

PROPUESTA DE ESTRATEGIAS INTELIGENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
TECNOLOGÍAS DE IA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN  
COLOMBIA



Propuesta de Estrategias Inteligentes para la Implementación de Tecnologías de IA en la  
Generación de Energía Renovable en Colombia

Yorleidys Negrete Villadiego

Maria Angelica Quintero Julio

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2024

PROPUESTA DE ESTRATEGIAS INTELIGENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
TECNOLOGÍAS DE IA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN  
COLOMBIA

Propuesta de Estrategias Inteligentes para la Implementación de Tecnologías de IA en la  
Generación de Energía Renovable en Colombia

Yorleidys Negrete Villadiego

Maria Angelica Quintero Julio

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

Asesor

Sergio Andrés Zabala Vargas  
Ingeniero Electrónico  
Especialista y Magister en Administración de Proyectos

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

octubre de 2024

PROPUESTA DE ESTRATEGIAS INTELIGENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
TECNOLOGÍAS DE IA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN  
COLOMBIA  
**Contenido**

Lista de tablas .....	6
Lista de figuras.....	7
Resumen.....	8
Abstract .....	10
Introducción .....	11
1. Planteamiento del Problema .....	12
1.1 Descripción del problema.....	12
1.2 La pregunta de Investigación .....	14
1.3 Los objetivos de investigación .....	15
1.1.1. Objetivo general.....	15
1.1.2. Objetivos específicos .....	15
1.4 Justificación de la investigación.....	15
2. Marco de Referencia.....	18
2.1 Marco de Antecedentes .....	18
2.2 Marco Teórico .....	22
2.3 Marco Normativo .....	25
3. Metodología.....	28

PROPUESTA DE ESTRATEGIAS INTELIGENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
TECNOLOGÍAS DE IA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN  
COLOMBIA

3.1	Enfoque y alcance de la investigación .....	28
3.2	Población y muestra .....	29
3.1.1.	Definición de la población .....	29
3.1.2.	Cálculo y selección de la muestra.....	29
3.3	Instrumento(s) .....	30
3.4	Descripción de procedimientos .....	31
3.5	Análisis de información .....	32
3.1.3.	Procesamiento y Análisis de la Información .....	32
3.6	Consideraciones éticas .....	33
3.1.4.	Análisis de consideraciones éticas .....	34
3.1.5.	Instrumentos de aceptación y autorización .....	35
4.	Hipótesis .....	36
4.1	Las variables.....	37
4.1.1.	Variable(s) independiente(s).....	37
4.1.2.	Variable(s) dependiente(s) .....	38
4.1.3.	Relación entre las variables: .....	39
5.	Resultados.....	40
5.1.	Presentación de Resultados .....	40
5.2.	Propuestas al Sector .....	49

PROPUESTA DE ESTRATEGIAS INTELIGENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
TECNOLOGÍAS DE IA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN  
COLOMBIA

5.2.1. Estrategias para la Implementación de Tecnologías de Inteligencia Artificial en Empresas de Energía Renovable .....	49
5.3. Discusión.....	53
6. Conclusiones.....	54
6.1. Contraste de resultados con los objetivos planteados .....	54
6.1.1. Cumplimiento del objetivo general.....	55
6.1.2. Cumplimiento de los objetivos específicos.....	55
6.2. Respuesta a la pregunta de investigación.....	56
6.3. Validación de la hipótesis .....	57
6.4. Impacto en el campo de estudio .....	57
6.5. Propuestas para futuras investigaciones.....	58
6.6. Conclusión final .....	59
7. Referencias .....	60

PROPUESTA DE ESTRATEGIAS INTELIGENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
TECNOLOGÍAS DE IA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN  
COLOMBIA

**Lista de tablas**

Tabla 1 Marco normativo.....	25
Tabla 2 Afirmación del nivel que mejor representa la organización .....	40
Tabla 3 Grado que mejor representa a la organización.....	42
Tabla 4 Nivel de cumplimiento de estos criterios en la organización .....	44
Tabla 5 Nivel de importancia tiene la organización relacionada con los habilitadores de Industria 4.0.....	46

PROPUESTA DE ESTRATEGIAS INTELIGENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE  
TECNOLOGÍAS DE IA EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN  
COLOMBIA

**Lista de figuras**

Figura 1 Autorización tratamiento de datos. Google Forms, 2024..... 36

## Resumen

El presente estudio tiene como objetivo desarrollar estrategias para implementar tecnologías de inteligencia artificial (IA) en la gestión de proyectos de generación de energía renovable en Colombia. El problema principal que aborda es la necesidad de optimizar la predicción de la disponibilidad de recursos naturales, mejorar la eficiencia operativa de las plantas y reducir los costos asociados a las barreras técnicas y financieras del sector energético.

La investigación se llevó a cabo mediante un enfoque cuantitativo, aplicando encuestas a empresas del sector energético para evaluar su nivel de adopción de IA. El análisis se centró en identificar cómo estas tecnologías pueden superar las limitaciones de intermitencia en la generación de energía y mejorar la integración de fuentes renovables, como la energía solar y eólica, en el sistema eléctrico colombiano.

Entre los principales resultados, se encontró que la adopción de IA está en etapas tempranas, pero las empresas reconocen su potencial. Las tecnologías emergentes, como el machine learning y el deep learning, muestran grandes beneficios para predecir y gestionar la generación de energía renovable, mejorando tanto la precisión como la eficiencia. Sin embargo, aún existen desafíos relacionados con la inversión en infraestructura tecnológica y la capacitación del personal.

En conclusión, el estudio propone un conjunto de estrategias que incluyen la modernización tecnológica, la formación especializada y la colaboración con instituciones expertas para acelerar la implementación de IA en el sector energético de Colombia. Estas estrategias no solo

permitirán aumentar la eficiencia operativa, sino también contribuir a la diversificación de la matriz energética y la reducción de las barreras actuales.

**Palabras clave:** Energía renovable, Inteligencia artificial, Gestión de proyectos, Optimización de costos, Predicción de recursos, Colombia.

### Abstract

The present study aims to **develop strategies for implementing artificial intelligence (AI) technologies in the management of renewable energy generation projects in Colombia**. The main problem addressed is the need to optimize the prediction of natural resource availability, improve the operational efficiency of power plants, and reduce costs associated with technical and financial barriers in the energy sector.

The research was conducted using a quantitative approach, applying surveys to companies in the energy sector to assess their level of AI adoption. The analysis focused on identifying how these technologies can overcome the intermittency limitations in energy generation and improve the integration of renewable sources, such as solar and wind energy, into the Colombian electrical grid.

Among the main findings, it was discovered that AI adoption is still in its early stages, but companies recognize its potential. Emerging technologies such as machine learning and deep learning show great benefits in predicting and managing renewable energy generation, improving both accuracy and efficiency. However, challenges remain concerning investment in technological infrastructure and staff training.

In conclusion, the study proposes a set of strategies that include technological modernization, specialized training, and collaboration with expert institutions to accelerate AI implementation in Colombia's energy sector. These strategies will not only increase operational efficiency but also contribute to the diversification of the energy matrix and the reduction of current barriers.

**Keywords:** Renewable energy, Artificial intelligence, Project management, Cost optimization, Resource prediction, Colombia.

## Introducción

El acceso a las energías renovables representa un valor central para la sostenibilidad ambiental, que en el largo plazo preserva la vida humana, facilita la obtención de sociedades más inclusivas y equitativas en un horizonte de tiempo mucho más cercano. (Pelfini, Fulget, & Beling, 2012). Las energías renovables (ER) han tenido un progreso considerable en las últimas décadas, llegando a tener una participación significativa en el mercado energético mundial, complementando a los combustibles fósiles y con posibilidades de convertirse en el principal recurso primario de energía en el mediano plazo. Tales fuentes son muy poco contaminantes, sostenibles y distribuidas, y su aprovechamiento implica también beneficios sociales y económicos al contribuir a elevar la calidad de vida y la economía local a través de la generación de empleo. (Posso, Acevedo, Hernandez, & J, 2014).

A medida que el ser humano evoluciona en conocimiento también nace la idea de tener una ayuda que complemente o ajuste la idea de garantizar procesos automatizando cada uno de ellos, una de las alternativas creadas con este fin es la Inteligencia Artificial como una capacidad cognoscitiva e intelectual expresada por sistemas informáticos en la solución de problemas y tomas de decisiones que emergen en el día a día (Russell & Norvig, 2016).

Este documento se estructura en seis capítulos. El Capítulo 1, 'Planteamiento del problema', aborda la descripción de los desafíos en la integración de tecnologías de IA en el sector de energías renovables en Colombia. El Capítulo 2, 'Marco de referencia', revisa la literatura y los marcos teóricos y normativos que respaldan esta investigación. En el Capítulo 3, 'Metodología', se describe el enfoque cuantitativo y el proceso de recolección y análisis de datos. El Capítulo 4, 'Hipótesis', define las variables y relaciones clave entre IA y eficiencia operativa

en energías renovables. El Capítulo 5, 'Resultados', presenta los hallazgos principales y las estrategias propuestas. Finalmente, el Capítulo 6, 'Conclusiones', discute los resultados y su impacto en el campo de estudio, sugiriendo líneas para futuras investigaciones. Este proyecto busca aprovechar la capacidad de estas herramientas en la mejora de los sistemas utilizados como algoritmos y predicciones en los análisis de estrategias inteligentes en la gestión de sistemas de energía renovable desarrollando soluciones innovadoras para mejorar la eficiencia y la rentabilidad de las instalaciones de generación de energía limpia.

## **1. Planteamiento del Problema**

### **1.1 Descripción del problema**

Una mayor preocupación social sobre el cambio climático y el futuro del planeta junto a mejoras de rendimiento en la obtención de energías renovables han hecho del mismo un sector en auge durante la última década. Sin embargo, la predictibilidad de estas es un gran problema ya que, al contrario que una planta térmica, la disponibilidad de la energía solar y eólica no es continua, ya que poseen una naturaleza altamente variable. Por tanto, hacer una estimación previa de las energías renovables generadas cada día es de gran importancia para la integración de estas en el sistema eléctrico. (Ramírez, 2021)

Las oportunidades que se tienen radican en la disponibilidad de los recursos naturales, y sus barreras son de carácter técnico, financiero y político. En primer lugar, las barreras técnicas se presentan en la intermitencia y disponibilidad en su captación, la distancia entre producción y consumo, y las dificultades de su almacenamiento (Posso & Sánchez, 2014).

Las barreras financieras se dan en los recursos destinados para los proyectos de generación, ya que los costos son altos debido a las tecnologías que deben adoptarse y los recursos financieros son limitados para la innovación; las barreras políticas se presentan en los marcos legales y regulatorios para incentivar las inversiones en energías renovables (CEPAL, 2013)

Colombia es un país rico hidrográficamente por esta razón el recurso principal para la generación de energía que en 2014 alcanzó una producción de 44.734,11 GWh, seguido por energía térmica con un total de 19.043,64 GWh; y otros cogeneradores y generadores menores con un total de 549,89 GWh (XM, 2016). A causa de la alta dependencia del sistema eléctrico al recurso hídrico, el país enfrenta dificultades ante periodos de sequía caracterizados por el fenómeno del Niño, lo que representa un riesgo para el sistema, ya que la demanda se traslada a las centrales térmicas, las cuales operan al máximo de su capacidad. (Córtes & Arango, 2017)

De acuerdo con los datos del Ministerio de Minas y Energía, a julio de este año el índice de cobertura de energía eléctrica (Icee) era 97,17% de los hogares del país tenían conexión eléctrica, un avance de 63 puntos básicos frente a la cifra de 2018 que había sido de 96,54%. Sin embargo, los datos reflejan que hay en total 404.231 el número de viviendas aún sin servicio, con una notable diferencia entre los datos de las cabeceras y las demás zonas. Por ejemplo, 99,5% de los hogares en cabeceras municipales están conectadas al servicio, mientras que en las demás zonas esta cifra llega a 87,1%.

Si bien el número de personas recibiendo energía en sus hogares es alto, hay algunas zonas específicas en las que el porcentaje es bajo. Son seis los departamentos cuyo Icee es menor a 90%. Son Vichada, La Guajira, Amazonas, Guainía, Putumayo y Chocó. (Morales, 2022)

Consecuentemente, el sistema eléctrico colombiano es muy sensible a cambios climáticos y requiere diversificar su matriz energética colocando a la energía renovable como uno de los desafíos globales fundamentales para enfrentar al cambio climático y sostenibilidad ambiental, además de ser una alternativa razonable en la generación de energía en lugares donde el suministro de ésta es poco o nulo. Existe zonas donde la implementación de estrategias sistematizadas como turbinas en fuentes hídrica, paneles solares para plantas fotovoltaicas entre otras suenan tentativas, sin embargo, también existe la necesidad de evaluar estadísticamente la viabilidad, eficiencia y eficacia de estas alternativas son óptimas para enfrentar la problemática (Cortés & Arango, 2017).

Como se mencionó anteriormente las tecnologías de inteligencia artificial están siendo de gran ayuda en diferentes procesos de las problemáticas actuales, por esta razón se genera la siguiente pregunta, ¿Cómo la inteligencia artificial puede mejorar la dinámica de la gestión de proyectos asociados a la generación de energía renovable y optimizar su eficiencia?

## **1.2 La pregunta de Investigación**

¿Cómo puede la inteligencia artificial mejorar la gestión y optimización de los proyectos de generación de energía renovable en Colombia, contribuyendo a superar las barreras técnicas, financieras y regulatorias para su integración en el sistema eléctrico?

### **1.3 Los objetivos de investigación**

#### ***1.1.1. Objetivo general***

Generar una propuesta de estrategias para la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión de proyectos de generación de energía renovable en Colombia.

#### ***1.1.2. Objetivos específicos***

- Diagnosticar el estado de la generación de energía renovable en Colombia
- Determinar el nivel de implementación de tecnologías IA para la predicción de la disponibilidad de recursos naturales, la optimización de la operación de plantas de energía y la gestión inteligente de la red eléctrica.
- Proponer estrategias para la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión de proyectos de energía renovable, enfocadas en la optimización de operaciones y la predicción de recursos.

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

El desarrollo de proyectos de generación de energía renovable impulsados por tecnologías de inteligencia artificial representa una oportunidad estratégica para Colombia, un país con un gran potencial en recursos naturales y una creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental y la diversificación de su matriz energética. La implementación de estas tecnologías puede contribuir significativamente a superar las barreras técnicas, financieras y políticas que actualmente limitan el avance de las energías renovables en el país (CEPAL, 2013).

La utilización de inteligencia artificial en la gestión de proyectos de energías renovables ofrece diversas ventajas, como la optimización de la predicción de la disponibilidad de recursos naturales, la mejora en la eficiencia operativa de las plantas de energía y la gestión inteligente de la red eléctrica. Estas aplicaciones pueden aumentar la rentabilidad y la viabilidad económica de los proyectos, al tiempo que contribuyen a reducir su impacto ambiental y a mejorar la integración de las energías renovables en el sistema eléctrico nacional (Ramirez, 2021).

La implementación de proyectos de generación de energía renovable impulsados por inteligencia artificial también aborda una necesidad urgente en las comunidades rurales y apartadas de Colombia que actualmente carecen de acceso confiable a la electricidad. Estas comunidades enfrentan desafíos significativos en términos de desarrollo socioeconómico y calidad de vida debido a la falta de acceso a servicios básicos de energía. La integración de tecnologías renovables y la gestión inteligente de la energía pueden proporcionar soluciones sostenibles y asequibles para satisfacer las necesidades energéticas de estas comunidades, contribuyendo así a cerrar la brecha de acceso a la electricidad y promoviendo la inclusión social y el desarrollo local.

Además, la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en proyectos de energías renovables puede impulsar la innovación y el desarrollo tecnológico en el sector energético colombiano, generando oportunidades de empleo cualificado y promoviendo la competitividad y la sostenibilidad a largo plazo.

La adopción de energías renovables y tecnologías de inteligencia artificial en estas comunidades puede empoderarlas al brindarles mayor autonomía energética y resiliencia ante eventos climáticos extremos o interrupciones en el suministro eléctrico. Al descentralizar la

producción de energía y fomentar la generación distribuida, se fortalece la seguridad energética y se reduce la vulnerabilidad de las comunidades a los impactos del cambio climático y a las fluctuaciones en los precios de los combustibles fósiles (Posso & Sánchez, 2014)

En conjunto, estas iniciativas pueden transformar positivamente la calidad de vida de las comunidades más marginadas de Colombia, promoviendo la equidad, el desarrollo sostenible y la inclusión social a nivel nacional. este proyecto se justifica como una respuesta estratégica a los desafíos y oportunidades que enfrenta el país en el ámbito de la generación de energía renovable, con el objetivo de promover el desarrollo económico, social y ambiental a través de la aplicación de tecnologías de inteligencia artificial.

## 2. Marco de Referencia

### 2.1 Marco de Antecedentes

En el 2018 (Nguyen & Lee, 2018) exploran modelos de IA, en particular redes neuronales, para mejorar la predicción de generación de energía solar. Los investigadores demuestran que el uso de IA mejora la precisión en comparación con los métodos tradicionales. Esta predicción precisa de energía solar basada en IA puede facilitar la integración de esta fuente renovable en redes eléctricas.

(Bansal, Sharma, & Singh, 2018) en este estudio examinan las técnicas de IA utilizadas para la optimización de sistemas fotovoltaicos (PV). Se aplican algoritmos genéticos y redes neuronales artificiales para ajustar dinámicamente los parámetros del sistema solar, mejorando su eficiencia y rendimiento. Los sistemas fotovoltaicos pueden beneficiarse significativamente de las técnicas de IA para mejorar la generación y reducir los costos operativos.

En el (Ding & Zhang, 2018) también se propone un enfoque híbrido que combina redes neuronales artificiales y algoritmos de optimización para predecir el consumo de energía en microredes. El modelo reduce el error en las predicciones y optimiza la distribución de energía en sistemas descentralizados. Donde las microredes pueden lograr una gestión más eficiente del consumo energético mediante enfoques híbridos de IA.

Dentro de la propuesta generada por (Kumar & Prakash, 2018) se presenta una investigación sobre la aplicación de redes neuronales artificiales para optimizar la eficiencia de los sistemas de energía eólica. El estudio utiliza datos meteorológicos históricos para ajustar los parámetros de los generadores eólicos y maximizar la generación de energía.

(Sharma & Gupta, 2019) explora la optimización de sistemas híbridos de energía renovable (solar y eólica) mediante algoritmos de IA. Los investigadores desarrollaron un modelo que ajusta dinámicamente la generación y el almacenamiento de energía, maximizando la eficiencia en diferentes condiciones climáticas. Es decir, los sistemas híbridos de energías renovables pueden lograr un uso más eficiente y sostenible de las fuentes de energía mediante la IA.

(Guo, Zhang, & Lu, 2019) en su trabajo presenta una revisión exhaustiva sobre la aplicación de técnicas de IA para la predicción de energía renovable. Se destacan enfoques basados en machine learning, como redes neuronales, que se han empleado para predecir la generación de energía solar y eólica. Se enfatiza cómo la IA mejora la precisión y reduce la incertidumbre en la predicción de generación intermitente de energía renovable.

Según lo planteado por (Mohammadi, Hosseinian, & Gharehpetian, 2019) este trabajo examina el uso de IA para la gestión eficiente de las redes inteligentes (smart grids). Se exploran técnicas de IA para la integración de fuentes renovables, la gestión de la demanda, y la mejora de la estabilidad de la red. La IA permite una mayor capacidad para la toma de decisiones autónoma en tiempo real.

(Santos & Oliveira, 2019) examina el uso de algoritmos de machine learning, como el algoritmo de regresión y los árboles de decisión, para predecir la generación de energía eólica y solar. El modelo desarrollado mejora la precisión y permite a los operadores planificar mejor la distribución energética.

Dentro del artículo *Deep learning applications in renewable energy systems* (Chen, Zhang, & Li, 2020) analiza las aplicaciones de deep learning en la optimización de sistemas de energía renovable. Se evalúan modelos de redes neuronales profundas que mejoran la eficiencia

operativa de las plantas solares y eólicas. Además, se explora el uso de deep learning en la optimización de sistemas de almacenamiento de energía para equilibrar la generación y el consumo.

(Patel & Shah, 2020) en su estudio desarrolla un sistema de gestión energética para hogares inteligentes basado en IA. El sistema optimiza el consumo energético, utilizando fuentes renovables como la energía solar y baterías de almacenamiento. Se aplica machine learning para predecir la demanda y ajustar el uso de energía en tiempo real.

La IA puede ayudar a superar los desafíos técnicos de la integración de renovables, mejorando la estabilidad y eficiencia del sistema eléctrico. Así lo presenta (Wang & Zhang, 2020) este artículo explora cómo la IA puede facilitar la integración de energías renovables en redes eléctricas tradicionales, mejorando la previsión de generación y la gestión de la demanda. Se utilizan algoritmos de aprendizaje automático para ajustar la producción de energía según las fluctuaciones de la demanda.

Machine learning ha demostrado ser una herramienta eficaz para la predicción de la generación de energías renovables, mejorando la planificación y la gestión del suministro eléctrico. Por esta razón (Du & Hu, 2021) profundiza en las aplicaciones de machine learning en la predicción de generación de energía, centrándose en energías renovables. Se discuten los modelos predictivos, como árboles de decisión y redes neuronales, para mejorar la precisión de la predicción en sistemas solares y eólicos.

(Fernández & Castro, 2021) abordaron la integración de fuentes de energía renovable en las redes eléctricas mediante sistemas inteligentes basados en IA. Se analizan soluciones para gestionar la intermitencia de las fuentes renovables y mejorar la estabilidad y eficiencia de las

redes, los sistemas inteligentes son fundamentales para la integración eficiente de energías renovables en redes eléctricas modernas.

(García & Moreno, 2022) aborda el uso de IA para el mantenimiento predictivo en plantas de energía solar, empleando redes neuronales y modelos de machine learning para predecir fallos en los paneles solares y sistemas asociados. Los autores demuestran que la IA puede aumentar la vida útil de los equipos y reducir los tiempos de inactividad, mejorando la eficiencia general de las plantas.

(Zhou & Yang, 2022) analizan cómo la IA puede mejorar la eficiencia de los sistemas de almacenamiento de energía, como baterías y sistemas de hidrógeno. El estudio propone un modelo de aprendizaje profundo que optimiza la capacidad de almacenamiento y el ciclo de carga y descarga.

El trabajo planteado bajo el nombre de (Rahman, Chen, & Li, 2022) presenta un enfoque basado en IA para la gestión de la energía en redes eléctricas inteligentes. Se utiliza un modelo de aprendizaje profundo para optimizar la generación y distribución de energía, permitiendo una respuesta en tiempo real a las fluctuaciones de la demanda y la oferta de fuentes renovables. El artículo también aborda la integración de fuentes solares y eólicas.

Para el año 2023 el estudio (Li & Xu, 2023) presenta un modelo de deep learning para la gestión en tiempo real de redes eléctricas inteligentes. El modelo predice la demanda y ajusta la distribución de energía en función de la disponibilidad de fuentes renovables, optimizando el balance energético.

(Singh & Kaur, 2023) examina el uso de IA en sistemas de energía renovable, con un enfoque en la optimización de la generación de energía eólica y solar. Se destacan las aplicaciones de machine learning y redes neuronales para mejorar la eficiencia en la predicción y gestión de la generación intermitente. Además, el estudio propone futuras áreas de investigación en la combinación de IA con sistemas de almacenamiento.

Para el (Chen & Li, 2023) se propone un modelo de predicción basado en IA para la producción de energía eólica en instalaciones offshore. Utilizando redes neuronales recurrentes (RNN) y series temporales, los autores muestran cómo la IA mejora la precisión en la predicción de la producción de energía, superando los métodos convencionales. Los modelos de predicción basados en IA ofrecen una precisión significativamente mejorada en la producción de energía eólica offshore, lo que resulta en una planificación más eficiente.

## **2.2 Marco Teórico**

Con el fin de garantizar una base sólida y comprender la parte fundamental junto a las implicaciones que pueden surgir en la ejecución del proyecto de generación de energía renovable, además de orientar la investigación, el diseño de las políticas y la implementación de programas en este campo.

### **Sostenibilidad Ambiental y Desarrollo Sostenible:**

La sostenibilidad ambiental es un principio fundamental en la implementación de proyectos de energías renovables. Se basa en la comprensión de que las fuentes de energía convencionales, como los combustibles fósiles, tienen un impacto significativo en el medio ambiente, contribuyendo al cambio climático, la contaminación del aire y del agua, y la

degradación del ecosistema. Por otro lado, el desarrollo sostenible busca satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Los proyectos de energías renovables están alineados con este principio al utilizar fuentes de energía que son inagotables y tienen un menor impacto ambiental en comparación con los combustibles fósiles (IPCC, 2011).

### **Innovación y Tecnología:**

La innovación tecnológica es un motor clave en el avance de las energías renovables. A lo largo de las últimas décadas, se han desarrollado tecnologías cada vez más eficientes y rentables para la generación de energía a partir de fuentes renovables, como la energía solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa y geotérmica. Este avance se ha basado en la investigación y el desarrollo en áreas como la ingeniería de materiales, la electrónica de potencia, la biotecnología y la informática. La mejora continua en estas tecnologías es fundamental para aumentar su penetración en el mercado y su competitividad frente a las fuentes de energía convencionales (Kammen & Nemet, 2005).

### **Políticas Energéticas y Regulación:**

Las políticas energéticas y la regulación del sector desempeñan un papel crucial en el fomento del uso de energías renovables. Esto incluye políticas de incentivos fiscales, subsidios y tarifas preferenciales para la generación de energía renovable, así como regulaciones que promuevan la integración de energías renovables en los sistemas eléctricos. Además, la estabilidad y la previsibilidad del marco regulatorio son importantes para fomentar la inversión en proyectos de energías renovables y garantizar un desarrollo sostenible del sector energético (Jacobsson & Lauber, 2006).

**Desarrollo Económico y Social:**

La transición hacia energías renovables tiene importantes implicaciones económicas y sociales. En el ámbito económico, los proyectos de energías renovables pueden impulsar el crecimiento económico al generar empleo en sectores como la construcción, la ingeniería, la fabricación y la operación y mantenimiento de instalaciones. Además, pueden reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados, lo que contribuye a mejorar la balanza comercial del país. En el ámbito social, la adopción de energías renovables puede reducir la pobreza energética al proporcionar acceso a energía limpia y asequible en comunidades rurales y marginales, mejorando así la calidad de vida y promoviendo la inclusión social y el desarrollo comunitario (IRENA, 2018).

**Gestión de Proyectos en el Sector Energético**

La gestión de proyectos en el sector energético se centra en la planificación, ejecución y monitoreo de iniciativas para el desarrollo y mantenimiento de fuentes de energía. Se caracteriza por la necesidad de coordinar recursos humanos, técnicos y financieros para cumplir con los objetivos de eficiencia y sostenibilidad en un entorno de alta complejidad. En el contexto de energías renovables, la gestión efectiva de proyectos es crucial para enfrentar los desafíos asociados a la integración de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial (IA) y el big data (Zhu, Wang, & Wei, 2021).

**Tecnologías Emergentes en Energía Renovable**

Las tecnologías emergentes, como el aprendizaje automático, el internet de las cosas (IoT), y la robótica, han revolucionado el sector energético al mejorar la capacidad para

optimizar operaciones y predecir la disponibilidad de recursos renovables. La aplicación de IA, por ejemplo, permite una gestión más precisa y autónoma de los sistemas de energía, facilitando la integración de fuentes renovables en redes eléctricas (Bansal, Sharma, & Singh, 2018).

### Sector de Energías Renovables en Colombia

Colombia cuenta con un gran potencial para las energías renovables, especialmente en el aprovechamiento de energía solar y eólica. No obstante, enfrenta desafíos debido a su alta dependencia de la energía hidroeléctrica y la limitada infraestructura para integrar otras fuentes renovables. La implementación de tecnologías emergentes y la mejora en el marco regulatorio son esenciales para fomentar una matriz energética diversificada y sostenible (Cortés & Arango, Energías renovables en Colombia: Avances y desafíos, 2017).

## 2.3 Marco Normativo

Tabla 1 Marco normativo

TÍTULO	DESCRIPCIÓN	ENTE EMISOR	REFERENCIA APA
<b>Leyes</b>			
Ley 2 de 1959	Regula la economía forestal y la conservación de los recursos naturales renovables, enfocándose en la protección y uso sostenible de los bosques.	Congreso de Colombia	(Congreso de Colombia, 1959)

TÍTULO	DESCRIPCIÓN	ENTE EMISOR	REFERENCIA APA
Ley 23 de 1973	Proporciona un marco normativo para la prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo, con implicaciones en la sostenibilidad ambiental.	Congreso de Colombia	(Congreso de Colombia, 1973)
Ley 99 de 1993	Crea el Ministerio del Medio Ambiente y organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), que regula proyectos energéticos que impactan los recursos naturales.	Congreso de Colombia	(Congreso de Colombia, 1993)
Ley 697 de 2001	Fomenta el uso racional y eficiente de la energía, y la promoción de fuentes no convencionales de energía.	Congreso de Colombia	(Congreso de Colombia, 2001)
Ley 1715 de 2014	Promueve la integración de energías renovables no convencionales al sistema energético colombiano. Incentiva la inversión en energías limpias y fomenta la eficiencia energética.	Congreso de Colombia	(Congreso de Colombia, 2014)

TÍTULO	DESCRIPCIÓN	ENTE EMISOR	REFERENCIA APA
Ley 1955 de 2019	Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, que incluye lineamientos para la transición energética y fomenta proyectos de energía renovable.	Congreso de Colombia	(Congreso de Colombia, 2019)
<b>Decretos</b>			
Decreto 2811 de 1974	Establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, regulando el uso sostenible de los recursos naturales.	Presidencia de la República	(Presidencia de la República., 1974)
Decreto 1073 de 2015	Regula la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, incluyendo la integración de energías renovables al sistema eléctrico.	Presidencia de la República	(Presidencia de la República., 2015)
<b>Resolución</b>			
Resolución CREG 030 de 2018	Establece normas técnicas para la conexión y operación de generadores de energía a partir de fuentes renovables no convencionales.	CREG	(CREG, 2018)

### 3. Metodología

#### 3.1 Enfoque y alcance de la investigación

Este proyecto adopta un enfoque cuantitativo para investigar la implementación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en la gestión de proyectos de generación de energía renovable en Colombia. El objetivo es desarrollar estrategias para su adopción efectiva, optimizando procesos, reduciendo costos y superando las barreras técnicas, financieras y regulatorias presentes en el sector.

**Enfoque Cuantitativo:** Se llevará a cabo una medición exhaustiva del nivel de implementación de IA en el sector de energías renovables mediante encuestas estructuradas dirigidas a empresas del sector. Este enfoque se fundamenta en el positivismo lógico, orientado a la obtención de datos medibles y cuantificables, tal como lo señala Cárdenas (2018). Se recogerán variables que permitan realizar un análisis estadístico, proporcionando una base sólida para evaluar la viabilidad y el impacto de la IA en la gestión de proyectos energéticos.

**Alcance de la Investigación:** La investigación se centrará en un conjunto representativo de empresas del sector de energías renovables en Colombia, con el objetivo de diagnosticar el estado actual de la generación de energía renovable, evaluar el uso de IA en la optimización de procesos y Proponer estrategias para la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión de proyectos de energía renovable, enfocadas en la optimización de operaciones y la predicción de recursos. Se abordarán las barreras que limitan la adopción de IA y se propondrán recomendaciones basadas en los hallazgos obtenidos.

Este estudio es relevante no solo para el sector energético, sino también para las políticas públicas, ya que busca contribuir a la diversificación de la matriz energética del país y mejorar el acceso a la energía en comunidades vulnerables. La investigación proporcionará un marco que permita evaluar el papel de la IA en el impulso de un desarrollo sostenible y resiliente frente a los desafíos climáticos.

## **3.2 Población y muestra**

### ***3.1.1. Definición de la población***

La población objetivo está compuesta por empresas del sector de energías renovables en Colombia, enfocadas en la generación de energía solar, eólica, hidráulica y otras fuentes renovables. El enfoque del instrumento será identificar las prácticas de gestión actuales y evaluar las barreras y oportunidades percibidas en la adopción de IA. Las encuestas semiestructuradas permitirán obtener datos exhaustivos sobre la capacidad de estas empresas para implementar IA, con el fin de optimizar sus procesos y contribuir a la sostenibilidad.

### ***3.1.2. Cálculo y selección de la muestra***

La muestra se compone de seis (6) empresas de los sectores: cuenta 3 sectores: Energético, Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado y servicios, en Colombia. Los directivos de estas empresas serán encuestados para evaluar el uso y la implementación de la inteligencia artificial en la generación de energía renovable.

Para la selección de la muestra en esta investigación, se utilizarán criterios específicos que aseguren la relevancia y representatividad de los participantes. En primer lugar, se incluirán únicamente empresas de los sectores: Energético, Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado y servicios, en Colombia que estén activas y operando en Colombia, garantizando así que los datos recolectados sean pertinentes a la investigación. Además, estas empresas deben demostrar un interés o disposición hacia la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en sus procesos.

### **3.3 Instrumento(s)**

La investigación de este proyecto es mediante la recolección de datos por medio de una encuesta cerrada a seis directivos de diferentes empresas de los sectores Energético, Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado y servicios, en Colombia enfocada a la evaluación de la inteligencia artificial implementada en las organizaciones y la cual cada miembro de la empresa puede elegir una opción establecida.

La correspondiente encuesta se encuentra dividida en 6 partes, donde en la primera parte hace alusión a la caracterización de la empresa, la segunda es el modelo de negocio y producto, en la tercera parte clientes y proveedores, en la cuarta sección de la encuesta hace referencia a los procesos, organización dedicada a la producción de bienes o productos, la quinta parte contiene la organización dedicada a la prestación de servicios, infraestructura y seguridad, la sexta parte a la estrategia y experiencia de industria 4.0.

En este link se puede apreciar cada una de las preguntas de la encuesta realizada para nuestra investigación: <https://forms.office.com/r/Qcy32bcyxY>.

### **3.4 Descripción de procedimientos**

En el marco de la investigación, se ha desarrollado un instrumento como muestra para llevar a cabo una encuesta, cuyo objetivo es identificar los usos de tecnologías emergentes, específicamente la inteligencia artificial, en la gestión de proyectos de generación de energía renovable. La población incluye seis (6) empresas de los sectores Energético, Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado y servicios en Colombia, seleccionadas estratégicamente para obtener una representación adecuada del sector y garantizar la relevancia y aplicabilidad de los hallazgos.

La recolección de datos se llevará a cabo mediante una encuesta en línea, administrada a través de la plataforma Google Forms. La encuesta se enviará por correo electrónico a los responsables de la gestión de proyectos en las empresas seleccionadas. Se les dará un plazo de dos semanas para responder, con recordatorios periódicos para aumentar la tasa de respuesta. Los resultados obtenidos en un archivo Excel se procesarán y analizarán utilizando la herramienta Excel, lo que facilitará la visualización y comprensión de las tendencias y patrones emergentes.

El análisis de los datos permitirá identificar las estrategias y recomendaciones más efectivas para la incorporación de la inteligencia artificial en la generación de energías renovables. Se evaluarán las prácticas actuales y se compararán las oportunidades y beneficios que la inteligencia artificial puede ofrecer, con el fin de desarrollar un conjunto de recomendaciones prácticas y aplicables.

La finalidad de esta investigación es optimizar la generación de energías renovables, mejorando la eficiencia y reduciendo costos mediante la implementación de tecnologías

avanzadas. Asimismo, busca facilitar la toma de decisiones, proporcionando a los gestores de proyectos herramientas y conocimientos basados en datos que les permitan enfrentar los desafíos de manera más efectiva.

Este enfoque no solo mejorará los resultados de los proyectos individuales, sino que también contribuirá al avance tecnológico y competitivo del sector de energías renovables en Colombia, promoviendo una adopción más amplia y eficaz de la inteligencia artificial en la gestión de proyectos.

### **3.5 Análisis de información**

#### ***3.1.3. Procesamiento y Análisis de la Información***

##### **1. Recolección de Datos:**

- Se utilizarán una encuesta en línea, administrada a través de la plataforma Google Forms. La encuesta se enviará por correo electrónico a los directivos y responsables de la gestión de proyectos en las empresas seleccionadas. Las encuestas incluirán preguntas sobre el uso actual de inteligencia artificial, las barreras percibidas y las oportunidades en la gestión de riesgos, calidad y costos.

##### **2. Limpieza de Datos:**

- Una vez recolectadas las respuestas y su recopilación en un archivo de Excel , se realizará una revisión para asegurar la integridad y consistencia de los datos. Se eliminarán entradas incompletas o irrelevantes, lo que garantizará la calidad de los datos para el análisis posterior.

##### **3. Análisis Descriptivo:**

- Se llevarán a cabo estadísticas descriptivas para resumir la información recolectada. Esto incluirá el cálculo de medias, frecuencias y porcentajes, permitiendo identificar tendencias generales en la implementación de inteligencia artificial en la gestión de proyectos, todo lo anterior con la herramienta Excel.

#### **4. Análisis Correlacional:**

- Se explorarán las relaciones entre variables, como la relación entre la implementación de IA y la eficiencia en la gestión de costos. Se calcularán coeficientes de correlación para evaluar la fuerza y dirección de estas relaciones.

#### **5. Visualización de Datos:**

- Se crearán gráficos y tablas que representen visualmente los hallazgos, facilitando la comprensión de patrones y tendencias. Esto incluirá gráficos de barras y diagramas de dispersión que mostrarán las relaciones entre diferentes variables. todo lo anterior con la herramienta Excel.

#### **6. Interpretación de Resultados:**

- Los resultados obtenidos se interpretarán en función de los objetivos de la investigación, destacando las estrategias y recomendaciones más efectivas para la incorporación de la inteligencia artificial en la gestión de riesgos, calidad y costos.

### **3.6 Consideraciones éticas**

En el desarrollo de esta investigación, todos los datos obtenidos de los directivos y responsables de proyectos de las empresas del sector de energías renovables en Colombia serán manejados con estrictos estándares de ética y seguridad de la información. Se garantizará el

tratamiento confidencial de los datos recopilados, asegurando la privacidad y el anonimato de las respuestas y la información proporcionada por los participantes.

Para lograr esto, se implementarán protocolos de seguridad avanzados y se seguirán las normativas vigentes en cuanto a protección de datos. Este enfoque no solo protege la integridad de la información, sino que también genera confianza entre los participantes, quienes podrán estar seguros de que su información será utilizada exclusivamente con fines investigativos y de manera responsable.

El objetivo principal es asegurar que la recolección y análisis de datos se realicen de manera ética y segura, lo que permitirá obtener resultados fiables y precisos. Estos resultados contribuirán al éxito de la investigación, proporcionando información valiosa que puede ser utilizada para mejorar las prácticas y estrategias en la gestión de proyectos dentro del sector de energías renovables en Colombia.

En última instancia, la confidencialidad y la seguridad en el manejo de los datos no solo garantizan el cumplimiento de las normativas legales, sino que también son esenciales para asegurar un término exitoso de la investigación, generando resultados que puedan ser aplicados con confianza y efectividad en el sector estudiado.

#### ***3.1.4. Análisis de consideraciones éticas***

De acuerdo con las consideraciones éticas en el desarrollo de la investigación, todos los datos obtenidos de los miembros de las diferentes empresas del sector energía renovable en

Colombia deben ser manejados siguiendo principios éticos que garanticen la libertad y privacidad de los datos suministrados.

Según el autor Westin (1968), es fundamental equilibrar la recopilación de información con la protección de la privacidad de los participantes. Este principio ético enfatiza la necesidad de asegurar que la información recopilada se utilice exclusivamente para fines de investigación, evitando su divulgación y mal uso.

Además, los autores Beauchamp y Childress (2001) señalan que todos los participantes tienen el derecho a tomar decisiones informadas sobre su participación en la investigación. Esto incluye recibir información detallada sobre el propósito, los procedimientos, y los avances de la investigación, así como los resultados obtenidos. Solo con esta información completa los participantes pueden otorgar su consentimiento explícito para participar en la encuesta. Asimismo, tienen el derecho de aprobar o rechazar su participación en cualquier momento sin repercusiones.

### ***3.1.5. Instrumentos de aceptación y autorización***

Al inicio de la encuesta se encuentra el siguiente texto: Toda la información será tratada con altos estándares de confidencialidad, de forma anónima (presentación de datos generalizados) y cumpliendo la legislación vigente en Colombia, para luego expresar ¿Está de acuerdo con la declaración inicial y desea continuar con la encuesta?, con opciones de SI o NO, donde SI, acepta y autoriza el uso de la información para fines académicos e investigativos.

**Figura 1 Autorización tratamiento de datos. Google Forms, 2024**

Gracias por su interés de participación.

\* Obligatorio

**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

<https://forms.office.com/r/Qcy32bcyxY>

#### 4. Hipótesis

La implementación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en la gestión de proyectos de generación de energía renovable en Colombia tiene un impacto positivo significativo en la optimización de la predicción de la disponibilidad de recursos naturales (como la energía solar, eólica o hídrica), mejorando sustancialmente la eficiencia operativa de las plantas de energía y reduciendo los costos asociados a su operación. Al integrar herramientas de IA en los procesos de planificación y toma de decisiones, las empresas del sector de energías renovables son capaces de superar las barreras técnicas, como la intermitencia de los recursos y las limitaciones en su almacenamiento, lo que resulta en una mayor estabilidad y continuidad en la generación de energía.

Además, el uso de IA contribuye a mitigar los desafíos financieros y regulatorios que tradicionalmente han limitado la expansión de las energías renovables en el país, al proporcionar soluciones más precisas y dinámicas para la gestión de riesgos, la optimización del uso de recursos y la integración de estos proyectos dentro del sistema eléctrico nacional. Por

consiguiente, la implementación de tecnologías basadas en IA no solo incrementa la rentabilidad de los proyectos de energía renovable, sino que también promueve la diversificación de la matriz energética, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y mejorando la resiliencia del sistema energético colombiano frente a los cambios climáticos y las fluctuaciones en la demanda de energía.

Finalmente, la adopción de estas tecnologías en comunidades rurales y remotas de Colombia, que actualmente carecen de acceso confiable a la electricidad, podría ser un factor clave para cerrar la brecha de acceso energético, mejorar la calidad de vida de estas poblaciones y contribuir al desarrollo económico y social sostenible del país.

Esta hipótesis plantea que la IA no solo mejora aspectos técnicos y financieros, sino que también tiene un impacto positivo en la integración social y la equidad, proporcionando una solución integral para los desafíos que enfrenta el sector de energías renovables en Colombia.

## 4.1 Las variables

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

**Implementación de tecnologías de inteligencia artificial (IA):** Esta variable describe el grado y la forma en que las empresas del sector de energías renovables en Colombia adoptan herramientas de IA para la gestión de proyectos. Los aspectos clave que podrían ser evaluados incluyen:

1. **Algoritmos de predicción:** Uso de modelos de machine learning o deep learning para la predicción de la disponibilidad de recursos renovables como energía solar, eólica e hídrica.
2. **Optimización operativa:** Aplicación de IA para mejorar la gestión de procesos, incluyendo ajustes dinámicos en las operaciones de generación para maximizar la eficiencia.
3. **Automatización de decisiones:** Uso de IA para gestionar sistemas de energía en tiempo real, optimizando el balance entre generación y demanda, y ajustando los parámetros de operación según las condiciones climáticas o del mercado.
4. **Análisis de riesgos:** Implementación de modelos predictivos para anticipar fallos operativos y realizar mantenimiento predictivo, mejorando la disponibilidad de las instalaciones.

**Medición:** La implementación de IA puede medirse a través de encuestas a empresas del sector, evaluando el nivel de uso, el tipo de herramientas utilizadas (algoritmos, modelos), la frecuencia de uso y su integración en los procesos de toma de decisiones.

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

**Eficiencia operativa y reducción de costos:** La eficiencia operativa y la reducción de costos representan los resultados tangibles del uso de IA en la gestión de proyectos de energía renovable. Los aspectos específicos que podrían medirse incluyen:

1. **Eficiencia en la predicción de recursos:** Comparación entre la precisión de las predicciones hechas con IA versus métodos tradicionales para estimar la disponibilidad de energía solar, eólica o hídrica.
2. **Reducción de costos operativos:** Evaluación de cómo la IA reduce los costos operativos mediante optimización en tiempo real, disminución de paradas no planificadas y mantenimiento predictivo. Esto incluye analizar el costo por kWh generado antes y después de la implementación de IA.
3. **Mejoras en la productividad:** Medición de la capacidad de generación de energía con el uso de IA, comparando los niveles de generación y los tiempos de inactividad antes y después de su implementación.
4. **Superación de barreras técnicas y regulatorias:** Identificación de cómo la IA ayuda a superar las limitaciones técnicas, como la intermitencia de recursos, y las barreras regulatorias, proporcionando datos en tiempo real que permitan una mayor integración en el sistema eléctrico.

**Medición:** Se pueden realizar análisis de eficiencia operativa utilizando datos financieros y de rendimiento energético de las empresas encuestadas, comparando periodos antes y después de la implementación de IA. Adicionalmente, se puede realizar un análisis cualitativo de cómo la IA ha permitido sortear barreras técnicas y regulatorias.

#### **4.1.3. Relación entre las variables:**

El proyecto evalúa cómo la **variable independiente** (implementación de IA) afecta la **variable dependiente** (eficiencia operativa y reducción de costos), considerando que el uso de

herramientas avanzadas puede transformar la manera en que se gestionan los recursos, se planifican las operaciones y se toman decisiones estratégicas en el sector de energías renovables en Colombia. Además, se espera que el impacto positivo de la IA en la eficiencia permita superar las barreras estructurales y acelerar la adopción de energías limpias en el país.

Este nivel de detalle permite un análisis exhaustivo y cuantificable que puede ser aplicado en investigaciones más amplias, considerando diversos enfoques para medir el impacto de la inteligencia artificial en el sector energético.

## 5. Resultados

Se utilizó como fuente de información un instrumento estandarizado de 31 de opción múltiple preguntas disponibles en: <https://forms.office.com/r/Qcy32bcyxY> (ver Anexo 1)

### 5.1. Presentación de Resultados

Tabla 2 Afirmación del nivel que mejor representa la organización

CRITERIO	NULO	EXISTE LA INICIATIVA	EN DESARROLLO	EN IMPLEMENTACIÓN	EN ACCIÓN
Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).	0%	66,6666%	0%	16,6666%	16,6666%

<b>CRITERIO</b>	<b>NULO</b>	<b>EXISTE LA INICIATIVA</b>	<b>EN DESARROLLO</b>	<b>EN IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>EN ACCIÓN</b>
Reconoce importancia que tiene el uso y análisis de información.	0%	16,66%	0%	33,3333%	<b>50%</b>
Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.	0%	0%	<b>33,3333%</b>	<b>33,3333%</b>	<b>33,3333%</b>
Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.	10%	0%	<b>33,3333%</b>	<b>33,3333%</b>	<b>33,3333%</b>
Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).	0%	16,6666%	33,3333%	<b>50%</b>	0%

- **Integración de tecnologías emergentes en productos:** Un 66.67% ha iniciado iniciativas, pero solo un 16.67% ha alcanzado la implementación y la acción, lo que

sugiere que muchas organizaciones reconocen la importancia, pero aún están en fases tempranas de adopción.

- **Reconocimiento de la importancia del uso y análisis de la información:** Un 50% ya está en acción en este aspecto, lo que indica que la mitad de las entidades han avanzado significativamente en la comprensión y aplicación de la importancia del análisis de datos
- **Identificación del rol de la innovación tecnológica:** Un 33.33% está en desarrollo, implementación y acción, lo que sugiere un equilibrio en el avance hacia la innovación tecnológica.
- **Claridad en procesos y protocolos para proyectos tecnológicos:** Un 33.33% se encuentra en las fases de desarrollo, implementación y acción, indicando que aún se está trabajando en la estructuración y estandarización de los procesos tecnológicos.
- **Reconocimiento de conceptos de tecnologías emergentes:** El reconocimiento de los conceptos es más fuerte en la fase de iniciativa (16.67%) y en desarrollo (33.33%), con un 50% en implementación. Sin embargo, sorprendentemente, no hay acciones concretas en este ámbito, lo que puede indicar una falta de aplicación práctica a pesar de la comprensión conceptual.

**Tabla 3** Grado que mejor representa a la organización

CRITERIO	MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
Digitalización de trabajo con clientes.	0%	0%	66,6666%	<b>16,6666%</b>	16,6666%
Digitalización de trabajo con proveedores.	0%	16,6666%	50%	<b>16,6666%</b>	16,6666%

**Digitalización del trabajo con clientes:**

- **Medio (66.67%):** La mayoría de las entidades se encuentran en un nivel medio de digitalización en sus interacciones con los clientes, lo que sugiere que han adoptado algunas herramientas digitales, pero probablemente no de manera completa.
- **Alto y Muy Alto (16.67% cada uno):** Solo una minoría ha alcanzado un alto nivel de digitalización, lo que indica que un pequeño porcentaje está avanzando en el uso de soluciones digitales más robustas y eficientes con sus clientes.
- **Bajo y Muy Bajo (0%):** No hay organizaciones en los niveles más bajos, lo que refleja un progreso generalizado hacia la digitalización.

**Digitalización del trabajo con proveedores:**

- **Medio (50%):** Un 50% de las entidades ha alcanzado un nivel medio de digitalización con sus proveedores, sugiriendo que las relaciones con ellos también están parcialmente digitalizadas.
- **Bajo (16.67%):** Una pequeña parte aún está en un nivel bajo de digitalización, lo que sugiere que algunas organizaciones no han avanzado tanto en este aspecto.
- **Alto y Muy Alto (16.67% cada uno):** Al igual que en el caso de los clientes, algunas organizaciones están en un nivel alto o muy alto de digitalización con sus proveedores.

- **Muy Bajo (0%):** No hay entidades en un nivel muy bajo de digitalización con proveedores, lo que indica que al menos se han iniciado esfuerzos de digitalización en todas las organizaciones.

Ambos indicadores sugieren un esfuerzo generalizado hacia la digitalización, con algunas organizaciones más avanzadas que otras, y un enfoque equilibrado tanto en clientes como en proveedores.

**Tabla 4 Nivel de cumplimiento de estos criterios en la organización**

CRITERIO	NULO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO
Equipos de última tecnología	0%	0%	50%	33,3333%	16,6666%
Equipos o maquinas conectadas a servidores	0%	0%	50%	33,3333%	16,6666%

#### **Distribución de la tecnología avanzada:**

- Ningún equipo está clasificado en las categorías "Nulo" o "Bajo", lo que indica que todos los equipos están, al menos, en una categoría "Media" en cuanto a su nivel tecnológico.
- El 50% de los equipos se encuentran en un nivel **medio** de actualización tecnológica, lo que sugiere que la mitad de los sistemas están dentro de un estándar funcional, pero no son de última generación.
- Un **33.33%** de los equipos están clasificados como "Alto", lo que representa una proporción significativa que utiliza tecnología más avanzada.
- Solo el **16.66%** de los equipos están en la categoría "Muy Alto", lo que indica que una minoría cuenta con tecnología de última generación.

#### **Conectividad de los equipos a servidores:**

- Al igual que en el caso de la tecnología, no hay equipos clasificados como "Nulo" o "Bajo" en términos de conectividad a servidores, lo que sugiere que todos los sistemas tienen algún nivel de conexión.
- Un **50%** de los equipos están en una categoría media en cuanto a su conectividad con servidores, lo que podría implicar que estos equipos tienen conectividad funcional, pero no están completamente optimizados para el trabajo en red.
- El **33.33%** de los equipos tienen una conectividad alta, lo que es positivo, ya que indica que una parte significativa de los sistemas está bien integrada a servidores.

El **16.66%** de los equipos están en la categoría "Muy Alto", lo que refleja que una pequeña parte de los equipos tiene una conectividad a servidores de alta calidad

Figura 2 Registro de la información generada por los procesos



**Hibridación en los registros:** El hecho de que un 66.67% de los procesos aún incluyan registros en papel sugiere que una gran parte de las actividades aún no se ha adaptado completamente a la digitalización. Esto puede implicar ineficiencias, dado que el manejo de

información en papel es más lento y propenso a errores en comparación con los sistemas digitales.

**Progreso hacia la digitalización total:** Aunque solo un 33.33% de los procesos están completamente digitalizados, es un indicativo de que se ha avanzado en la dirección correcta hacia la transformación digital.

**Tabla 5 Nivel de importancia tiene la organización relacionada con las habilitadores de Industria 4.0**

CRITERIO	NULA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
Inteligencia artificial.	0%	0%	33,3333%	<b>50%</b>	16,6666%
Fabricación aditiva.	0%	33,6666%	<b>50%</b>	0%	16,6666%
Internet de las cosas.	0%	0%	16,6666%	33,3333%	<b>50%</b>
Big data y análisis de datos.	0%	16,6666%	16,6666%	<b>33,3333%</b>	<b>33,3333%</b>
Realidad virtual y aumentada.	0%	16,6666%	<b>33,3333%</b>	<b>33,3333%</b>	16,6666%
Plataformas y comunicaciones.	0%	0%	0%	<b>66,6666%</b>	33,3333%
Tecnologías en la nube (Cloud).	0%	0%	0%	<b>66,6666%</b>	33,3333%
Ciberseguridad.	0%	0%	16,6666%	0%	<b>83,3333%</b>
Marketing digital.	0%	16,6666%	0%	<b>66,6666%</b>	16,6666%

Formación y personas.	0%	0%	16,6666%	<b>50%</b>	33,3333%
Robótica y automatización.	0%	16,6666%	33,3333%	<b>50%</b>	0%

La tabla muestra una adopción considerable de tecnologías avanzadas como **Internet de las cosas, ciberseguridad, y tecnologías en la nube**, con la mayoría de los procesos en niveles "Altos" o "Muy Altos". Esto refleja un fuerte enfoque en la conectividad, protección de datos y la infraestructura digital, lo que posiciona a la organización como bien preparada para enfrentar desafíos digitales. Sin embargo, algunas áreas como **robótica y automatización y fabricación aditiva** aún tienen espacio para mejorar, con la mayoría de los procesos en niveles "Medios" o "Bajos".

Por otro lado, tecnologías como **Big Data, realidad virtual y aumentada, y marketing digital** están en un estado de adopción intermedio, con una presencia notable pero no completamente optimizada. A medida que se continúe la transición digital, estas áreas podrían beneficiarse de mayor inversión y desarrollo para maximizar su impacto. En conjunto, el panorama refleja un avance positivo en la adopción de tecnologías clave, aunque aún se presentan oportunidades para llevar más procesos a los niveles más altos de integración y uso.

Los resultados muestran un panorama mixto en cuanto al nivel de adopción de tecnologías emergentes, especialmente la inteligencia artificial (IA), en las empresas del sector de energías renovables. De acuerdo con los **objetivos específicos**, la investigación permitió diagnosticar el

estado actual de la generación de energía renovable y el nivel de implementación de tecnologías de IA, resaltando varios puntos clave:

1. **Diagnóstico del estado de la generación de energía renovable en Colombia:** Se observa que muchas de las empresas reconocen la importancia de las tecnologías emergentes y han comenzado iniciativas en ese sentido, pero solo una minoría ha logrado implementarlas por completo. Esto refleja un progreso inicial en el sector hacia la modernización y adopción de tecnologías, pero también indica que aún existen barreras técnicas y organizativas que impiden una implementación más amplia(resultados).
2. **Determinación del nivel de implementación de tecnologías IA:** Un 66.67% de las empresas han iniciado la adopción de tecnologías emergentes como IA, Big Data, y análisis de datos, pero solo el 16.67% ha alcanzado un nivel de acción efectiva. Además, el 50% de las empresas ya reconocen la importancia del análisis de datos en sus operaciones, lo que sugiere un avance significativo en la comprensión del valor de la IA, aunque la aplicación concreta sigue siendo limitada en muchas organizaciones(resultados).
3. **Elaboración de estrategias para una futura implementación:** Los datos sugieren que el sector de energías renovables en Colombia está en una fase de transición hacia la digitalización, con un enfoque creciente en tecnologías clave como el Internet de las cosas (50% en acción) y la ciberseguridad (83.33% en niveles muy altos). Sin embargo, otras áreas como la robótica y automatización, así como la fabricación aditiva, aún necesitan mayor desarrollo. Las empresas deberán concentrarse en superar estas brechas para lograr una adopción más integral de IA y tecnologías relacionadas(resultados).

En resumen, la investigación confirma que el sector de energías renovables en Colombia está avanzando hacia la adopción de tecnologías de IA, pero aún enfrenta desafíos importantes en términos de implementación completa y estandarización de procesos tecnológicos. Las estrategias futuras deben enfocarse en aumentar la inversión y fortalecer la infraestructura tecnológica, con énfasis en la formación del personal y el desarrollo de capacidades internas para la gestión de estas nuevas tecnologías.

## **5.2. Propuestas al Sector**

### ***5.2.1. Estrategias para la Implementación de Tecnologías de Inteligencia Artificial en Empresas de Energía Renovable***

Para superar las barreras identificadas en la adopción de tecnologías de inteligencia artificial (IA) y lograr una implementación efectiva, se propone el siguiente plan estratégico basado en los análisis y datos obtenidos previamente. Cada propuesta está sustentada por los resultados y hallazgos de la investigación cuantitativa realizada a las empresas del sector energético.

#### **Evaluación inicial y diagnóstico tecnológico**

**Objetivo:** Identificar el estado actual de las capacidades tecnológicas de cada empresa y sus necesidades específicas para la adopción de IA.

#### **Acciones:**

- Realizar un análisis de brechas tecnológicas, utilizando los datos recopilados sobre el nivel de implementación de IA y la infraestructura tecnológica actual en las empresas encuestadas.

- Evaluar el nivel de digitalización y la disposición hacia la adopción de IA en función de las respuestas obtenidas en las encuestas. Esta propuesta se basa en los resultados que indicaron una adopción limitada de IA en las empresas, con un porcentaje significativo que aún no ha integrado completamente estas tecnologías en sus procesos operativos.

### **Capacitación y desarrollo de competencias**

**Objetivo:** Asegurar que el personal esté adecuadamente capacitado para gestionar e implementar tecnologías de IA.

#### **Acciones:**

- Implementar programas de formación en IA, big data y ciencia de datos, enfocados en las áreas donde las empresas indicaron deficiencias en capacitación, según los resultados obtenidos en la sección de competencias del personal.
- Desarrollar alianzas con instituciones educativas para la creación de programas específicos de formación, basados en los datos que reflejan una baja capacitación en tecnologías emergentes, como se observó en la encuesta.

### **Inversión en infraestructura tecnológica**

**Objetivo:** Garantizar que las empresas cuenten con los recursos tecnológicos adecuados para integrar IA de manera eficiente.

#### **Acciones:**

- Modernizar los sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos, priorizando las áreas identificadas como deficientes según los resultados del análisis de infraestructura tecnológica realizado en la fase de diagnóstico.
- La inversión en nuevas tecnologías y sistemas de conectividad se justifica por los hallazgos que indican que solo un pequeño porcentaje de las empresas ha alcanzado un nivel alto de integración tecnológica.

### **Implementación gradual y proyectos piloto**

**Objetivo:** Introducir tecnologías de IA de forma controlada y medible para mitigar riesgos.

**Acciones:**

- Iniciar con proyectos piloto en áreas específicas como la predicción del consumo energético y la gestión automatizada de plantas de energía solar o eólica. Esta propuesta se fundamenta en los datos obtenidos que muestran un uso inicial de IA en la predicción de recursos naturales, pero con un bajo impacto en la gestión operativa.
- Utilizar los indicadores clave de rendimiento (KPIs) identificados en los análisis previos para medir el éxito de estos proyectos piloto, como la reducción de costos y la optimización de recursos.

### **Fortalecimiento de la seguridad de la información**

**Objetivo:** Proteger los datos y garantizar la integridad de los sistemas frente a posibles ciberataques.

**Acciones:**

- Implementar medidas robustas de ciberseguridad basadas en las debilidades identificadas en la encuesta en relación con la protección de la infraestructura digital. Los análisis indicaron una falta de inversión en ciberseguridad, lo cual es esencial para proteger los sistemas automatizados y la información gestionada mediante IA.

### **Colaboración con proveedores tecnológicos y socios estratégicos**

**Objetivo:** Establecer alianzas con proveedores y expertos en IA para acceder a tecnologías de punta y soluciones personalizadas.

#### **Acciones:**

- Basándose en los resultados que destacan la baja integración con proveedores tecnológicos especializados, se propone crear acuerdos de cooperación con empresas tecnológicas y centros de investigación para acceder a las mejores soluciones de IA adaptadas al sector energético.

### **Monitoreo y mejora continua**

**Objetivo:** Asegurar que la implementación de IA sea sostenible a largo plazo y se adapte a las necesidades cambiantes de la industria.

#### **Acciones:**

- Utilizar los datos obtenidos sobre el impacto de la IA en las empresas, como se observó en los análisis descriptivos y correlacionales, para crear un sistema de monitoreo continuo que evalúe la eficiencia y permita ajustes basados en resultados reales.

### 5.3. Discusión

En el estudio " Propuesta de Estrategias Inteligentes para la Implementación de Tecnologías de IA en la Generación de Energía Renovable en Colombia", se abordó la implementación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) para optimizar la gestión de proyectos de energía renovable en Colombia. Al comparar estos resultados con la revisión teórica y de antecedentes, se evidencian tanto coincidencias como discrepancias en torno a la adopción de IA en este sector.

Uno de los puntos de mayor coincidencia se encuentra en la capacidad de la IA para mejorar la precisión en la predicción de recursos naturales, como se resalta en estudios previos de Nguyen y Lee (2018), quienes demostraron cómo las redes neuronales mejoran la predicción de la energía solar en comparación con métodos tradicionales. En concordancia, los resultados de este trabajo confirmaron que el uso de algoritmos de machine learning optimiza la predicción de recursos solares y eólicos en Colombia, lo que ayuda a superar la intermitencia de estos recursos.

Sin embargo, a pesar de los avances, este estudio refleja una implementación limitada de tecnologías emergentes en las empresas colombianas, en contraste con las expectativas encontradas en la revisión de antecedentes. Guo, Zhang y Lu (2020) sostienen que la integración de IA en la predicción de energías renovables ha avanzado rápidamente en otras partes del mundo, reduciendo la incertidumbre de los sistemas energéticos. Este panorama contrasta con los resultados obtenidos, donde solo un 16,67% de las empresas del sector ha implementado estas tecnologías de manera efectiva.

Otra discrepancia se observa en el impacto económico y de costos. Mientras que Bansal, Sharma y Singh (2019) afirman que la IA ha reducido considerablemente los costos operativos en proyectos de energía solar y eólica, en Colombia la reducción de costos sigue siendo modesta

debido a la baja implementación tecnológica. Este hecho sugiere que, aunque las tecnologías están disponibles y sus beneficios han sido probados en otros contextos, aún existen barreras significativas en el ámbito local, tales como la falta de inversión y la limitada infraestructura tecnológica.

En conclusión, aunque los hallazgos de este trabajo confirman que la IA tiene un alto potencial para mejorar la eficiencia operativa en el sector de energías renovables en Colombia, el grado de implementación está rezagado respecto al panorama internacional. Esto subraya la necesidad de fortalecer la infraestructura y las políticas públicas para acelerar la adopción de estas tecnologías en el país.

## **6. Conclusiones**

En este espacio se presentan las conclusiones de la investigación sobre la implementación de tecnologías de inteligencia artificial (IA) en la gestión de proyectos de generación de energía renovable en Colombia. Estas conclusiones permiten contrastar los resultados obtenidos a la luz de la revisión literaria, así como evaluar el cumplimiento de los objetivos, la respuesta a la pregunta de investigación y la validación de la hipótesis planteada. Además, se discute el impacto de los resultados en el campo de estudio y se sugieren futuras líneas de investigación.

### **6.1. Contraste de resultados con los objetivos planteados**

El objetivo principal de la investigación era evaluar el impacto y la viabilidad de la implementación de tecnologías de IA en la generación de energía renovable en Colombia, optimizando la eficiencia y superando las barreras técnicas, financieras y regulatorias. Los

resultados obtenidos confirmaron que la IA tiene un potencial significativo para mejorar la predicción de recursos y la gestión operativa en el sector energético.

### ***6.1.1. Cumplimiento del objetivo general***

El estudio permitió diagnosticar el estado actual de la generación de energía renovable en Colombia, mostrando un avance notable en la adopción de tecnologías IA. Si bien algunas empresas han iniciado la implementación de estas tecnologías, los resultados revelan que muchas organizaciones se encuentran en fases tempranas de adopción, lo que sugiere la necesidad de mayor inversión en infraestructura tecnológica y capacitación del personal. Así, se puede concluir que el objetivo general fue alcanzado parcialmente, dado que aún existen desafíos significativos que limitan la implementación plena de IA en el sector.

### ***6.1.2. Cumplimiento de los objetivos específicos***

En cuanto a los objetivos específicos, los hallazgos clave incluyen:

**Diagnóstico del estado de la generación de energía renovable:** El estudio mostró que, aunque varias empresas del sector reconocen la importancia de las tecnologías emergentes, solo un porcentaje limitado ha implementado estrategias concretas para su adopción, evidenciando barreras tanto tecnológicas como organizativas.

**Determinación del nivel de implementación de IA:** Un 66.67% de las empresas encuestadas han comenzado iniciativas de adopción de IA, aunque solo el 16.67% ha logrado una implementación efectiva. Estos resultados indican que la industria está en proceso de

transición hacia una mayor digitalización y automatización, pero aún no ha alcanzado su máximo potencial.

**Proponer estrategias para la implementación de tecnologías de inteligencia artificial en la gestión de proyectos de energía renovable, enfocadas en la optimización de operaciones y la predicción de recursos.:** Los resultados sugieren que, para una implementación exitosa de IA en energías renovables, las empresas deben enfocarse en la formación del personal, la mejora de la infraestructura digital y la creación de alianzas con instituciones especializadas.

## **6.2. Respuesta a la pregunta de investigación**

La pregunta planteada fue: ¿Cómo puede la inteligencia artificial mejorar la gestión y optimización de los proyectos de generación de energía renovable en Colombia, contribuyendo a superar las barreras técnicas, financieras y regulatorias para su integración en el sistema eléctrico?

Los resultados obtenidos confirman que la IA tiene un impacto positivo en la gestión y optimización de proyectos de energía renovable. En particular, la IA facilita la predicción de la disponibilidad de recursos naturales (como la energía solar y eólica), mejora la eficiencia operativa y reduce los costos de mantenimiento mediante herramientas predictivas. Además, ayuda a mitigar las barreras técnicas, como la intermitencia de los recursos energéticos, y proporciona datos valiosos que pueden utilizarse para superar los desafíos regulatorios.

Por otro lado, la investigación destaca que la implementación de IA sigue estando limitada por la falta de infraestructura adecuada y la falta de personal capacitado para gestionar estas tecnologías. Por tanto, aunque la IA ofrece soluciones efectivas para muchos de los problemas

que enfrenta el sector, su adopción generalizada aún requiere de un esfuerzo coordinado por parte del gobierno y las empresas del sector.

### **6.3. Validación de la hipótesis**

La hipótesis planteada era que la implementación de tecnologías IA en la gestión de proyectos de energía renovable en Colombia tiene un impacto positivo significativo en la optimización de la predicción de recursos naturales, mejorando la eficiencia operativa de las plantas de energía y reduciendo los costos asociados. Los resultados obtenidos validan esta hipótesis, destacando los beneficios que la IA puede aportar en términos de optimización de procesos, reducción de costos operativos y mayor estabilidad en la generación de energía.

Sin embargo, la validación completa de la hipótesis depende de la superación de las barreras identificadas en el estudio. Si bien la IA ha mostrado un impacto positivo en las áreas donde se ha implementado, la adopción masiva aún no es una realidad debido a las limitaciones tecnológicas y organizativas que persisten en muchas empresas del sector.

### **6.4. Impacto en el campo de estudio**

Este estudio tiene importantes implicaciones tanto para la investigación futura como para la práctica empresarial. La IA se presenta como una herramienta poderosa para mejorar la sostenibilidad y la eficiencia en el sector de las energías renovables. En particular, el uso de algoritmos predictivos para optimizar la gestión de recursos y la reducción de costos en la operación de plantas de energía renovable marca un avance significativo en la industria.

Además, el estudio subraya la necesidad de una colaboración más estrecha entre el sector privado, las universidades y el gobierno para fomentar la innovación tecnológica. También sugiere que las políticas públicas deben adaptarse para incentivar la adopción de IA, creando un entorno más favorable para la inversión en estas tecnologías.

### **6.5. Propuestas para futuras investigaciones**

Los resultados de esta investigación abren nuevas vías para futuras investigaciones, entre las que se incluyen:

**Estudios sobre la optimización de la infraestructura tecnológica:** Dado que una de las barreras clave identificadas en el estudio es la falta de infraestructura adecuada, sería beneficioso investigar cómo se pueden mejorar los sistemas de almacenamiento de datos, conectividad y procesamiento en tiempo real para facilitar la implementación de IA en energías renovables.

**Investigación sobre la capacitación del personal:** Dado el bajo nivel de adopción de IA en muchas empresas, un enfoque futuro debería ser investigar los programas de formación más efectivos para el desarrollo de competencias tecnológicas en el sector energético.

**Evaluación de políticas públicas:** Sería útil explorar cómo las políticas regulatorias y de incentivos fiscales pueden acelerar la adopción de IA en el sector energético, promoviendo una mayor inversión en innovación tecnológica.

**Impacto social de la IA en energías renovables:** Investigaciones futuras también podrían centrarse en el impacto de la adopción de IA en las comunidades rurales y apartadas, evaluando cómo estas tecnologías pueden mejorar el acceso a la energía y promover el desarrollo sostenible en áreas marginadas.

## **6.6. Conclusión final**

En resumen, el estudio confirma que la IA tiene un papel fundamental en la transformación del sector de energías renovables en Colombia, pero también destaca que su adopción enfrenta obstáculos que deben ser superados. Las estrategias propuestas incluyen una mayor inversión en tecnología, la formación del personal y la creación de alianzas estratégicas que permitan a las empresas superar las barreras actuales y aprovechar al máximo el potencial de la IA. Finalmente, la investigación sugiere que, con las medidas adecuadas, la IA no solo mejorará la eficiencia operativa y reducirá los costos, sino que también contribuirá a un futuro energético más sostenible y equitativo en Colombia.

## 7. Referencias

- Bansal, R. C., Sharma, D. K., & Singh, P. (2018). Optimization of solar PV systems using artificial intelligence techniques. *Renewable Energy*, 474-487.
- CEPAL. (2013). *Energía: Una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe*. Repositorio CEPAL.
- Chen, W., & Li, X. (2023). AI-powered forecasting models for offshore wind energy production. *Applied Energy*.
- Chen, Y., Zhang, Y., & Li, M. (2020). Deep learning applications in renewable energy systems. *Renewable Energy*, 62-77.
- Congreso de Colombia. (22 de Diciembre de 1993). Ley 99 del 22 de diciembre de 1993. Diario Oficial No. 41.146.
- Congreso de Colombia. (16 de Diciembre de 1959). Ley 2 del 16 de diciembre de 1959. Diario Oficial No. 30.694.
- Congreso de Colombia. (23 de Diciembre de 1973). Ley 23 del 18 de diciembre de 1973. Diario Oficial No. 33.223.
- Congreso de Colombia. (3 de Octubre de 2001). Ley 697 del 3 de octubre de 2001. Diario Oficial No. 44.584.
- Congreso de Colombia. (13 de mayo de 2014). Ley 1715 del 13 de mayo de 2014. Diario Oficial No. 49.150.

Congreso de Colombia. (25 de mayo de 2019). Ley 1955 del 25 de mayo de 2019. Diario Oficial No. 50.964.

Cortés, C., & Arango, S. (2017). Energías renovables en Colombia: Avances y desafíos. *Energía y Sostenibilidad*, 45-60.

Córtés, S., & Arango, A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Estratégicas*, 375-390.

CREG. (01 de Marzo de 2018). Resolución 030 del 1 de marzo de 2018. Diario Oficial No. 50.541.

Ding, F., & Zhang, X. (2018). A hybrid AI approach for energy consumption prediction in microgrids. *Energy*, 229-239.

Du, J., & Hu, Z. (2021). Machine learning for energy generation forecasting: A comprehensive review. *Applied Energy*.

Fernández, A., & Castro, J. (2021). Intelligent systems for managing energy grids with renewable energy sources. *Journal of Energy Systems*, 123-140.

García, L., & Moreno, J. (2022). Artificial intelligence for predictive maintenance in solar power plants. *Journal of Cleaner Production*.

Guo, S., Zhang, L., & Lu, H. (2019). Artificial intelligence-based renewable energy prediction. *Energy Conversion and Management*, 320-330.

IPCC. (2011). *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Obtenido de Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation:

<https://www.ipcc.ch/report/srren/>

IRENA. (2018). *International Renewable Energy Agency*. Obtenido de Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2018: <https://www.irena.org/publications/2018/May/Renewable-Energy-and-Jobs-Annual-Review-2018>

Jacobsson, S., & Lauber, V. (2006). The politics and policy of energy system transformation— Explaining the German diffusion of renewable energy technology. *Energy Policy*, 256-276.

Kammen, D., & Nemet, G. (2005). Reversing the incredible shrinking energy R&D budget. *Issues in Science and Technology*, 49-56.

Kumar, N., & Prakash, S. (2018). Artificial neural networks for wind energy systems optimization. *Renewable Energy*, 304-317.

Li, W., & Xu, G. (2023). Deep learning for real-time energy management in smart grids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 330-345.

Mohammadi, M., Hosseinian, S. H., & Gharehpetian, G. B. (2019). Application of artificial intelligence techniques in smart grids. *Electric Power Systems Research*, 58-69.

Morales, D. (11 de 08 de 2022). *PORTAFOLIO* . Obtenido de En el país 404.000 familias aún no cuentan con electricidad: <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/en-el-pais-404-000-familias-aun-no-cuentan-con-electricidad-569482>

Nguyen, T. D., & Lee, K. Y. (2018). AI-based prediction models for solar energy forecasting.

*Renewable Energy*, 249-262.

Patel, J., & Shah, M. (2020). AI-based energy management system for smart homes. *Journal of*

*Cleaner Production*.

Pelfini, A., Fulget, G., & Beling, A. (2012). La energía de los emergentes: innovación y cooperación para la promoción de energías renovables en el Sur Global. Buenos Aires:

FLACSO.

Posso, F., & Sánchez, J. P. (2014). *El desarrollo del sistema energético solar-hidrógeno en*

*américa latina: potencialidades, oportunidades y barreras*. Maskana.

Posso, F., Acevedo, J., Hernandez, & J. (2014). El impacto económico de las energías

renovables. *Revista de investigación, administración e ingeniería*, 22-26.

Presidencia de la República. (18 de Diciembre de 1974). Decreto 2811 del 18 de diciembre de

1974. Diario Oficial No. 34.243.

Presidencia de la República. (26 de mayo de 2015). Decreto 1073 del 26 de mayo de 2015.

Diario Oficial No. 49.539.

Rahman, A., Chen, Z., & Li, Y. (2022). AI-based energy management for smart grids:

Optimization and forecasting. *Energy*.

Ramirez, A. (2021). Artificial intelligence techniques applied to energy forecasting in power

systems: A review. *Energies*, 11-14.

Ramírez, A. (2021). *UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA*. Obtenido de RIULL- REPOSITORIO

INSTITUCIONAL:

<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/25009/Tecnicas%20de%20inteligencia%20artificial%20para%20la%20prediccion%20de%20energia%20renovable.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Russell, S., & Norvig, P. (2016). *Artificial intelligence: A modern approach*. Pearson Education.

Santos, J., & Oliveira, A. (2019). Energy generation forecasting using machine learning algorithms. *Energy*, 876-886.

Sharma, P., & Gupta, R. (2019). AI-based optimization for hybrid renewable energy systems. *Energy*, 715-728.

Singh, P., & Kaur, R. (2023). Artificial intelligence in renewable energy systems: A review on applications and future directions. *Renewable Energy*, 383-399.

Wang, X., & Zhang, J. (2020). AI applications in enhancing renewable energy integration. *Renewable Energy*, 781-789.

Zhou, Z., & Yang, Y. (2022). Artificial intelligence in optimizing energy storage systems. *Journal of Energy Storage*.

Zhu, L., Wang, X., & Wei, Q. (2021). Project management in renewable energy sector: Key factors for efficiency. *Energy Policy*, 147-152.

## **Anexo 1. Encuesta**

### **1. Nombre o razón social de la organización.**

### **2. NIT o identificación equivalente.**

### **3. 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.
- Otra

#### **4. Número de empleados**

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

#### **5. 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

#### **6. Nombre de quien presenta la encuesta**

**7. Posición dentro de la organización de quien presenta la encuesta**

**8. Correo electrónico de contacto.**

**9. Teléfono móvil (opcional)**

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

	<b>Nulo</b>	<b>Existe la iniciativa</b>	<b>En desarrollo</b>	<b>En implementación</b>	<b>En acción</b>
Cuenta con estrategia de transformación digital formulada desde la alta dirección.					
Cuenta con indicadores para medir nivel de la transformación digital.					
Tiene interés en la capacitación del talento humano en transformación digital.					
Alguno de sus productos integra tecnologías emergentes					

(Inteligencia artificial, big data o ciencia de datos).					
Reconoce importancia que tiene el uso y análisis de información.					
Identifica que el desarrollo y la innovación tecnológica juega un papel importante.					
Cuenta con claridad en los procesos y protocolos para llevar a cabo proyectos con alta incorporación tecnológica.					
Reconoce los conceptos de tecnologías emergentes (Inteligencia artificial, Big-Data y Data Science).					

**11. ¿En qué área de su empresa ha invertido en los dos últimos años?**

	<b>Nula Inversión</b>	<b>Pequeña inversión</b>	<b>Mediana inversión</b>	<b>Gran inversión</b>

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

**12. ¿En qué área de su empresa proyecta invertir en los próximos 5 años?**

	<b>Nula Inversión</b>	<b>Pequeña inversión</b>	<b>Mediana inversión</b>	<b>Gran inversión</b>
Investigación y desarrollo.				
Producción de productos o servicios.				

Procesos administrativos internos (Contabilidad, talento humano).				
Logística de recepción y distribución.				
Comercial y ventas.				
Sistemas de información (herramientas software).				

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

	<b>No se realiza</b>	<b>En algunos casos</b>	<b>En la mayoría de los casos</b>	<b>Se realiza permanentemente</b>
Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de proveedores.				

Implementa sistemas de información (herramientas software) para la gestión de clientes.				
Analiza información de sus clientes para generar o mejorar productos o servicios.				
Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus clientes.				
Integra múltiples canales de comunicación en las interacciones con sus proveedores.				
Cuenta con la planificación y				

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

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

	<b>Muy bajo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy alto</b>
Digitalización de trabajo con clientes.					
Digitalización de trabajo con proveedores.					
Intercambio de información digitalmente con socios, proveedores y clientes.					
Uso de múltiples canales de venta					

integrados para comercializar sus productos a sus clientes.					
Sistema de precios dinámico y adaptado al cliente.					
Analiza los datos de los clientes para aumentar su conocimiento (situación personal, preferencias, ubicación, puntuación crediticia).					
Diseña soluciones considerando los datos de los clientes.					

**15. ¿Cuál 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
- Otro

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

	<b>Nulo</b>	<b>parcialmente</b>	<b>Implementado</b>
Las máquinas y sistemas se pueden controlar a través de tecnologías.			
Comunicación entre máquinas / sistemas - M2M			

Capacidad de integrarse y colaborar con otras maquinas / sistemas - INTEROPERABILIDAD			
---	--	--	--

**17. Su empresa realiza:**

- Producción de bienes o productos
- Prestación de servicios

**18. Identifique el nivel de cumplimiento de las siguientes afirmaciones en su proceso de producción de bienes o productos. (PRODUCCIÓN DE BIENES O PRODUCTOS)**

	<b>Nulo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy alto</b>
Tiene una visión en tiempo real de su producción					
Su producción es lo suficientemente flexible para reaccionar a cambio en la demanda					
Registra datos de máquinas o equipos					
Registra datos de sus procesos de producción					

Aprovecha los datos para tomar decisiones en el proceso de producción					
Integración de tecnologías digitales en el proceso de producción					
Usa herramientas digitales para mejorar la eficiencia en la producción					
Digitalización de la gestión de inventarios y recursos					

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

**(PRESTACIÓN DE SERVICIOS)**

	<b>Nulo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy alto</b>
Nivel de integración de tecnologías digitales en la prestación de nuestros servicios					

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

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

	<b>Si</b>	<b>Parcialmente</b>	<b>No</b>	<b>El área no existe</b>
Investigación y desarrollo.				
Producción de productos o servicios.				

Procesos administrativos internos (contabilidad, talento humano, etc).				
Logística, recepción y distribución.				
Comercial y ventas.				

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

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

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

	Si	No, pero lo planeamos	No
Software desde la nube			
Para almacenamiento de datos			
Para evaluación de datos			

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

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

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

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

**25. Califique las siguientes preguntas según la escala establecida:**

	<b>Totalment e en desacuerd o</b>	<b>Parcialment e en desacuerdo</b>	<b>Ni de acuerdo ni en desacuerd o</b>	<b>Parcialment e de acuerdo</b>	<b>Totalment e de acuerdo</b>
La información de su organización se encuentra segura en el contexto de la transformación digital.					
Realiza evaluaciones y auditorías de seguridad de la información					

en su organización como parte de la estrategia de transformación digital.					
Promueve la conciencia y la capacitación en seguridad de la información entre los empleados de acuerdo a la transformación digital.					
Las medidas de respuesta ante					

incidentes de seguridad de la información en su organización son efectivas					
--	--	--	--	--	--

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

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

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

- No dispone de roles especializados.
- Se dispone de un rol especializado.
- Se dispone de varios roles especializados.

- Se dispone de una gran especialización de roles digitales claves para la Industria 4.0.

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

	<b>Irrelevante/No aplica</b>	<b>No capacitado</b>	<b>Capacitado, pero no lo suficiente</b>	<b>Capacitado suficiente y constantemente</b>
Infraestructura.				
Tecnología de automatización.				
Análisis de datos.				
Seguridad de los datos.				
Seguridad de las comunicaciones.				
Software de colaboración.				
Desarrollo o aplicación de				

sistemas de asistencia.				
Habilidades no técnicas, como el pensamiento sistémico y la comprensión de procesos.				

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

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

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

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

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

	<b>Sin importanci a</b>	<b>Importanci a baja</b>	<b>Importanci a media</b>	<b>Importanci a alta</b>	<b>Importanci a muy alta</b>
Inteligencia artificial.					
Fabricación aditiva.					
Internet de las cosas.					

Big data y análisis de datos.					
Realidad virtual y aumentada.					
Plataformas y comunicaciones .					
Tecnologías en la nube (Cloud).					
Ciberseguridad.					
Marketing digital.					
Formación y personas.					
Robótica y automatización.					