización constituye un motor para la eficiencia y la competitividad. Sus hallazgos destacan la importancia de fortalecer la cultura digital y la capacitación del personal, elementos clave que conectan con el presente estudio al evaluar el nivel de madurez tecnológica en proyectos eléctricos en Colombia.

(Jagatheesaperumal, 2021) analizaron la sinergia entre inteligencia artificial y Big Data en el marco de la Industria 4.0. La investigación, de carácter exploratorio, revisó distintas aplicaciones en construcción y manufactura, destacando cómo los algoritmos de aprendizaje automático permiten anticipar fallas y optimizar el uso de recursos. La relevancia para este trabajo radica en que valida el papel de la IA como facilitadora de la eficiencia operativa y refuerza la importancia de integrar estas herramientas en proyectos de transmisión eléctrica.

(Herrera & Conde, 2023) presentaron un estudio sobre el uso de aprendizaje profundo para predecir generación eléctrica en plantas fotovoltaicas. Su metodología incluyó modelos de predicción basados en variables como irradiación solar y temperatura, logrando altos niveles de precisión. Aunque el contexto es solar, sus resultados son extrapolables a proyectos eléctricos de transmisión, donde la predicción de recursos humanos y materiales es fundamental. Este estudio aporta evidencia concreta sobre la aplicabilidad de IA para optimizar la planificación de recursos en el sector energético.

(Pan Y., 2023) realizó una revisión sobre la integración de BIM e IA en la gestión inteligente de la construcción. Su estudio destacó cómo la interoperabilidad entre sistemas digitales y el uso de algoritmos de IA incrementan la seguridad, eficiencia y rentabilidad de los proyectos. Esta investigación resulta clave para el presente trabajo, pues aporta una perspectiva metodológica sobre cómo las tecnologías emergentes se complementan para optimizar la gestión de recursos en proyectos eléctricos.

(Ding, Huang, & Lin, 2023) propusieron la aplicación de robótica y percepción espacial para la supervisión automatizada de obras de transmisión. Su investigación mostró que estas tecnologías permiten optimizar recursos y reducir el impacto ambiental en proyectos de infraestructura eléctrica. La metodología incluyó pruebas de campo y simulaciones, y sus hallazgos fortalecen el enfoque de este proyecto en el uso de IA para la optimización de recursos.

(Fridgeirsson, 2023) desarrollaron un estudio cualitativo sobre el impacto de la IA en la gestión de cronogramas, costos y riesgos en proyectos. A partir de entrevistas y análisis de casos, concluyeron que la IA constituye un soporte fundamental para mejorar la precisión en la planificación. Este antecedente es clave, pues evidencia la capacidad de la IA de apoyar decisiones críticas en proyectos de transmisión de alta tensión.

(Taboada I., 2023) presentaron una revisión sistemática sobre el uso de IA en la gestión de proyectos. Destacaron técnicas como redes neuronales y aprendizaje automático para mejorar la planificación y el control de la incertidumbre en proyectos eléctricos. La relevancia de este trabajo para la investigación es alta, ya que ofrece un marco de referencia amplio sobre cómo la IA se está aplicando en proyectos complejos de transmisión.

(Cui, Chen, & Xu, 2024) propusieron un sistema inteligente basado en BIM y sensores para el monitoreo en tiempo real en la gestión de la construcción. Los autores evidenciaron que los gemelos digitales permiten optimizar la eficiencia operativa y aumentar la sostenibilidad en proyectos eléctricos. Su relevancia radica en que aporta un modelo innovador que puede adaptarse directamente al contexto colombiano de transmisión eléctrica.

(Li X., 2024) analizaron la transformación digital en empresas de energía mediante algoritmos de IA. Su estudio experimental demostró que la implementación de modelos predictivos basados en IA permite modernizar procesos internos, optimizar costos y mejorar la eficiencia operativa. Este trabajo es pertinente para la investigación actual, ya que ilustra cómo la digitalización puede aplicarse en el sector de transmisión eléctrica en Colombia.

2.3 Marco normativo

El diseño de estrategias basadas en inteligencia artificial (IA) para optimizar la gestión de recursos en proyectos de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia requiere una comprensión profunda del marco normativo que regula tanto el sector eléctrico como el uso de tecnologías emergentes. Este marco normativo incluye leyes, decretos, resoluciones y estándares técnicos que garantizan la seguridad, eficiencia y sostenibilidad de los proyectos, así como la protección de los datos y la interoperabilidad de los sistemas digitales.

En Colombia, el sector eléctrico está regulado por la Ley 142 de 1994, conocida como la Ley de Servicios Públicos Domiciliarios, que establece los principios para la prestación eficiente

de servicios públicos, incluyendo la transmisión de energía eléctrica. Esta ley es complementada por la Ley 143 de 1994, que define el régimen para la generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, promoviendo la libre competencia y la eficiencia económica (Congreso de la Republica de Colombia, 1994)

Los proyectos de transmisión eléctrica también deben cumplir con normas ambientales como la Ley 99 de 1993, que establece el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y exige licencias ambientales para proyectos de infraestructura. Además, la Resolución 015 de 2018 de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) establece los criterios técnicos para el desarrollo de proyectos de transmisión, incluyendo requisitos de confiabilidad, seguridad y calidad del servicio (UPME, 2018)

En cuanto al uso de tecnologías digitales, el marco normativo colombiano ha avanzado con la Ley 1955 de 2019 (Plan Nacional de Desarrollo), que promueve la transformación digital del Estado y la adopción de tecnologías como la inteligencia artificial en sectores estratégicos. Asimismo, la Ley 1581 de 2012 regula la protección de datos personales, aspecto fundamental en la implementación de sistemas inteligentes que recopilan y procesan información en tiempo real (Congreso de la Republica de Colombia, 1994)

A nivel internacional, los proyectos de transmisión eléctrica que incorporan IA deben alinearse con estándares como los establecidos por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), que define protocolos para la interoperabilidad de sistemas eléctricos inteligentes. También se consideran las directrices de la IEEE sobre redes inteligentes y automatización, que sirven como referencia para el diseño de arquitecturas digitales seguras y eficientes (IEEE, 2020 - 2021).

Finalmente, el uso de IA en proyectos de infraestructura plantea desafíos éticos y legales que deben ser abordados mediante políticas claras. La UNESCO ha propuesto principios éticos para la IA, incluyendo la transparencia, la equidad y la responsabilidad, que deben ser considerados en el diseño de estrategias tecnológicas en el sector eléctrico colombiano (UNESCO, 2021).

3. METODOLOGÍA

3.1 Enfoque y alcance de la investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto, que combina lo cualitativo y lo cuantitativo. Desde el componente cualitativo, se realizó una revisión documental de literatura científica y técnica con el fin de comprender teorías, conceptos y antecedentes sobre la aplicación de la inteligencia artificial en la gestión de recursos en proyectos eléctricos. De manera complementaria, el componente cuantitativo se materializó en la aplicación de una encuesta de madurez tecnológica con preguntas en escala Likert, que permitió obtener información medible sobre el nivel de adopción de tecnologías digitales en las organizaciones del sector de transmisión. Esta integración metodológica garantiza una visión amplia y a la vez precisa del fenómeno de estudio.

En cuanto a sus límites temporales, la investigación se centra en un marco que comprende literatura publicada entre los años 2018 y 2024, periodo en el cual se ha intensificado la producción académica sobre inteligencia artificial e Industria 4.0 aplicada al sector eléctrico. El trabajo de campo, correspondiente a la aplicación de la encuesta, se realizó durante el año 2024 y 2025, lo que otorga actualidad a los hallazgos. En el plano espacial, el estudio se circunscribe al contexto colombiano, con especial énfasis en proyectos de transmisión de alta tensión y, particularmente, en aquellos vinculados a desarrollos de 500 kV. Esta delimitación territorial resulta relevante, pues permite observar cómo se adapta la transformación digital global a las condiciones regulatorias, técnicas y sociales del país.

Por último, en el ámbito temático, el estudio se concentra en la optimización de la gestión de recursos en proyectos eléctricos, entendidos como humanos, materiales, financieros y tecnológicos. No aborda aspectos de diseño electromecánico ni la operación detallada de redes, sino que se centra en los procesos de planificación, control y uso eficiente de recursos, donde la inteligencia artificial ofrece un mayor potencial de innovación. Esta delimitación aporta coherencia y pertinencia al trabajo, al garantizar que los resultados respondan a un marco claro y aplicable. Su relevancia radica en que ofrece un diagnóstico actualizado sobre el nivel de madurez digital en proyectos de transmisión eléctrica en Colombia y genera insumos prácticos para la integración efectiva de la inteligencia artificial en la gestión de recursos, contribuyendo tanto a la academia como al desarrollo estratégico del sector energético.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Definición de la población

La población objeto de estudio está conformada por directivos, profesionales y técnicos vinculados a proyectos de líneas de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia. Esta población incluye ingenieros eléctricos, gestores de proyectos, especialistas en tecnologías de la información y personal operativo. La muestra fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la disponibilidad y accesibilidad de los participantes.

3.2.2 Cálculo y selección de la muestra

La población de interés está constituida por un conjunto reducido de empresas que diseñan y construyen líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión en Colombia. Debido a que este sector es pequeño y no existe un marco muestral amplio, se decidió utilizar un muestreo no probabilístico por conveniencia. En consecuencia se invitó a participar a cuatro (4) empresas identificadas, contactando a los profesionales disponibles en cada una. El tamaño de la muestra ($N=4$) no se determinó mediante fórmulas estadísticas, sino en función del número total de empresas en el sector y de su disposición a colaborar. Se procuró incluir al menos un proyecto por empresa para capturar la diversidad de prácticas y niveles de madurez tecnológica.

3.3 Instrumento(s)

3.3.1 Encuesta de madurez

Descripción y características:

La encuesta constituye el principal instrumento de recolección de datos de esta investigación. Fue diseñada en formato estructurado con preguntas cerradas y escala tipo Likert de cinco puntos, elaborada con base en modelos de madurez tecnológica e Industria 4.0, y adaptada al contexto colombiano. El cuestionario se organizó en cinco dimensiones: modelo de negocio, clientes y proveedores, procesos internos, infraestructura y seguridad, y estrategia

en Industria 4.0. Su aplicación se realizó en formato digital a través de Microsoft Forms, lo cual facilitó el acceso a los encuestados y permitió garantizar la confidencialidad de la información.

Información que se espera recolectar:

Este instrumento busca medir el nivel de madurez digital y de adopción de tecnologías emergentes en la gestión de recursos en proyectos eléctricos. La información obtenida permite calcular un índice de madurez tecnológica (IMT) y clasificar a las organizaciones en distintos niveles (nulo, bajo, medio, alto, muy alto). Adicionalmente, posibilita identificar patrones en la apropiación de inteligencia artificial, Big Data e Internet de las Cosas en los procesos de planificación, control y uso de recursos.

Elementos asociados:

La encuesta incluyó ítems cerrados en escala ordinal, lo que facilita el análisis estadístico y la comparación entre dimensiones. Previamente, fue sometida a validación por juicio de expertos y a una prueba piloto, con el fin de asegurar claridad, pertinencia y confiabilidad de las preguntas. En el Anexo 1 se presenta el cuestionario completo que fue aplicado a las organizaciones participantes.

3.4 Descripción de procedimientos

La investigación se desarrolló en varias fases. En la primera fase, se realizó el análisis documental del estado del arte, extrayendo información clave de más de 20 estudios. En la segunda fase, se diseñó y validó la encuesta de madurez tecnológica, la cual fue aplicada a la muestra seleccionada mediante plataformas digitales. Se obtuvo el consentimiento informado de los participantes y se garantizó la confidencialidad de los datos. La tercera fase consistió en la sistematización de la información recolectada, seguida por el análisis estadístico y cualitativo. Finalmente, se integraron los hallazgos para diseñar estrategias basadas en IA que respondan a las necesidades del contexto colombiano.

3.4.1 Fase I: Estado del arte

Definición del alcance y planificación. Se limitará la búsqueda a investigaciones publicadas entre 2018 y 2024 que traten sobre IA y optimización de recursos en la industria de

la construcción y la energía. Se emplearán bases de datos académicas (Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore) y la matriz documental ya recopilada en el estado del arte. Se utilizarán palabras clave en español e inglés: inteligencia artificial, machine learning, gestión de recursos, project management y líneas de transmisión.

Selección de documentos. Se aplicarán criterios de inclusión (pertinencia temática, calidad científica, actualidad) y exclusión (publicaciones duplicadas o fuera del enfoque). Los trabajos se clasificarán por tipo, año, metodología y aportes a la gestión de recursos.

Extracción y síntesis de datos. Para cada documento se elaborará una ficha de síntesis que registre autores, año, metodología, tecnologías de IA utilizadas, resultados principales y aplicabilidad a la gestión de recursos. Se analizarán tendencias y vacíos, destacando investigaciones que demuestran mejoras sustanciales en la planificación y control de recursos mediante la integración de modelos IA-BIM y señalando la limitación de métodos tradicionales.

Resultados de la fase. La revisión permitirá identificar las áreas donde la IA aporta mayor valor (predicción de costos y tiempos, optimización logística, asignación dinámica de recursos, mantenimiento predictivo) y las barreras existentes (datos insuficientes, falta de talento, interoperabilidad). Esta información servirá para enfocar la encuesta de madurez y orientar las recomendaciones. El entregable principal de este instrumento es la matriz documental (ver Anexo 2), en las que se sistematizan las fuentes revisadas.

3.4.2 Fase II: Encuesta de madurez tecnológica

Adaptación del instrumento. Se utilizará como base la encuesta de madurez tecnológica disponible, seleccionando únicamente las preguntas que evalúan la capacidad de la organización para adoptar IA y tecnologías digitales en la gestión de recursos. Estas abarcan la existencia de una estrategia de transformación digital, indicadores de medición, formación del talento humano, integración de tecnologías emergentes, claridad en procesos y protocolos, inversión reciente y prevista en áreas como I+D, logística y sistemas de información, así como la utilización de tecnologías como sensores, Big Data, computación en la nube e inteligencia artificial para la toma de decisiones.

Validación del cuestionario. El instrumento adaptado se someterá a revisión de expertos en gestión de proyectos y tecnologías digitales para asegurar su pertinencia y comprensión. Se

realizará un piloto con un grupo reducido de ingenieros y gerentes del sector eléctrico para ajustar redacción y escalas.

Población y muestra. La encuesta se aplicará a organizaciones que diseñan, construyen o gestionan proyectos de líneas de transmisión de alta tensión en Colombia: operadores de red, empresas de ingeniería, contratistas EPC, interventoras y organismos reguladores. Se utilizará un muestreo intencional, buscando la participación para garantizar representatividad.

Recolección de datos. La encuesta se administrará en línea. Se comunicará a los participantes la finalidad académica y la confidencialidad de la información. El periodo de recolección será de dos a tres semanas, con recordatorios periódicos para maximizar la tasa de respuesta.

Análisis de la encuesta. Se procesarán los datos en programas estadísticos JASP y Excel. Se calcularán indicadores descriptivos para cada dimensión de madurez y se asignarán niveles (nulo, bajo, medio, alto, muy alto). Se analizarán correlaciones entre variables, por ejemplo entre el uso de IA y la inversión en tecnologías de información o el nivel de digitalización de procesos. Los comentarios cualitativos se codificarán para identificar patrones.

3.4.3 Fase III: Integración de resultados y formulación de estrategias

Triangulación de evidencia. Se contrastarán los hallazgos del estado del arte con los resultados de la encuesta de madurez. Esta triangulación permitirá verificar si las tendencias de investigación coinciden con la práctica en Colombia y determinar las brechas existentes.

Definición de lineamientos y estrategias. A partir de las brechas identificadas, se diseñarán estrategias de adopción de IA aplicables a la gestión de recursos en proyectos de transmisión. Estas pueden incluir implementar modelos de predicción de costos y plazos basados en *machine learning* integrados con BIM, desarrollar gemelos digitales para simular y gestionar en tiempo real el montaje de torres y el tendido de cables, aplicar algoritmos de optimización para planificar rutas logísticas, utilizar analítica predictiva para prever riesgos climáticos y reprogramar actividades, y fortalecer la formación del talento humano en análisis de datos, IA y BIM.

Validación de las propuestas. Las estrategias se presentarán a un panel de expertos del sector para evaluar su viabilidad técnica, económica y organizacional. Se

priorizarán las iniciativas que ofrezcan beneficios rápidos con inversiones moderadas.

Elaboración del informe y plan de acción. Se redactará un informe consolidado con el marco teórico, metodología, resultados y recomendaciones. Se incluirá un plan de acción que establezca etapas, responsables, recursos necesarios y cronograma para la implementación de las estrategias sugeridas.

3.5 Análisis de información

El análisis de la información recolectada mediante la encuesta de madurez tecnológica se desarrollará de manera sistemática, garantizando su coherencia con la pregunta de investigación y los objetivos planteados. En primer lugar, los datos serán sistematizados en Microsoft Excel, herramienta que permitirá depurar la base inicial y verificar la consistencia de las respuestas. Posteriormente, se procederá a la codificación de los ítems en valores numéricos, según la escala de respuesta utilizada en cada pregunta (escala Likert de cinco niveles: nulo, bajo, medio, alto y muy alto; o escalas ordinales como inversión nula, pequeña, mediana y grande).

Una vez organizada la base de datos, se aplicarán medidas estadísticas descriptivas: frecuencias absolutas, frecuencias relativas, porcentajes, moda y cálculo de índices de madurez ponderados (en una escala de 1 a 5). Estas métricas permitirán identificar el nivel de madurez alcanzado en cada dimensión evaluada de la encuesta (modelo de negocio, clientes y proveedores, procesos, infraestructura y estrategia en Industria 4.0).

Para el análisis gráfico, se emplearán representaciones en barras apiladas, con el fin de mostrar la distribución porcentual de cada nivel de madurez por ítem, y barras comparativas de índice, que permitirán contrastar los promedios ponderados con respecto al nivel de referencia medio (= 3). Estas visualizaciones facilitarán la interpretación y la identificación de fortalezas y rezagos en el proceso de transformación digital del sector.

En síntesis, el análisis de la información combinará el uso de herramientas informáticas (Excel, JASP) con la aplicación de medidas estadísticas descriptivas y de correlación, lo cual permitirá elaborar un diagnóstico integral y confiable del nivel de madurez tecnológica. Dicho diagnóstico servirá como base para la formulación de estrategias de inteligencia artificial orientadas a optimizar la gestión de recursos en proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia. La integración de estos hallazgos con el estado del arte se realizará

posteriormente en la sección de discusión, donde se contrastarán las evidencias empíricas con los aportes bibliográficos identificados en la revisión.

3.6 Consideraciones éticas

3.6.1 *Análisis de consideraciones éticas*

La investigación se enmarca en los principios éticos universalmente aceptados por la comunidad científica, los cuales buscan proteger tanto a las organizaciones participantes como a las personas que aportan información. En primer lugar, se garantizó el consentimiento informado, mediante el cual cada participante conoció los objetivos del estudio, la forma de recolección de la información y el uso estrictamente académico de los datos. Este consentimiento se presentó de manera digital previo al diligenciamiento de la encuesta, asegurando que la participación fuera libre, voluntaria y con derecho a retirarse en cualquier momento sin consecuencias.

En segundo lugar, se aplicaron medidas estrictas de confidencialidad y anonimato. Aunque el cuestionario incluyó información de caracterización básica, los resultados no se asociaron con nombres de personas ni con empresas en particular. La información recolectada fue tratada en conjunto y los reportes solo muestran datos agregados, evitando cualquier posibilidad de identificación. Así mismo, los archivos electrónicos fueron almacenados en plataformas seguras, protegidos con claves de acceso, y únicamente el equipo investigador tuvo acceso directo a las bases de datos.

El tratamiento de datos personales se realizó en concordancia con la Ley 1581 de 2012 de Protección de Datos Personales en Colombia y sus decretos reglamentarios. Esto implica que los datos recolectados serán usados únicamente para fines académicos y científicos, y se eliminarán de manera segura una vez cumplidos los objetivos de la investigación. Igualmente, se respetaron los lineamientos internacionales de la Declaración de Helsinki y las recomendaciones de la (UNESCO, 2021) en torno al uso ético de la inteligencia artificial, asegurando transparencia, responsabilidad y no discriminación en el manejo de la información.

En cuanto a las organizaciones participantes, se aseguró que los resultados no representaran riesgos legales, reputacionales o competitivos, dado que los hallazgos se presentan de manera agregada y general. Para la población objeto de investigación,

conformada por profesionales y actores del sector eléctrico, se garantizó que su participación no implicara riesgos físicos, psicológicos ni sociales. Además, se respetaron principios de justicia y equidad, al brindar la posibilidad de participación sin exclusión alguna por razones de ubicación, tamaño de la empresa u otras condiciones.

Finalmente, se contempló el principio de beneficencia, asegurando que la investigación aporte valor tanto al ámbito académico como al sector productivo. El diagnóstico generado servirá como insumo para la toma de decisiones estratégicas en la gestión de recursos en proyectos eléctricos, lo que representa un beneficio colectivo al fortalecer la eficiencia y sostenibilidad de estas iniciativas. De esta manera, el estudio se desarrolla en plena concordancia con los estándares éticos de la investigación científica, garantizando integridad, transparencia y respeto hacia los participantes.

Ilustración 1

Consentimiento informado

Declaración inicial:

La presente encuesta hace parte del Proyecto de investigación: INTELIGENCIA ARTIFICIAL, BIG-DATA Y CIENCIA DE DATOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS EN COLOMBIA.; de la Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Este instrumento tiene una intención estrictamente académica e investigativa; y busca reconocer el uso, conocimiento e interés de apropiación de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Ciencia de Datos) en la gestión de proyectos que tiene su organización.

Toda la información será tratada con altos estándares de confidencialidad, de forma anónima (presentación de datos generalizados) y cumpliendo la legislación vigente en Colombia.

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

3.6.2 Instrumentos de aceptación y autorización

Para la presente investigación se utilizó un instrumento de consentimiento informado, el cual fue presentado a los participantes al inicio de la encuesta digital. Dicho instrumento incluía

la declaración del propósito académico de la investigación, la descripción general de los objetivos, el carácter voluntario de la participación y la garantía de confidencialidad y anonimato en el tratamiento de los datos.

Los encuestados manifestaron su aceptación mediante la selección de la opción “Sí, acepto continuar con la encuesta”, lo cual constituye evidencia de consentimiento informado válido en entornos digitales. Este procedimiento se realizó en cumplimiento con los lineamientos éticos de la Corporación Universitaria Minuto de Dios y con la legislación vigente en Colombia en materia de protección de datos personales (Ley 1581 de 2012).

El instrumento de consentimiento, tal como fue implementado en la plataforma de recolección de datos, se adjunta en los anexos de este documento como evidencia de la autorización otorgada por los participantes.

4. HIPÓTESIS

La creciente complejidad de los proyectos de infraestructura eléctrica en Colombia, especialmente en el ámbito de las líneas de transmisión de alta tensión, ha impulsado la búsqueda de soluciones tecnológicas que permitan una gestión más eficiente de los recursos. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) se presenta como una herramienta transformadora. La hipótesis general de esta investigación plantea que la implementación de estrategias basadas en IA mejora significativamente la eficiencia en la gestión de recursos en estos proyectos. Esta afirmación se sustenta en la capacidad de la IA para procesar grandes volúmenes de datos, identificar patrones y optimizar procesos en tiempo real, lo cual es crucial en entornos donde los márgenes de error y los sobrecostos pueden comprometer la viabilidad del proyecto.

En primer lugar, el uso de modelos predictivos basados en IA ha demostrado ser eficaz para optimizar la planificación de recursos humanos y materiales. Un estudio aplicado a una planta fotovoltaica evidenció cómo el aprendizaje profundo puede predecir con precisión la generación eléctrica, utilizando variables como la irradiación solar y la temperatura ambiente, lo que permite anticipar necesidades operativas y ajustar la asignación de recursos de manera proactiva (Herrera & Conde, 2023). Esta capacidad predictiva es extrapolable a proyectos de transmisión eléctrica, donde la planificación anticipada de materiales y personal puede reducir significativamente los tiempos muertos y los costos asociados.

En segundo lugar, la integración de tecnologías como Building Information Modeling (BIM), sensores inteligentes y algoritmos de aprendizaje automático ha mejorado notablemente el monitoreo y control de proyectos eléctricos. En un estudio de caso en Bogotá, la combinación de BIM con las buenas prácticas del Project Management Institute (PMI) permitió reducir los tiempos de ejecución y ajustar los presupuestos a la realidad del proyecto, gracias a una mejor visualización y coordinación de las fases constructivas (Contreras Socarrás, Gómez, Misle Rodríguez, & Garzón Burgos, 2018). Esta integración tecnológica facilita la toma de decisiones informadas y en tiempo real, lo cual es esencial en proyectos de gran escala y alta criticidad como los de transmisión eléctrica.

Finalmente, la percepción de los actores del sector eléctrico sobre la IA influye directamente en su adopción y aplicación efectiva. Investigaciones recientes muestran que, aunque la IA es vista como una herramienta que incrementa la eficiencia y productividad, también genera tensiones relacionadas con el rol del trabajador humano frente a las máquinas. La claridad en los roles, la capacitación y la adaptabilidad son factores clave para lograr una sinergia efectiva entre humanos y sistemas inteligentes (Cruz Silva & Gordillo Pérez, 2022). En el contexto colombiano, fomentar una percepción positiva y realista de la IA entre los profesionales del sector eléctrico puede acelerar su implementación y maximizar sus beneficios.

En conjunto, estas evidencias respaldan la hipótesis general y sus derivaciones específicas, mostrando que la IA no solo es una herramienta técnica, sino también un catalizador de cambio organizacional y cultural en la gestión de proyectos eléctricos.

4.1 Las variables

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

Nivel de implementación de IA en la gestión de recursos: Grado de adopción de sensores IoT, gemelos digitales, herramientas de análisis predictivo y algoritmos de optimización.

Calidad e integración de los datos operativos: Existencia de plataformas capaces de unificar información sobre inventarios, cronogramas, rendimientos y restricciones socioambientales.

Capacitación y cultura organizacional en IA: Competencias del personal y nivel de inversión en programas de formación y gestión del cambio para adoptar tecnologías de IA.

Madurez de los algoritmos de IA: Robustez y precisión de los modelos predictivos y de aprendizaje automático utilizados para planificar y reasignar recursos.

4.1.2. Variable(s) dependiente(s)

Retrasos de ejecución: Diferencia, medida en meses, entre la fecha programada y la fecha real de cada fase del proyecto.

Sobrecostos: Porcentaje de incremento del costo final respecto al presupuesto original del proyecto.

Tiempo de inactividad de equipos y cuadrillas: Proporción del tiempo total de trabajo en que los recursos están ociosos por falta de materiales, problemas logísticos u otros.

Productividad de cuadrillas: Número de tareas o actividades realizadas por unidad de tiempo por cada cuadrilla en los diferentes frentes de obra.

5. RESULTADOS

5.1 Presentación de resultados

El presente análisis identifica aquellas preguntas que apoyan directamente la respuesta a la pregunta de investigación y que permiten cumplir con los objetivos planteados. La tabla presenta las relaciones y su debida justificación:

Tabla 1.
Presentación de resultados

Objetivo específico	Preguntas relacionadas	Justificación de la relación
1. Diagnosticar el nivel actual de uso de IA en proyectos de transmisión eléctrica.	P11, P32	Estas preguntas evalúan la existencia de estrategias de transformación digital, el uso actual de tecnologías emergentes, la adopción de sistemas inteligentes y la importancia otorgada a la inteligencia artificial como habilitador de la Industria 4.0

Objetivo específico	Preguntas relacionadas	Justificación de la relación
2. Analizar barreras y oportunidades para la implementación de IA en la gestión de recursos.	P12, P13, P26	Permiten conocer la inversión presente y futura en innovación, la organización del área de TI, el uso de servicios en la nube y los aspectos de seguridad digital, que constituyen barreras y facilitadores en la adopción de IA
3. Proponer un modelo de gestión apoyado en IA para proyectos eléctricos de alta tensión.	P19, P20, P32	Indagan sobre el nivel de integración de tecnologías en los procesos productivos y de servicios, la existencia de roles especializados en transformación digital, la capacitación del talento humano y la importancia asignada a habilitadores como IA, IoT y Big Data, insumos clave para estructurar el modelo propuesto

Fuente: Elaboración propia, basada en las preguntas presentadas en la encuesta de madurez tecnológica.

Tabla 2.

Madurez tecnológica desde la perspectiva estratégica P11

Preguntas	Nulo	Existe iniciativa	En desarrollo	En implementación	En acción
Cuenta con estrategia de transformación digital formulada desde la alta dirección.	15	23	21	13	21
Cuenta con indicadores para medir nivel del transformación digital.	33	11	16	17	16
Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.	8	33	14	14	24

Preguntas	Nulo	Existe iniciativa	En desarrollo	En implementación	En acción
Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).	28	18	15	17	15
Reconoce importancia que tiene el uso y análisis de información.	4	21	19	10	39
Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.	3	13	21	19	37
Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.	10	15	23	19	26
Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).	12	17	22	17	25

Fuente: Elaboración propia. Basado en tabla de procesamiento de datos para P11

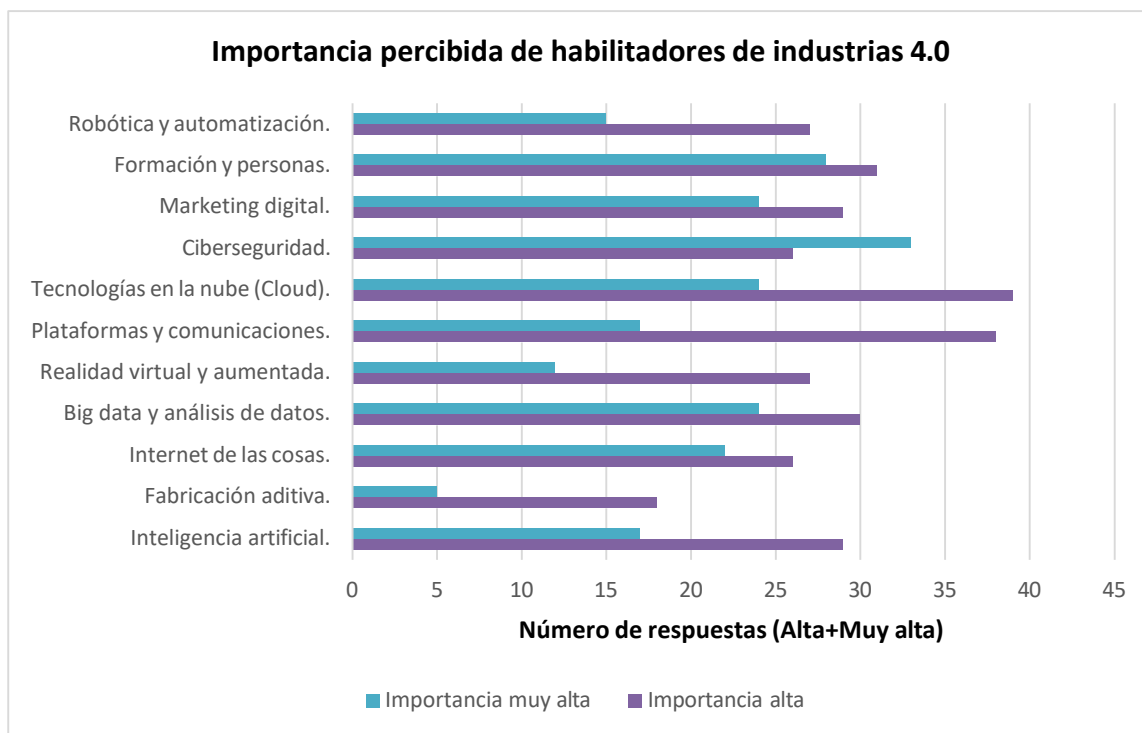
En la pregunta 11 (tabla 2.), orientada a medir la madurez tecnológica desde la perspectiva estratégica, los resultados muestran que la mayoría de las organizaciones encuestadas se encuentran en una etapa intermedia de desarrollo, con avances puntuales pero aún con rezagos significativos. En cuanto a la formulación de una estrategia de transformación digital desde la alta dirección, la opción más frecuente fue “existe iniciativa”, lo que evidencia

intención, aunque sin consolidación plena. Un hallazgo crítico se observa en la medición de indicadores, donde la categoría predominante fue “nulo”, revelando la ausencia de mecanismos sistemáticos para evaluar los avances. En relación con la capacitación del talento humano, los resultados se distribuyen principalmente entre “existe iniciativa” y “en acción”, lo cual indica un interés creciente por fortalecer competencias digitales.

En lo que respecta a la integración de tecnologías emergentes en productos, prevalecen las respuestas en “nulo”, confirmando que su aplicación práctica aún es reducida. Sin embargo, el panorama mejora en los aspectos culturales: tanto el reconocimiento del valor del análisis de la información como el papel de la innovación tecnológica presentan una alta proporción de respuestas en “en acción”, lo que refleja avances en la percepción y práctica organizacional. De igual manera, la claridad en protocolos para proyectos con alta incorporación tecnológica se ubica entre “en desarrollo” y “en acción”, señalando progresos hacia la formalización de procesos. Finalmente, el reconocimiento de conceptos como inteligencia artificial, big data y ciencia de datos se concentra en “en acción”, mostrando un nivel básico de apropiación en las organizaciones.

En síntesis, los hallazgos de esta pregunta evidencian que, si bien existen rezagos en la integración práctica de tecnologías y en la definición de indicadores, se observa un reconocimiento creciente de la importancia de la innovación, la información y los conceptos digitales, elementos que constituyen la base para avanzar en la optimización de la gestión de recursos mediante inteligencia artificial, en línea con los objetivos de esta investigación.

Figura 1.
Importancia percibida de habilitadores de industrias 4.0 – P32



Fuente: Elaboración propia en Excel correspondiente a la pregunta 32

En la pregunta 32, los resultados muestran que los habilitadores de Industria 4.0 con mayor relevancia para las organizaciones son las tecnologías en la nube (63 respuestas en alta o muy alta importancia), la ciberseguridad (59), la formación y personas (59), así como el big data y análisis de datos (54) y las plataformas y comunicaciones (55). Estos hallazgos reflejan que las prioridades actuales se orientan hacia la infraestructura digital, la gestión segura de la información y la capacitación del talento humano, en concordancia con los objetivos de fortalecer la gestión de recursos en proyectos complejos.

En contraste, la fabricación aditiva (23) y la realidad virtual/aumentada (39) aparecen con menor valoración estratégica, lo que evidencia que aún no se perciben como tecnologías prioritarias dentro del sector eléctrico. La inteligencia artificial (46) y el internet de las cosas (48) ocupan un lugar intermedio, mostrando reconocimiento, pero sin alcanzar los niveles de consenso de cloud o ciberseguridad.

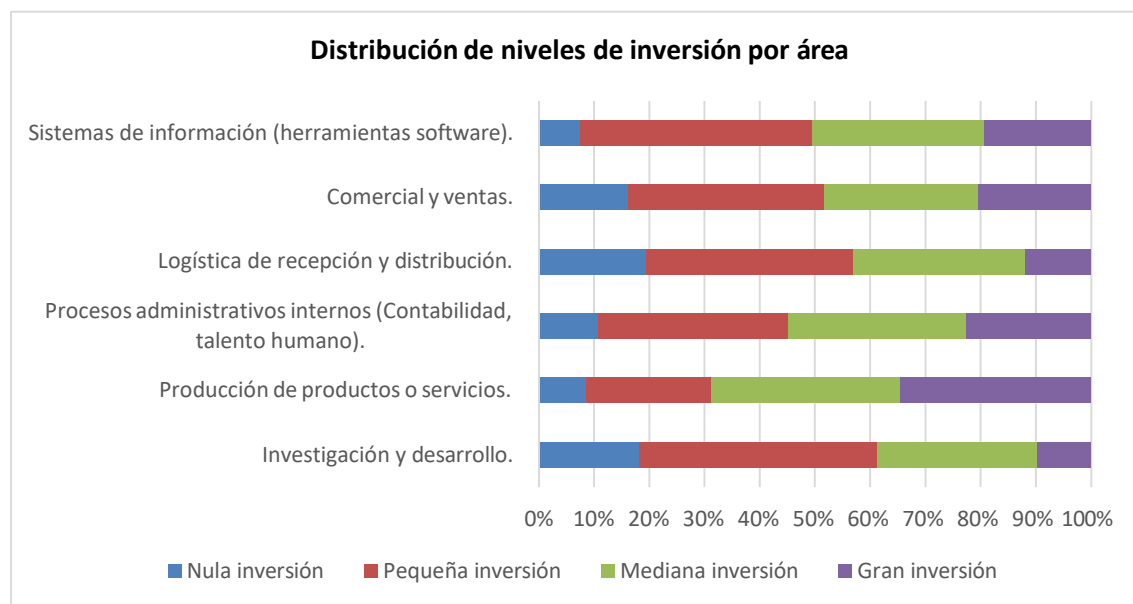
El análisis de la pregunta P12 revela que las organizaciones han distribuido sus inversiones en diversas áreas durante los últimos dos años con una tendencia diferenciada. En

producción de productos o servicios, se observa el mayor peso relativo en niveles de mediana (34,4 %) y gran inversión (34,4 %), lo que muestra una orientación significativa hacia el fortalecimiento del núcleo productivo. En contraste, la investigación y desarrollo concentra su participación en la pequeña inversión (43,0 %), mientras que los niveles de gran inversión son reducidos (9,7 %).

Los procesos administrativos internos y la logística de recepción y distribución muestran una distribución más concentrada en la pequeña inversión (34,4 % y 37,6 % respectivamente), aunque en ambos casos la mediana inversión mantiene una presencia relevante. El área de comercial y ventas refleja un comportamiento similar, con predominio de la pequeña inversión (35,5 %), aunque con un aporte no despreciable en gran inversión (20,4 %). Finalmente, los sistemas de información (software) se caracterizan por una marcada proporción en la pequeña inversión (41,9 %), con menores valores en gran inversión (19,4 %).

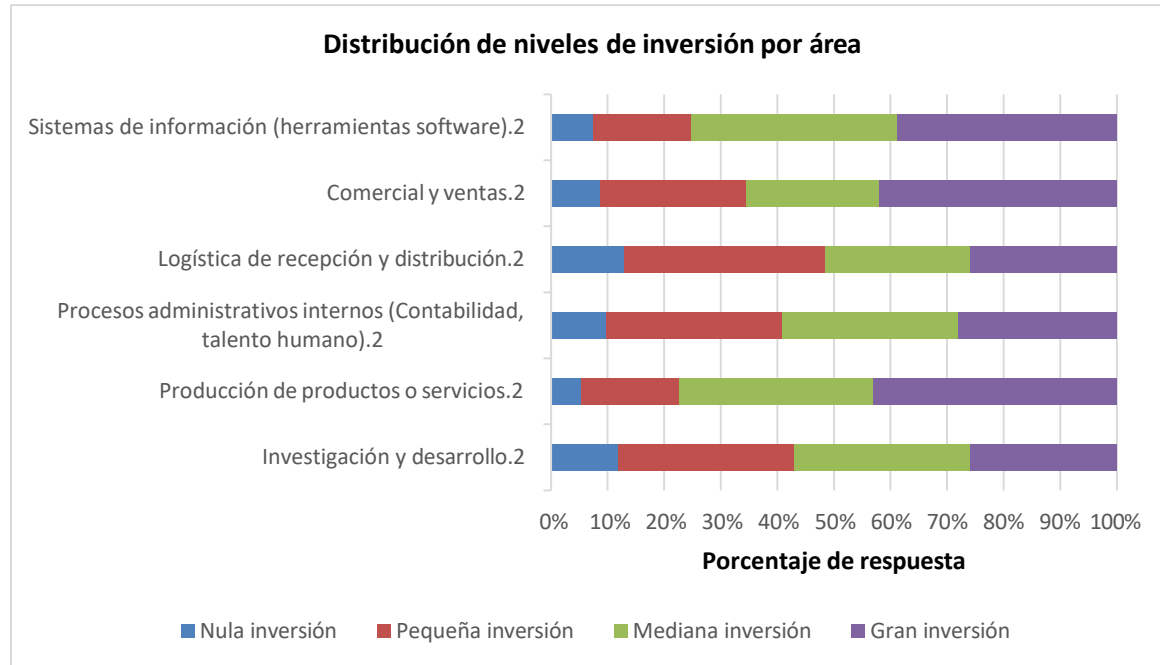
El gráfico de barras horizontales apiladas permite apreciar con claridad la proporción de cada nivel de inversión dentro de cada área, destacando cómo la producción concentra mayores recursos en escalas altas, mientras que la mayoría de las demás áreas se mantienen en rangos pequeños y medianos de inversión.

Figura 2.
Distribución de niveles de inversión por área P12



Fuente: Elaboración propia, basado en el procesamiento de datos que se realiza a la pregunta 12 de la encuesta de madurez.

Figura 3.
Distribución de niveles de inversión por área P13



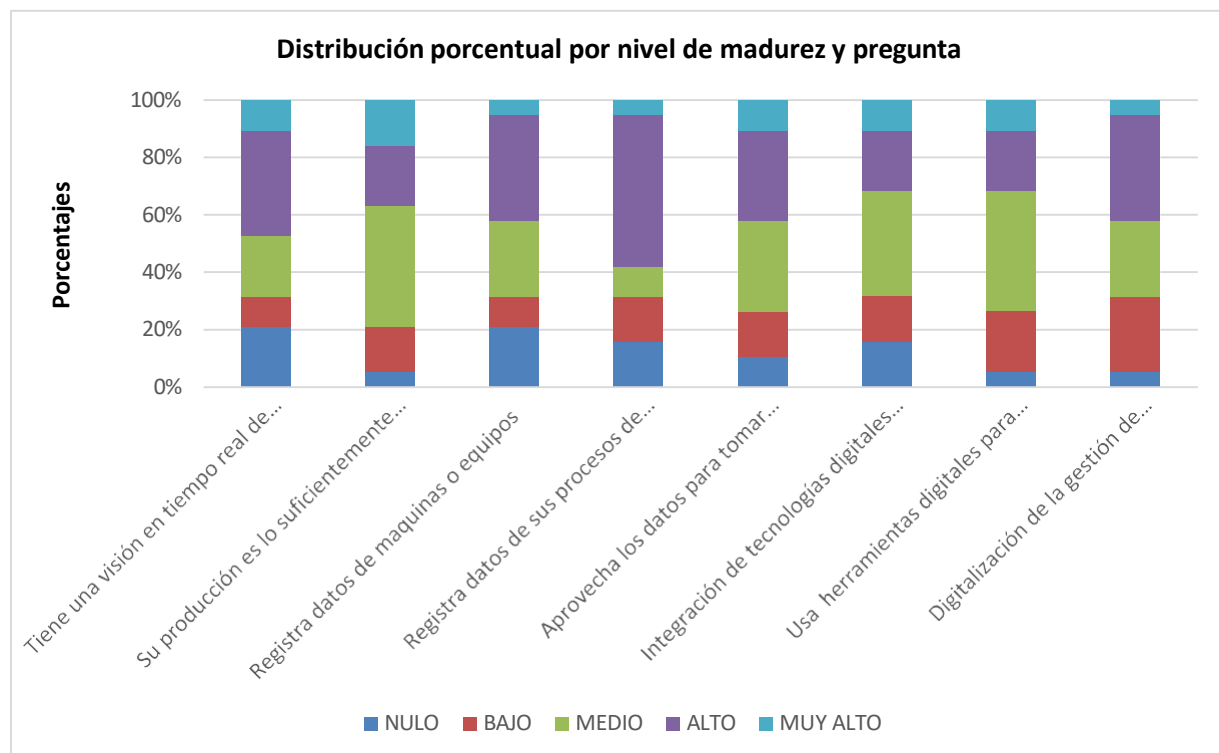
Fuente: Elaboración propia, basado en el procesamiento de datos que se realiza a la pregunta 13 de la encuesta de madurez.

En la pregunta P13, correspondiente a las áreas en las que las organizaciones proyectan invertir en los próximos cinco años, los resultados evidencian una clara tendencia hacia fortalecer Producción de productos o servicios, Sistemas de información y Comercial y ventas. La primera concentra un promedio ponderado de 3,15 en la escala de 1 a 4, con un 77,4 % de respuestas en los niveles de mediana y gran inversión, lo que la posiciona como el rubro prioritario de inversión. Le sigue el área de Sistemas de información, con media de 3,06 y un 75,3 % en categorías superiores, reflejando la relevancia de las herramientas digitales en la modernización empresarial. Comercial y ventas alcanza un promedio de 2,99 y un 65,6 % en niveles altos, señalando la importancia de ampliar mercados y canales. En contraste, áreas como Procesos administrativos (2,77; 59,2 %), Investigación y desarrollo (2,71; 57,0 %) y Logística (2,65; 51,6 %) se sitúan en posiciones intermedias, con mayor dispersión en las respuestas y predominio de categorías de inversión pequeña o mediana. La moda por área reafirma estas tendencias: Producción, Sistemas y Comercial se concentran en “Gran inversión”, mientras que Procesos e Investigación muestran empate en niveles medios, y

Logística presenta mayor inclinación hacia la inversión pequeña. En conjunto, la distribución de porcentajes revela un patrón de proyección de inversión orientado al fortalecimiento productivo y tecnológico, mientras que la innovación, la gestión administrativa y la logística mantienen un interés menor relativo.

El análisis del archivo P19 evidencia que los resultados se concentran en niveles MEDIO y ALTO en la mayoría de los ítems evaluados. En la flexibilidad de la producción ante cambios en la demanda, el 42 % de los encuestados la ubica en nivel MEDIO, con un índice de madurez de 3,26, el más alto del bloque. El registro de procesos de producción también presenta un resultado representativo, con más del 50 % en nivel ALTO y un índice de 3,16. De forma similar, el aprovechamiento de datos para la toma de decisiones se concentra en MEDIO y ALTO (31,6 % cada uno), alcanzando igualmente un índice de 3,16. En contraste, los aspectos con menor avance se relacionan con la integración de tecnologías digitales y el registro de máquinas/equipos, ambos con índices de 2,95, lo que refleja rezago frente a otras dimensiones. En conjunto, los índices ponderados oscilan entre 2,95 y 3,26, manteniendo un promedio general cercano al nivel MEDIO, con tendencia positiva hacia ALTO en prácticas específicas como registro de procesos e inventarios.

Figura 4.
Distribución porcentual del nivel de madurez y pregunta P19

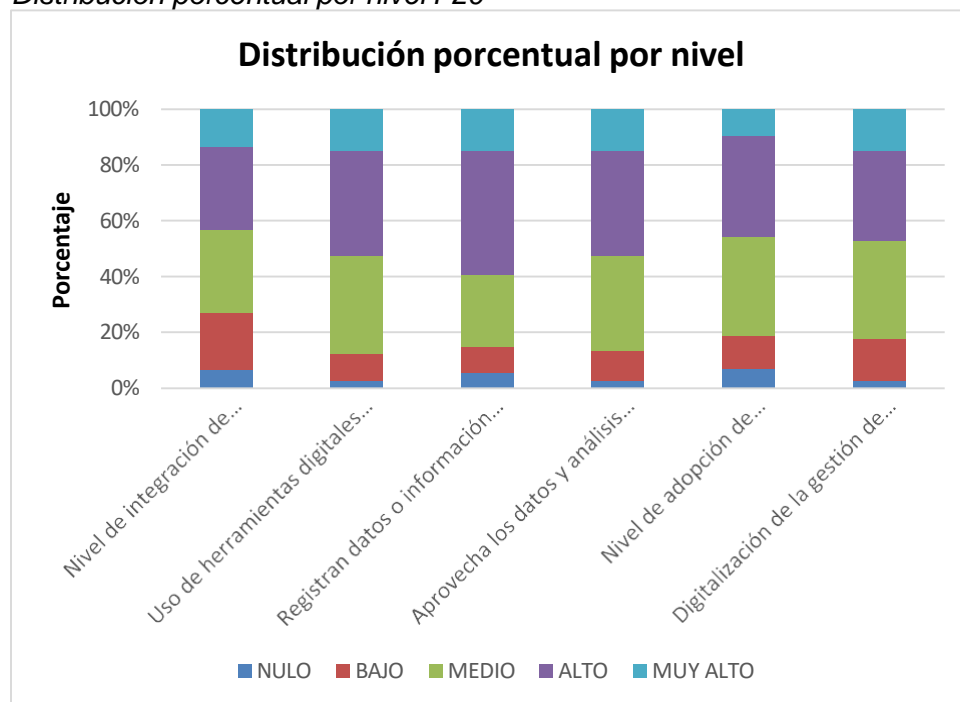


Fuente: Elaboración propia, basado en el procesamiento de datos que se realiza a la pregunta 19 de la encuesta de madurez.

El análisis de esta dimensión (P20) muestra que los niveles de madurez se concentran principalmente entre MEDIO y ALTO, lo que refleja un avance sostenido en la apropiación digital en la prestación de servicios. La integración de tecnologías digitales se ubica en un punto intermedio con un índice de 3,23, destacando que casi el 60 % de las organizaciones se reparten entre niveles medio y alto. El uso de herramientas digitales para la eficiencia y el registro de datos de los procesos alcanzan los valores más altos, con índices de 3,53 y 3,54 respectivamente, y con modas en el nivel ALTO, lo que evidencia que estas prácticas son las más consolidadas. De forma similar, el aprovechamiento de datos para la toma de decisiones se sitúa en 3,51, igualmente dominado por los niveles medio y alto. Por su parte, la adopción de tecnologías de automatización y la digitalización de la gestión de registros presentan índices de 3,30 y 3,42, ubicándose en la franja media-alta, aunque con menor fuerza relativa que el registro y aprovechamiento de datos.

En conjunto, los valores obtenidos oscilan entre 3,23 y 3,54, perfilando un nivel de madurez tecnológico medio-alto, con mayores fortalezas en la digitalización y uso de datos y un avance más moderado en la integración y automatización de servicios.

Figura 5.
Distribución porcentual por nivel P20



Fuente: Elaboración propia, basado en el procesamiento de datos que se realiza a la pregunta 20 de la encuesta de madurez.

5.2 Propuesta al sector

Antes de presentar propuestas específicas, se recomienda adoptar una metodología basada en la gestión de activos de acuerdo con la norma ISO 55000 y en las fases del ciclo de vida del proyecto:

Diagnóstico y definición de objetivos. Identificar los procesos de planificación, diseño, construcción y mantenimiento donde la IA puede aportar valor (por ejemplo, inspección de líneas, programación de cuadrillas o análisis de riesgos). Establecer indicadores clave (KPIs) como reducción del tiempo de inspección, disminución de fallos y optimización del presupuesto.

Gobernanza y gestión de datos. Crear un repositorio de datos unificado (Big Data) con información histórica de proyectos, sensores de operación, datos meteorológicos y topográficos. Asegurar la calidad de la información y la interoperabilidad entre entidades (XM, ISA, Empresas de Transmisión). Respetar la normativa sobre protección de datos y ciberseguridad.

Desarrollo de capacidades. Formar a ingenieros y técnicos en análisis de datos, aprendizaje automático y ética de la IA. La experiencia de ISA Intercolombia mostró que la calidad de los datos y el entrenamiento de modelos requieren colaboración de expertos del sector (Microsoft News Center, 2023). También es necesario fomentar competencias blandas – como la comunicación y la gestión del cambio – para equilibrar la automatización con el juicio humano (Association for Project Management, 2025).

Pruebas piloto y escalado. Comenzar con proyectos piloto en líneas de alta criticidad para validar modelos de IA. Analizar los resultados y ajustar algoritmos y procesos. Una vez demostrada la viabilidad, escalar a toda la red.

Evaluación y retroalimentación. Monitorizar los indicadores de desempeño, costos, seguridad y sostenibilidad. Ajustar la estrategia de IA según la evolución de la red y las nuevas normativas.

5.2.1 Propuesta 1 – Mantenimiento predictivo y salud de activos basada en IA

La propuesta de mantenimiento predictivo se fundamenta en la encuesta de madurez tecnológica, donde el registro de procesos de producción alcanza un índice de 3,16, con más del 50 % en nivel alto. Sin embargo, cerca del 40 % aún no registra datos de manera digital, lo que justifica la instalación de sensores en activos críticos para monitorear corriente, tensión, temperatura, vibración y condiciones ambientales. Esto concuerda con (Bilal, y otros, 2019), quienes señalan que la recopilación de datos en tiempo real favorece la detección temprana de fallas.

En cuanto a la digitalización de registros, con un índice de 3,42, resulta clave fortalecer la captura de imágenes mediante drones y cámaras portátiles. El uso de técnicas de visión por computadora, como lo hizo ISA Intercolombia, mejora la detección de corrosión y grietas (Akinosho, y otros, 2020).

El aprovechamiento de datos para decisiones, con índices de 3,16 en producción y 3,51 en servicios, respalda la aplicación de modelos de aprendizaje profundo. Estos algoritmos permiten estimar la vida útil restante (RUL) de torres, cables y transformadores, aumentando la precisión en la clasificación de fallos.

Los resultados deben integrarse en un motor de decisiones que priorice acciones según criticidad, costos y riesgos. Según (Anandasivakumar Ekambaram a, 2018), este enfoque mejora la eficiencia y la transparencia en la gestión del mantenimiento.

Finalmente, dado que 25 organizaciones se declararon en nivel 'En acción' respecto al uso de tecnologías emergentes, se propone una interfaz de usuario con paneles interactivos que muestren estado de activos, criticidad y análisis costo-riesgo. (Elkhatib, y otros, 2023) destacan que estas herramientas fortalecen la gestión operativa y financiera en tiempo real.

La propuesta integra sensores, drones, algoritmos predictivos, motores de decisión y paneles interactivos para fortalecer la confiabilidad de los activos y mejorar la eficiencia operativa del sector eléctrico colombiano.

5.2.2 Propuesta 2 – Optimización de la planificación y asignación de recursos de proyectos mediante IA

La segunda propuesta busca optimizar la planificación y asignación de recursos en proyectos de transmisión mediante inteligencia artificial (IA) y análisis prescriptivo. El diagnóstico evidencia que el registro de procesos de producción tiene un índice de 3,16 y el

aprovechamiento de datos alcanza 3,16 en producción y 3,51 en servicios, mientras que la digitalización de registros llega a 3,54. Estas cifras muestran un entorno favorable para implementar modelos predictivos y de optimización.

El primer componente corresponde al modelo de predicción de costos y tiempos, que utiliza aprendizaje automático para estimar duración y costos de las fases del proyecto, apoyándose en datos históricos y factores contextuales como clima o conflictos sociales (Bilal, y otros, 2019). El segundo es la optimización de recursos, mediante algoritmos de programación entera, redes neuronales o aprendizaje por refuerzo, que asignan cuadrillas, equipos y materiales con base en restricciones y prioridades, en línea con lo planteado por (Anandasivakumar Ekambaram a, 2018).

Un tercer componente es el portafolio y análisis de escenarios, que evalúa diferentes combinaciones de proyectos bajo criterios de confiabilidad, sostenibilidad y costos, incluyendo análisis de sensibilidad ante cambios regulatorios o de demanda (Elkhatib, y otros, 2023). A esto se suma la integración con sistemas existentes como ERP, SIG y BIM, lo que mejora la interoperabilidad y la transparencia en la gestión (Akinosho, y otros, 2020).

Finalmente, se propone un módulo de visualización con paneles interactivos y alertas tempranas para sobrecostos o atrasos. Estas herramientas, según (Chaturvedi, Cambria , & Welsch, 2023), permiten transformar datos complejos en información clara para la toma de decisiones.

En conjunto, la propuesta integra predicción, optimización, análisis de escenarios y visualización, orientada a reducir tiempos, costos y riesgos en proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia.

5.2.3 Propuesta 3 – Sistema de apoyo a decisiones y gestión del conocimiento

La tercera propuesta plantea el desarrollo de un asistente de inteligencia artificial para la gestión del conocimiento y la toma de decisiones en proyectos de transmisión eléctrica. Inspirado en el piloto anunciado por la (UPME, 2018), este sistema permitirá a ingenieros, planificadores y autoridades consultar datos de demanda, planes de expansión, mapas de biomasa y documentación normativa. El asistente se basará en técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) capaces de interpretar preguntas en español, extraer información de documentos técnicos y generar visualizaciones y resúmenes.

El primer componente es la base de datos documental. Dado que en la figura 5 el índice de madurez en el registro de datos alcanza 3,54, resulta fundamental consolidar esta información en una base documental estructurada que incluya reglamentos, manuales de operación, estudios de impacto y datos de monitoreo. Esto permitirá aprovechar de manera más eficiente la información existente en los proyectos.

El segundo componente corresponde al modelo de PLN. El aprovechamiento de datos para la toma de decisiones, mostrado en la figura 5 con un índice de 3,51, respalda el desarrollo de un modelo de PLN especializado en energía eléctrica y normas colombianas. Ajustar el modelo con datos locales permitirá responder preguntas específicas y garantizar coherencia, en línea con lo señalado por (Anandasivakumar Ekambaram a, 2018) sobre la utilidad de sistemas inteligentes en la gestión del conocimiento.

El tercer componente se centra en la interfaz de usuario. Como se aprecia en la tabla 2, 25 organizaciones encuestadas se ubican en el nivel 'En acción' en el reconocimiento de tecnologías emergentes, lo que refleja apertura para adoptar portales y APIs seguras que permitan consultas interactivas en español, integrando visualizaciones dinámicas como gráficas de demanda y mapas geoespaciales, siguiendo lo recomendado por (Elkhatib, y otros, 2023).

Finalmente, se propone un mecanismo de control y validación. En la figura 1 se observa que habilitadores como cloud computing (63 respuestas), ciberseguridad (59) y Big Data (54) son percibidos como de gran importancia. Esto refuerza la viabilidad de integrar revisiones expertas en el sistema, corrigiendo errores y limitando la exposición de datos sensibles para garantizar confianza en la herramienta.

Esta propuesta articula bases de datos documentales, modelos de PLN, interfaces interactivas y mecanismos de validación, configurando una solución que fortalece la gestión del conocimiento y eleva la capacidad de respuesta del sector eléctrico colombiano frente a escenarios complejos.

5.2.4 Propuesta 4 – Gemelos digitales y simulación de proyectos de transmisión

La propuesta consiste en implementar gemelos digitales (digital twins) para diseñar, simular y optimizar proyectos de transmisión de alta tensión. Un gemelo digital es una réplica virtual del activo físico que se alimenta de datos en tiempo real y permite simular diferentes escenarios, como condiciones climáticas extremas, crecimiento de la demanda o fallos,

además de evaluar el rendimiento de distintos diseños y prever impactos ambientales y sociales.

El diagnóstico respalda esta iniciativa, pues en la figura 5, se observa que el uso de herramientas digitales para la eficiencia y el registro de datos alcanza índices de 3,53 y 3,54 respectivamente, mientras que el aprovechamiento de datos para la toma de decisiones se sitúa en 3,51. Estos valores reflejan una base sólida para la implementación de gemelos digitales que se alimenten de datos en tiempo real. Sin embargo, la figura 4, muestra que el índice de madurez en la integración de tecnologías digitales en procesos productivos es de 2,95, lo cual representa un área de oportunidad para fortalecer la interoperabilidad entre sistemas físicos y virtuales. Asimismo, en la figura 3, la proyección de inversión en sistemas de información para los próximos cinco años tiene un promedio ponderado de 3,06, lo que confirma el interés del sector en robustecer su infraestructura digital.

El primer componente de esta propuesta es el modelo digital geométrico y eléctrico, que debe incluir representaciones 3D de torres, cables, subestaciones y su entorno, junto con parámetros eléctricos como impedancias, cargas y pérdidas.

En segundo lugar, se plantea el flujo de datos en tiempo real, conectando el gemelo digital a sensores del sistema para actualizar continuamente el estado de los activos.

El tercer componente son los módulos de simulación, que incorporan análisis de cargas, generación renovable, flujos de potencia y estabilidad, utilizando aprendizaje automático y física computacional para anticipar la respuesta del sistema ante eventos críticos como tormentas o saturación de cargas (Bilal, y otros, 2019).

Finalmente, se propone una plataforma colaborativa que permita a ingenieros, operadores y planificadores interactuar con el gemelo, ajustar parámetros y analizar resultados, incluyendo impactos ambientales y sociales, en concordancia con lo expuesto por (Anandasivakumar Ekambaram a, 2018).

En conjunto, esta propuesta articula modelos digitales, flujos de datos en tiempo real, simulaciones avanzadas y plataformas colaborativas, configurando un sistema integral que fortalecerá la planeación, operación y sostenibilidad de los proyectos de transmisión de alta tensión en Colombia.

5.3 Discusión

El análisis de los resultados de la encuesta de madurez tecnológica evidencia un nivel medio-alto en varios aspectos de la gestión digital en proyectos de transmisión eléctrica, particularmente en el registro y aprovechamiento de datos (índices superiores a 3,5 en P19 y P20), y en la percepción de importancia de habilitadores como la inteligencia artificial, Big Data y tecnologías en la nube (P32). Estos hallazgos concuerdan con lo planteado en la literatura reciente, donde autores como (Li X., 2024) y (Cui, Chen, & Xu, 2024) destacan que la digitalización de procesos y el uso de gemelos digitales constituyen los pilares más avanzados en la optimización de recursos mediante IA.

No obstante, los resultados también muestran rezagos en dimensiones como la integración plena de tecnologías digitales en los procesos (índices cercanos a 2,9 en P19) y en la adopción de tecnologías de automatización (P20, índice 3,3). Esta situación coincide con lo señalado por (Mendoza JG, 2022), quienes identifican que en América Latina la adopción de IA es más lenta y desigual en comparación con contextos de alto grado de madurez digital. Dichos rezagos en Colombia evidencian la brecha tecnológica descrita en la literatura, en la cual la falta de integración e interoperabilidad limita la escalabilidad de las soluciones inteligentes (Pan Y., 2023).

En cuanto a la inversión en tecnología (P12 y P13), se observa que los recursos recientes se han concentrado en sistemas de información y producción de servicios, mientras que la investigación y desarrollo aún presenta predominio en categorías de pequeña o mediana inversión. Este hallazgo confirma lo descrito por (Taboada I., 2023), quienes señalan que la mayoría de las empresas de la región prioriza la digitalización operativa antes que la innovación disruptiva en I+D. Sin embargo, al proyectar la inversión a cinco años (P13), los encuestados manifiestan un interés creciente en reforzar sistemas de información y automatización, lo que se alinea con las tendencias globales reportadas por (Ding C., 2023) sobre el papel de la robótica y la percepción espacial en proyectos de líneas aéreas.

Por otra parte, los resultados sobre la capacitación en habilidades de Industria 4.0 (P29) muestran que gran parte del talento humano se ubica en niveles intermedios, percibidos como insuficientes para soportar una transición tecnológica robusta. Este hallazgo coincide con lo planteado por (Cruz Silva & Gordillo Pérez, 2022), quienes advierten que la falta de competencias en IA y Big Data constituye una de las principales barreras para su adopción

efectiva. De este modo, la encuesta confirma que, aunque existe reconocimiento de la importancia de estas tecnologías (P32), persisten limitaciones en la formación especializada que dificultan su implementación práctica.

En síntesis, los resultados de la encuesta corroboran varios de los planteamientos identificados en el estado del arte, como la relevancia del registro y análisis de datos, la necesidad de interoperabilidad tecnológica y la brecha en formación del talento humano. Sin embargo, también revelan particularidades del contexto colombiano, como la tendencia a invertir más en digitalización de procesos que en investigación disruptiva, lo que genera un desfase frente a las prácticas internacionales más avanzadas. Estas coincidencias y divergencias permiten reconocer las oportunidades y los desafíos específicos que enfrenta el sector de transmisión eléctrica en Colombia en su tránsito hacia la optimización de recursos mediante inteligencia artificial.

6. CONCLUSIONES

El presente capítulo reúne los principales hallazgos de la investigación, contrastando los resultados obtenidos en el procesamiento de la encuesta de madurez tecnológica con los objetivos y la hipótesis planteados al inicio del trabajo. El análisis realizado permitió comprender el estado actual de la madurez tecnológica en proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia y definir las implicaciones de aplicar estrategias basadas en inteligencia artificial para optimizar la gestión de recursos. Las conclusiones expuestas son claras, concisas y buscan reflejar la realidad observada, respondiendo a la pregunta de investigación planteada.

En relación con el objetivo general, que consistía en diseñar estrategias basadas en inteligencia artificial que permitan optimizar la gestión de los recursos en proyectos de transmisión eléctrica en Colombia, se logró demostrar la pertinencia de dicha propuesta a partir del diagnóstico obtenido. Los resultados de la encuesta muestran que el sector se encuentra en un nivel medio-alto de madurez, lo que indica que existen condiciones para avanzar en la implementación de herramientas inteligentes. Así, la investigación responde afirmativamente a la pregunta sobre qué estrategias basadas en IA pueden aplicarse, pues se evidencia que el sector reconoce la importancia de estas tecnologías y ha iniciado su integración de manera parcial.

En cuanto a los objetivos específicos, se cumplió en primer lugar con el análisis del estado del arte y del marco de referencia, lo cual permitió identificar las tendencias más relevantes de aplicación de IA en la gestión de recursos. En segundo lugar, la evaluación del nivel actual de madurez tecnológica, realizada a través de la encuesta, entregó información precisa sobre las fortalezas y rezagos del sector. En tercer lugar, se identificaron brechas concretas en aspectos como la integración plena de tecnologías digitales, la capacitación especializada en Industria 4.0 y la inversión en investigación y desarrollo. Finalmente, se plantearon lineamientos estratégicos viables para incorporar la inteligencia artificial en la planificación, asignación y control de recursos en proyectos de transmisión eléctrica.

Los resultados obtenidos permitieron confirmar la hipótesis de investigación, según la cual la implementación de estrategias basadas en inteligencia artificial mejora significativamente la eficiencia en la gestión de recursos en proyectos eléctricos. El nivel de madurez evidenciado en las dimensiones de registro y uso de datos, junto con la valoración positiva hacia la IA y las tecnologías digitales, demuestran que el contexto colombiano presenta condiciones para beneficiarse de estas soluciones. La hipótesis queda validada al comprobar que la aplicación de IA contribuye a reducir la incertidumbre en la toma de decisiones, aumentar la productividad y optimizar la asignación de materiales y personal.

Los hallazgos más relevantes de la encuesta señalan que: i) el registro de procesos y la digitalización de la información alcanzan índices altos de madurez; ii) la integración de tecnologías digitales y la adopción de automatización aún presentan rezagos; iii) la inversión reciente se ha concentrado en sistemas de información y producción de servicios, mientras que la inversión en investigación y desarrollo sigue siendo limitada; iv) existe una percepción positiva sobre la importancia de la inteligencia artificial, el Big Data y las tecnologías en la nube; y v) la capacitación del talento humano en competencias digitales es insuficiente, aunque reconocida como un factor crítico.

El impacto de los resultados en el campo académico es significativo, ya que la investigación aporta evidencia empírica sobre el nivel real de madurez tecnológica en un sector estratégico como el de transmisión eléctrica. Este diagnóstico no solo contribuye a enriquecer la literatura nacional sobre gestión de recursos en proyectos de infraestructura, sino que también abre la puerta a nuevas investigaciones aplicadas que busquen perfeccionar los modelos de optimización mediante IA. Asimismo, la metodología utilizada puede servir como referencia para futuros estudios en sectores energéticos y de construcción.

Desde el punto de vista práctico, los resultados representan un insumo de gran valor para empresas de ingeniería, contratistas y entidades regulatorias del sector eléctrico. La identificación de fortalezas y brechas permite diseñar estrategias más realistas para mejorar la eficiencia en la gestión de recursos. En particular, se resalta la necesidad de fortalecer la capacitación del talento humano, incrementar la inversión en investigación y desarrollo, y promover la integración tecnológica a través de proyectos piloto que demuestren la viabilidad de la inteligencia artificial en escenarios reales de transmisión eléctrica.

Como toda investigación, el presente estudio tiene limitaciones que deben reconocerse. La primera de ellas corresponde al alcance muestral de la encuesta, que aunque representativo para el contexto nacional, no incluye a la totalidad de actores del sector. Otra limitación radica en el carácter cuantitativo de la encuesta, que no permitió profundizar en percepciones cualitativas de los participantes. Finalmente, la investigación se centra en el contexto colombiano, por lo que los resultados deben interpretarse con cautela al compararlos con experiencias internacionales.

A partir de estas limitaciones y de los hallazgos obtenidos, surgen nuevas líneas de investigación. Entre ellas destacan: i) profundizar en estudios de caso que apliquen modelos de inteligencia artificial en proyectos específicos de transmisión eléctrica; ii) evaluar el impacto económico y ambiental de la implementación de IA en la gestión de recursos; iii) diseñar programas de formación que fortalezcan las competencias digitales del talento humano; y iv) explorar la integración de IA con otras tecnologías habilitadoras como gemelos digitales, BIM y sensores IoT en proyectos de gran escala.

En conclusión, la investigación logró cumplir sus objetivos y responder a la pregunta de investigación planteada, validando la hipótesis sobre la capacidad de la inteligencia artificial para optimizar la gestión de recursos en proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia. Los resultados obtenidos reflejan un nivel medio-alto de madurez tecnológica, con fortalezas claras en el registro y uso de datos, y con retos en automatización, capacitación e inversión en I+D. Estos hallazgos constituyen un punto de partida para impulsar estrategias innovadoras que contribuyan a la eficiencia, sostenibilidad y competitividad del sector eléctrico nacional.

La evidencia empírica obtenida a partir de la encuesta aplicada demuestra un nivel de madurez tecnológica medio-alto, con especial énfasis en la valoración positiva de los procesos internos y los servicios asociados, donde más del 60 % de los encuestados calificó en niveles

altos o muy altos los ítems de P19 y P20. Asimismo, la P12 reflejó que una amplia mayoría prioriza la inversión en tecnologías de información, mientras que la P26 confirmó la percepción de que resulta necesario fortalecer los procesos internos de gestión. A su vez, la P32 evidenció que más de la mitad de los encuestados considera de alta importancia la implementación de gemelos digitales como habilitadores estratégicos. Estos resultados permiten concluir que el sector reconoce la relevancia de la digitalización y la inteligencia artificial en la gestión de recursos, aunque aún enfrenta retos en la estandarización de prácticas y en la integración de estas tecnologías de manera sistémica en los proyectos.

En coherencia con estos hallazgos, las propuestas presentadas —mantenimiento predictivo apoyado en IA, optimización de la planificación de recursos mediante algoritmos inteligentes, sistemas de apoyo a la toma de decisiones y adopción de gemelos digitales— constituyen un conjunto de lineamientos estratégicos que responden de manera directa a las necesidades identificadas. Dichas iniciativas, fundamentadas en literatura reciente y respaldadas por la evidencia empírica de la encuesta, representan un camino viable para incrementar la eficiencia, reducir sobrecostos, mejorar la confiabilidad operativa y garantizar la sostenibilidad de los proyectos de transmisión eléctrica en Colombia. De esta manera, el estudio no solo aporta un diagnóstico claro de la situación actual, sino que también ofrece orientaciones prácticas para la modernización y competitividad del sector en un entorno cada vez más exigente en términos de innovación y transformación digital.

7. Referencias

- Akinosho, T., Oyedele, L., Ajayi, A., Delgado J, M., Akanbi, L., & Dávila Delgado, J. M. (2020). Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations. *Journal of Building Engineering*, 32, 101827.
- al, L. e. (2023). Application of Emerging Technologies to Improve Construction Performance. Buildings. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/buildings13051147>
- Anandasivakumar Ekambaram a, A. Ø.-B. (2018). The role of big data and knowledge management in improving projects and project-based organizations.
- Acevedo Argüello, C., Zabala Vargas, S., Rojas Mesa, J., & Guayán Perdomo, O. (2020). Análisis de Redes Sociales como estrategia para estudiar los Sistemas de Innovación. Revisión sistemática de la literatura. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía*, 13(2), 369-402. <https://doi.org/10.15332/s1657-107X>
- Behrooz, H. C. (2023). Towards Automating the Identification of Sustainable Projects Seeking Financial Support: An AI-Powered Approach Sustainability.
- Bilal, M., Lukomon O, O., Habeeb O., K., Hakeem A, O., Lukman A, A., Anuoluwapo O, A., & Olugbenga O, A. (2019). Investigating profitability performance of construction projects using

- big data: A project analytics approach. *Journal of Building Engineering*, 26(100850).
Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100850>.
- Chaturvedi, I., Cambria, E., & Welsch, R. (2023). Enseñanza de simulaciones respaldadas por inteligencia artificial en el mundo real. *Educativo. Ciencia*, 13, 187. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/educsci13020187>
- Congreso de la Republica de Colombia. (1994).
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4631>. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4631>:
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4631>
- Contreras Socarrás, J. M., Gómez, A., Misle Rodríguez, R., & Garzón Burgos, Y. (2018). Integración entre Building Information Modeling y Project Management Institute como propuesta metodológica para la gestión de proyectos. *revista Ingeniería*, 22(3), 1-16.
- Cruz Silva, J., & Gordillo Pérez, S. (2022). Inteligencia artificial en el campo laboral: conflicto de rol y bienestar. *Redmarka. Revista de Marketing Aplicado*, 26(1), 52-61. Obtenido de <https://doi.org/1017979/redma.2022.26.1.9041>
- Cui, Y., Chen, H., & Xu, J. (2024). Intelligent BIM-Based system for real-time monitoring and resource optimization in construction projects. *Automation in Construction*, 162, 105087. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2>
- Darko A., C. A. (2020). Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081>
- Ding C., H. X. (2023). Optimization and Application of Artificial Intelligence in Robotic Automated Distribution Network Overhead Line Engineering.
- Ding, C., Huang, X., & Lin, Y. (2023). Optimización y aplicación de inteligencia artificial en ingeniería de líneas aéreas de redes de distribución automatizadas robóticas.
- Elkhatib, M., Raed Abu, A., Khadeej, A., Alnaqbi, W., Alharmoodi, S., & Baydoun, A. (2023). Effect of Big Data and Analytics on Managing Projects. *International Journal of Computers and their Applications*, 30(2), PP. 173-182. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/371857672_Effect_of_Big_Data_and_Analytics_on_Managing_Projects
- Fridgeirsson, T. H. (2023). A Qualitative Study on Artificial Intelligence and Its Impact on the Project Schedule, Cost and Risk Management Knowledge Areas as Presented in PMBOK. *Applied Sciences (Switzerland)*(art. no. 11081), 13(19). Obtenido de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85174151263&doi=10.3390%2fapp131911081&partnerID=40&md5=063803654c941b49296ff2c6b84bed8d>

- Herrera, R. C., & Conde, A. (2023). Enhancement of LSTM models based on data preprocessing and optimization of Bayesian hyperparameters for day-ahead photovoltaic generation prediction. *Computers & Electrical Engineering*, 116, Article 109162. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109162>
- IEEE, I. . (2020 - 2021). https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electrical_regulations_and_standards. Obtenido de https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electrical_regulations_and_standards: https://www.electrical-installation.org/enwiki/Electrical_regulations_and_standards
- Jagatheesaperumal, S. R.-F. (2021). The Duo of Artificial Intelligence and Big Data for Industry 4.0: Review of Applications, Techniques, Challenges, and Future Research Directions.
- Jaimes-Quintanilla, M., & Zabala-Vargas, S. (2024). Inteligencia artificial en la gestión de proyectos: Caso construcción y obra civil. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-21. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1615>
- Jaimes-Quintanilla, M., & Zabala-Vargas, S. (2025). Apropiación de tecnologías emergentes en el sector de obra civil: Un análisis cualitativo. En *Ciencia Transdisciplinar en la Nueva Era Edición 4 (4.a ed.)*. Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. 10.5281/zenodo.17831487
- Kinelski, G. (2020). The Main Factors of Successful Project Management in the Aspect of Energy Enterprises' Efficiency in the Digital Economy Environment.
- Kivilâ, J., Martinsuo, M., & Vuorinen, L. (2017). project management through project control in infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1167-1183.
- Li X., Z. S. (2024). Management mode and path of digital transformation of power grid enterprises based on artificial intelligence algorithm.
- Mancini, M. M. (2023). Nuclear decommissioning risk management adopting a comprehensive artificial intelligence framework: An applied case in an Italian site.
- Marcos-Pablos, S., & García-Peñalvo, F. (2020). Digital transformation in higher education: Frameworks, tools, and approaches. *Education in the Knowledge Society*, 21(12), 1-8. Obtenido de <https://doi.org/10.14201/eks.23513>
- Mendoza JG, Q. M. (2022). Una revisión sobre el rol de la inteligencia artificial en la industria de la construcción. Obtenido de <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i2.11727>
- Mier-Goyes, M. L., González-Salazar, A. M., & Pinzón-Ubaque, A. G. (2024). *Vigilancia 2.0: Intervención estratégica para superar desafíos en la formación en seguridad privada*. Bogotá: Universidad EAN.
- Nambisan, S., Lyytinen, K., Majchrzak, A., & Song, M. (2021). Digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy*, 50(1), 104-125. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104137>
- Pan Y., Z. L. (2023). Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions.

- Sacks R., B. I. (2020). Construction with digital twin information systems. Obtenido de <https://doi.org/10.1017/dce.2020.16>
- Silvius, A., & Schipper, R. (2020). Exploring the relationship between sustainability and project success – Conceptual model and expected relationships. *Sustainability*, 12(16), 6417. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/su12166417>
- Taboada I., D. A. (2023). Artificial Intelligence Enabled Project Management: A Systematic Literature Review. Obtenido de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85156106908&doi=10.3390%2fapp13085014&partnerID=40&md5=5356cc0af1774ef50a9defa4b057500e>
- UNESCO. (2021). <https://www.unesco.org/es/artificial-intelligence/recommendation-ethics>. Obtenido de <https://www.unesco.org/es/artificial-intelligence/recommendation-ethics>: <https://www.unesco.org/es/artificial-intelligence/recommendation-ethics>
- UPME. (2018). www1.upme.gov.co. Obtenido de www1.upme.gov.co): chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www1.upme.gov.co/Normatividad/279_2018.pdf
- Wei, C., Ying, C., & Bo, X. (2024). Application research of intelligent system based on BIM and sensors monitoring technology in construction management.
- Zabala-Vargas, S., & Jaimes-Quintanilla, M. (2025). Tecnologías 4.0 (IOT y ciencia de datos) orientada a optimizar la gestión de proyectos de construcción. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-21. <https://epsir.net/index.php/epsir/article/view/1621>
- Zabala-Vargas, S., Jaimes-Quintanilla, M., & Jimenez-Barrera, M. H. (2023). Big Data, Data Science, and Artificial Intelligence for Project Management in the Architecture, Engineering, and Construction Industry: A Systematic Review. *Buildings*, 13(12), 2944. <https://doi.org/10.3390/buildings13122944>
- Zabala-Vargas, S., Jiménez-Barrera, M., Vargas-Sanchez, L., & Jaimes-Quintanilla, M. (2023). Big data in construction project management: The Colombian northeast case. *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems*, 1, 1, 3476-3483. <https://doi.org/0.1201/9781003323020>
- Zabala-Vargas, S., Martínez-Ortega, J., & Jaimes-Quintanilla, M. (2025). Administración de proyectos apoyada en tecnologías emergentes (inteligencia artificial y ciencia de datos) en el sector de obra civil. VII International conference on applied engineering and innovative technologies-AENIT, Perú. <https://easychair.org/cfp/AENIT2025>

Anexos

Anexo 1 – Encuesta de madurez

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

Objetivo:

Conocer el nivel de apropiación de tecnologías emergentes (Inteligencia Artificial, Ciencia de Datos e Internet de las cosas-IoT) en la gestión de proyectos de las organizaciones en Colombia

Autor:

Equipo de investigación de la Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO

Declaración inicial:

La presente encuesta hace parte del Proyecto de investigación: INTELIGENCIA ARTIFICIAL, BIG-DATA Y CIENCIA DE DATOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS EN COLOMBIA.; de la Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Este instrumento tiene una intención estrictamente académica e investigativa; y busca reconocer el uso, conocimiento e interés de apropiación de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Ciencia de Datos) en la gestión de proyectos que tiene su organización.

Toda la información será tratada con altos estándares de confidencialidad, de forma anónima (presentación de datos generalizados) y cumpliendo la legislación vigente en Colombia.

Definiciones importantes

- **Transformación digital:** Es el proceso de integrar tecnologías digitales en todos los aspectos de una organización para mejorar la eficiencia, la innovación y la experiencia del cliente, y para adaptarse a un mundo cada vez más conectado y digital

- **Tecnologías habilitadoras de la transformación digital:** Son herramientas y soluciones tecnológicas claves, como la ciencia de datos, la inteligencia artificial y el big data, que permiten a las organizaciones modernizar procesos, mejorar la eficiencia y crear nuevas oportunidades de negocio en la era digital.

- **Industria 4.0:** Revolución que se caracteriza por la integración de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial, IoT, análisis de datos, robótica, entre otros; en los procesos de fabricación y/o generación de servicios para lograr mayor eficiencia, flexibilidad y personalización.

Gracias por su interés de participación.

* 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

2. Nombre o razón social de la organización. *

3. NIT o identificación equivalente. *

El valor debe ser un número.

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.
- Otras

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)

Parte 1 de 5: MODELO DE NEGOCIO Y PRODUCTO - Nivel estratégico

Mediante las siguientes preguntas se identificará el nivel de transformación digital de su modelo de negocio y la implementación de la misma en sus productos.

Nota: Al hablar de producto se hace referencia a tangibles o intangibles y al hablar de producción es el proceso de creación de cada uno de ellos.

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.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuenta con indicadores para medir nivel de transformación digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Reconoce importancia que tiene el uso y análisis de información.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

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 últimos años? *

	Nula inversión	Pequeña inversión	Mediana inversión	Gran inversión
Investigación y desarrollo.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Producción de productos o servicios.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Procesos administrativos internos (Contabilidad, talento humano).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Logística de recepción y distribución.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comercial y ventas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistemas de información (herramientas software).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

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.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Producción de productos o servicios.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Procesos administrativos internos (Contabilidad, talento humano).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Logística de recepción y distribución.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comercial y ventas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistemas de información (herramientas software).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Parte 2 de 5: CLIENTES Y PROVEEDORES

Mediante las siguientes preguntas se identificará el nivel de apropiación de las tecnologías habilitadoras de la transformación digital en su relación con clientes y proveedores.

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

	No se realiza	En algunos casos	En la mayoría de los casos	Se realiza permanentemente
Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de proveedores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de clientes.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Analiza información de sus clientes para generar o mejorar productos o servicios.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus clientes.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus proveedores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cuenta con la planificación y				

dirección de la
cadena de
suministros
desde los
clientes hasta
los
proveedores.

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



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.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Digitalización de trabajo con proveedores.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Intercambio de información digitalmente con socios, proveedores y clientes.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Uso de múltiples canales de venta integrados para comercializar sus productos a sus clientes.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sistema de precios dinámico y adaptado al cliente.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Analiza los datos de los clientes para aumentar su conocimiento (situación personal, preferencias, ubicación, puntuación crediticia).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Diseña soluciones considerando	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

los datos de los
clientes.

Parte 3 de 5: PROCESOS - Nivel táctico y operativo

Mediante las siguientes preguntas se identificará el nivel de apropiación de las tecnologías habilitadoras de la transformación digital en su proceso principal.

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 volúmenes 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
- Otras

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.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comunicación entre máquinas / sistemas - M2M	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Capacidad de integrarse y colaborar con otras máquinas / sistemas - INTEROPERABILIDAD	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

18. Su empresa realiza: *

- PRODUCCIÓN DE BIENES O PRODUCTOS
- PRESTACIÓN DE SERVICIOS

ORGANIZACIÓN DEDICADA A LA PRODUCCIÓN DE BIENES O PRODUCTOS

19. Identifique el nivel de cumplimiento de las siguientes afirmación en su proceso de producción de bienes o productos.

	NULO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
Tiene una visión en tiempo real de su producción	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Su producción es lo suficientemente flexible para reaccionar a cambio en la demanda	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Registra datos de maquinas o equipos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Registra datos de sus procesos de producción	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aprovecha los datos para tomar decisiones en el proceso de producción	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Integración de tecnologías digitales en el proceso de producción	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Usa herramientas digitales para mejorar la eficiencia en la producción	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Digitalización de la gestión de	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

inventarios y
recursos

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



ORGANIZACIÓN DEDICADA A LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS

20. Identifique el nivel de cumplimiento de las siguientes afirmación 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	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Uso de herramientas digitales para mejorar la eficiencia en la prestación de servicios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Registran datos o información del proceso de prestación de servicios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aprovecha los datos y análisis digitales para tomar decisiones en la prestación de servicios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nivel de adopción de tecnologías de automatización en la entrega de servicios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Digitalización de la gestión de datos y registros en nuestra empresa de servicios	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Parte 4 de 5: INFRAESTRUCTURA Y SEGURIDAD

Mediante las siguientes preguntas se identificará el nivel de apropiación de las tecnologías habilitadoras de la transformación digital en su Infraestructura y gestión de la seguridad.

21. La siguiente área, para comunicarse con otras áreas de la organización, utiliza sistemas de información:

*

	Si	Parcialmente	No	El área no existe
Investigación y desarrollo.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Producción de productos o servicios.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Procesos administrativos internos (contabilidad, talento humano, etc).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Logística, recepción y distribución.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comercial y ventas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

22. La siguiente área, para comunicarse con clientes y proveedores, utiliza sistemas de información:

*

	Si	Parcialmente	No	El área no existe
Investigación y desarrollo.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Producción de productos o servicios.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Procesos administrativos internos (contabilidad, talento humano, etc).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Logística, recepción y distribución.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Comercial y ventas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

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

	SI	No, pero lo planeamos	NO
Software desde la nube	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Para almacenamiento de datos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Para evaluación de datos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

24. ¿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.

25. 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	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Equipos o maquinas conectadas a servidores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

26. 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.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realiza evaluaciones y auditorías de seguridad de la información en su organización como parte de la estrategia de transformación digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Promueve la conciencia y la capacitación en seguridad de la información entre los empleados de acuerdo a la transformación digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Las medidas de respuesta ante incidentes de seguridad de la información en su organización son efectivas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Parte 5 de 5: ESTRATEGIA Y EXPERIENCIA EN INDUSTRIA 4.0

Mediante las siguientes preguntas se identificará el nivel de conocimiento, adecuación y proyección de uso de las tecnologías habilitadoras de la industria 4.0.

27. ¿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.

28. ¿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.

29. ¿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.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tecnología de automatización.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Análisis de datos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Seguridad de los datos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Seguridad de las comunicaciones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Software de colaboración.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Desarrollo o aplicación de sistemas de asistencia.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Habilidades no técnicas, como el pensamiento sistémico y la comprensión de procesos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

30. ¿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.

31. ¿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.

32. ¿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

Encuesta nivel de madurez tecnológica (apropiación) en la gestión de proyectos 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.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fabricación aditiva.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Internet de las cosas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Big data y análisis de datos.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Realidad virtual y aumentada.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Plataformas y comunicaciones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tecnologías en la nube (Cloud).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ciberseguridad.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Marketing digital.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Formación y personas.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Robótica y automatización.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Anexo 2 – Matriz Documental

La siguiente matriz documental corresponde al entregable principal del instrumento de revisión documental, empleado en la fase 1 del procedimiento metodológico. En ella se sistematizan las fuentes revisadas, incluyendo autor, año, título, tipo de documento, país o región, objetivo o enfoque principal, hallazgos relevantes y su relación con la presente investigación sobre la aplicación de la inteligencia artificial en la gestión de recursos en proyectos de transmisión eléctrica de alta tensión en Colombia.

Autor(es) y año	Título del documento	Tipo de documento	País/Región	Objetivo/Enfoque	Hallazgos relevantes	Relación con la investigación
Herrera Casanova et al., 2022	Deep learning models for solar energy generation prediction	Artículo científico	Colombia	Aplicar modelos de aprendizaje profundo para predecir generación energética.	Los modelos de IA mejoran la precisión en la predicción energética y permiten anticipar necesidades.	Evidencia la utilidad de la IA en la predicción, extrapolable a la gestión de recursos en transmisión eléctrica.
Li & Zhang, 2023	Digital transformation in energy enterprises through AI algorithms	Artículo científico	China	Analizar el impacto de algoritmos de IA en la transformación digital del sector energético.	La digitalización mediante IA aumenta la eficiencia y productividad.	Sustenta la propuesta de aplicar IA en la planificación de recursos.
Cui, Chen & Xu, 2024	Real-time monitoring in construction projects using BIM and AI	Artículo científico	China	Explorar la integración de BIM, IA y gemelos digitales en proyectos de construcción.	La integración BIM + IA + gemelos digitales mejora eficiencia y sostenibilidad.	Justifica la adopción de gemelos digitales en proyectos de transmisión.
Fridgeirsson et al., 2023	Artificial intelligence and project risk management	Artículo científico	Internacional	Analizar el papel de la IA en la gestión de riesgos en proyectos.	La IA es clave en la predicción de desviaciones y riesgos tempranos.	Sustenta la propuesta de sistemas inteligentes de apoyo a decisiones.
Silvius & Schipper, 2020	Exploring the relationship between sustainability and project success	Artículo científico	Internacional	Explorar la relación entre sostenibilidad y éxito en proyectos.	La sostenibilidad mejora aceptación social y rendimiento económico.	Vincula la IA y la digitalización con metas de sostenibilidad en transmisión eléctrica.
Kivilä, Martinsuo & Vuorinen, 2017	Sustainable project management through project control in infrastructure projects	Artículo científico	Finlandia	Examinar cómo el control de proyectos apoya la sostenibilidad en infraestructura.	Las prácticas sostenibles fortalecen la gestión y los resultados de proyectos.	Relaciona sostenibilidad y eficiencia en proyectos eléctricos de gran escala.
Marcos-Pablos & García-Peñalvo, 2020	Digital transformation in higher education: Frameworks,	Artículo científico	España	Presentar marcos y herramientas para la transformación digital.	La digitalización facilita coordinación	Conecta la transformación digital con la gestión eficiente de

Autor(es) y año	Título del documento	Tipo de documento	País/Región	Objetivo/Enfoque	Hallazgos relevantes	Relación con la investigación
	tools, and approaches				y eficiencia en procesos.	recursos en proyectos eléctricos.
Nambisan et al., 2021	Digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes	Artículo científico	Internacional	Analizar la transformación digital en innovación y emprendimiento.	La digitalización impulsa cambios estructurales en la gestión de proyectos.	Refuerza la importancia de la transformación digital en proyectos de transmisión eléctrica.