

Revisión sistemática de literatura de las innovaciones que favorecen  
la eficiencia energética en sectores industriales de América Latina y el Caribe

Camilo Andrés Támara Guevara

Trabajo de grado como requisito para optar por el título de ingeniería industrial

Director:

Ferney Mauricio Calderón

Magíster en Gerencia de Negocios

Universidad industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Estudios Industriales y Empresariales

Bucaramanga

2024

### **Agradecimientos**

Eterna gratitud a mis padres quienes, con su amabilidad imperecedera, su paciencia incansable y su amor inagotable me inculcaron la disciplina y rectitud de carácter de un hombre de victorias. A mi abuela y sus poderosas oraciones que no me desampararon ni de día ni de noche. A mi hermana que desde temprana edad se esforzó por el beneficio de los dos y a quien envió un caluroso abrazo desde la distancia.

Agradezco profundamente al director de trabajo de grado, Ferney Calderón, por su disposición de escucha y ayuda en cada una de las etapas que conllevó la investigación. Sin importar el día, mi extraordinario horario de trabajo y la ocasión, siempre estuvo brindado consejos que fueron de incalculable valor en mi crecimiento como profesional.

Finalmente, agradezco a mis compañeros de carrera, a mis amigos de fútbol y a mis hermanos de otras madres, por hacer de mi estancia como foráneo más agradable.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	9
1 Planteamiento del Problema .....	12
2 Objetivos .....	13
2.1 Objetivo General .....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
3 Marco referencial .....	14
3.1 Marco de Teórico .....	14
3.1.1 Innovación .....	14
3.1.2 Eficiencia energética .....	15
3.1.3 Revisión de Literatura .....	16
3.1.4 Sector Industrial .....	17
3.2 Marco de Antecedentes .....	19
4 Metodología .....	21
4.1 Fase 1 – Búsqueda o identificación de estudios .....	22
4.1.1 Ecuación de búsqueda .....	22
4.1.2 Selección de base de datos .....	24
4.1.3 Formulación ecuación de búsqueda .....	25
4.2 Fase 2- Cribado (selección y elegibilidad) .....	26

4.3	Fase 3 – Inclusión .....	27
4.4	Fase 4 – Formulación de estrategias .....	28
5	Revisión de la literatura .....	29
5.1	Análisis bibliográfico.....	29
5.2	Análisis en VOSviewer.....	31
5.3	Análisis de la literatura .....	33
5.3.1	Tecnología y herramientas digitales.....	37
5.3.2	Conceptos y metodologías de gestión.....	42
5.3.3	Colaboración y talento .....	46
6	Aplicabilidad y efectividad de las innovaciones.....	49
6.1	Innovaciones en eficiencia energética para el sector minero.....	49
6.2	Innovaciones en eficiencia energética para el sector manufacturero .....	51
6.3	Innovaciones en eficiencia energética para el sector de la construcción .....	54
6.4	Innovaciones en eficiencia energética para el sector energético.....	56
6.5	Aplicabilidad y efectividad.....	59
7	Recomendaciones para la implementación de innovaciones .....	68
8	Conclusiones .....	78
	Referencias bibliográficas.....	81

**Lista de tablas**

	<b>Pag.</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Tabla cumplimiento de objetivos</i> .....	11
<b>Tabla 2.</b> <i>Ecuación de búsqueda</i> .....	25
<b>Tabla 3.</b> <i>Criterios de inclusión y exclusión</i> .....	26
<b>Tabla 4.</b> <i>Definición de prácticas de innovación según autores</i> .....	34
<b>Tabla 5.</b> <i>Aplicabilidad y efectividad de las innovaciones</i> .....	60
<b>Tabla 6.</b> <i>Criterios de selección y factores a considerar de innovaciones</i> .....	72
<b>Tabla 7.</b> <i>Guía de selección e implementación de innovaciones</i> .....	76

**Lista de figuras**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> <i>Metodología para el desarrollo de Trabajo de Grado</i> .....	22
<b>Figura 2.</b> <i>Clasificación de prácticas según el ranking</i> .....	27
<b>Figura 3.</b> <i>Publicaciones por año (2019-2024)</i> .....	30
<b>Figura 4.</b> <i>Documentos publicados por país (2019-2024)</i> .....	30
<b>Figura 5.</b> <i>Análisis de concurrencia en Vosviewer</i> .....	31

**Resumen**

**Título:** Revisión sistemática de literatura de las innovaciones que favorecen la eficiencia energética en sectores industriales de América Latina y el Caribe \*

**Autor:** Camilo Andrés Támara Guevara \*\*

**Palabras Claves:** Eficiencia Energética, Tecnologías de Innovación, Análisis de literatura, Sector Energético.

**Descripción:**

La optimización sostenible de la eficiencia energética en sectores industriales se ha convertido en una prioridad fundamental en el panorama mundial. La necesidad de reducir el consumo de recursos energéticos y minimizar el impacto ambiental ha adquirido una relevancia sin precedentes, especialmente en un contexto de aumento de la demanda energética y creciente conciencia sobre los efectos adversos del cambio climático. A través de una revisión sistemática de literatura se exploran las innovaciones para la mejora sostenible de la eficiencia energética, para el sector industrial, como una oportunidad no solo de reducir los costos operativos y promover un uso más eficiente y sostenible de los recursos energético. Si no, también, para dar cumplimiento con las regulaciones y estándares ambientales establecidos por los gobiernos y las organizaciones internacionales.

El presente proyecto tiene como objetivo identificar las herramientas, técnicas y prácticas de innovación que sirvan como guía para la implementación exitosa de la mejora sostenible de la eficiencia energética en el sector industrial de América Latina y el Caribe. Esta investigación se centrará en evaluar la efectividad de diversas tecnologías emergentes, incluyendo el Internet de las cosas, Big Data, inteligencia artificial y gemelos digitales, en el contexto específico de la región. Además, se analizarán estudios de caso y mejores prácticas para adaptar soluciones innovadoras que sean viables y escalables, contribuyendo así a la reducción de costos energéticos y al impacto ambiental positivo. Este enfoque integral permitirá a las industrias de la región no solo cumplir con las normativas ambientales, sino también mejorar su competitividad y sostenibilidad a largo plazo.

**Abstract**

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Ferney Mauricio Calderón, MBA Maestría en Gerencia de Negocios

**Title:** Systematic Literature Review of Innovations that Favor Energy Efficiency in Industrial Sectors of Latin America and the Caribbean \*

**Author:** Camilo Andrés Támara Guevara \*\*

**Keywords:** Energy Efficiency, Innovation Technologies, Literature Review, Energy Sector

## Description

The sustainable optimization of energy efficiency in industrial sectors has become a fundamental priority on the global stage. The need to reduce energy resource consumption and minimize environmental impact has acquired unprecedented relevance, especially in a context of increasing energy demand and growing awareness of the adverse effects of climate change. Through a systematic literature review, innovations for the sustainable improvement of energy efficiency in the industrial sector are explored as an opportunity not only to reduce operational costs and promote a more efficient and sustainable use of energy resources, but also to comply with environmental regulations and standards established by governments and international organizations.

This project aims to identify the tools, techniques, and innovative practices that serve as a guide for the successful implementation of sustainable energy efficiency improvements in the industrial sector of Latin America and the Caribbean. This research will focus on evaluating the effectiveness of various emerging technologies, including the Internet of things, Big Data, artificial intelligence, and digital twins, in the specific context of the region. Additionally, case studies and best practices will be analyzed to adapt innovative solutions that are viable and scalable, thereby contributing to the reduction of energy costs and positive environmental impact. This comprehensive approach will enable industries in the region not only to comply with environmental regulations but also to enhance their competitiveness and long-term sustainability

---

\* Degree Work

\*\* Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Industrial and Business Studies. Director: Ferney Mauricio Calderón, MBA Master in Business Administration.

## Introducción

Los sectores industriales de la región enfrentan desafíos significativos en términos de eficiencia energética, dado el crecimiento económico y la demanda energética en constante aumento. La combinación de estos factores no solo incrementa los costos operativos para las industrias, sino que también intensifica la presión sobre los recursos naturales y contribuye negativamente al cambio climático. En este sentido, los profesionales e investigadores dedicados a este campo tienen la responsabilidad de identificar y adoptar tecnologías innovadoras que permitan maximizar la eficiencia de los recursos energéticos y minimizar el impacto ambiental.

En el contexto actual de transición hacia energías renovables y sostenibles, las tecnologías emergentes están asumiendo un rol de creciente relevancia en la transformación de los procesos industriales. La implementación de estas nuevas prácticas de innovación no solo puede mejorar la eficiencia energética de las industrias, sino que también puede contribuir significativamente a la sostenibilidad ambiental y a la competitividad en el mercado global.

La adopción de tecnologías de monitoreo, sistemas de gestión y planificación energética, entre otras, ofrecen oportunidades para aumentar la eficiencia energética y promover la sostenibilidad en diversas industrias de América Latina y el Caribe. Por ejemplo, las tecnologías de monitoreo exhaustivo y en tiempo real detallado del consumo energético facilita la identificación de áreas de ineficiencia y el desarrollo de medidas correctivas. Por otra parte, el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y la digitalización, están transformando radicalmente la manera en que se gestionan y consumen los recursos energéticos en las industrias. Estas innovaciones permiten un control más preciso y una optimización continua del uso de la energía, lo que significa una mayor eficiencia y menores costos operativos.

Considerando la literatura disponible y la premisa de que la implementación de estas tecnologías puede generar beneficios significativos, es esencial que los profesionales y gerentes de los sectores industriales estén al tanto de las tendencias emergentes y de cómo estas se están implementando en la práctica. Por consiguiente, el presente proyecto de investigación tiene como propósito identificar y clasificar las tendencias más significativas en cuanto a eficiencia energética dentro de los sectores industriales en América Latina y el Caribe. Este estudio busca reconocer las prácticas actuales y emergentes, y analizar cómo estas tendencias pueden ser aplicadas de manera efectiva para mejorar la sostenibilidad y reducir el consumo de energía en estas regiones, así como evaluar cómo están siendo implementadas.

El presente proyecto comprende una revisión exhaustiva de la literatura científica y pretende contribuir al conocimiento académico proporcionando herramientas prácticas y recomendaciones útiles para los profesionales y gerentes industriales, ayudándoles a enfrentar los desafíos energéticos de manera más eficaz y sostenible. La adopción de prácticas innovadoras y tecnologías avanzadas puede tanto mejorar la eficiencia energética de las industrias, como también asegurar su competitividad y sostenibilidad a largo plazo, en un entorno que está cada vez más al tanto de la salud ambiental.

**Tabla de cumplimiento de objetivos****Tabla 1.** *Tabla cumplimiento de objetivos*

<b>Objetivo</b>	<b>Cumplimiento</b>
Realizar una revisión de literatura que permita identificar las prácticas que se están utilizando actualmente en los sectores industriales de alto consumo de energía.	Capítulo 5 Página 29
Evaluar la aplicabilidad y efectividad de las prácticas de eficiencia energética sostenible mediante un análisis comparativo de casos de estudio.	Capítulo 6 Página 49
Elaborar un artículo de carácter publicable donde se documenten los resultados obtenidos y recomendaciones para la implementación de innovaciones.	Capítulo 7 Página 68

## 1 Planteamiento del Problema

La eficiencia energética se ha posicionado como una preocupación clave en el ámbito industrial, no solo como una medida para reducir costos operativos, sino también como un factor clave para abordar los desafíos ambientales y de sostenibilidad. En América Latina y el Caribe, regiones caracterizadas por una diversidad de sectores industriales, existe una creciente necesidad de adoptar e implementar innovaciones que impulsen la eficiencia energética (IEA, 2023). A pesar de las iniciativas emprendidas en la región para promover prácticas sostenibles en la industria, persisten desafíos significativos relacionados con la adopción generalizada de tecnologías y estrategias que mejoren el uso de la energía. La falta de información consolidada y la dispersión de conocimientos sobre las innovaciones disponibles constituyen barreras importantes que dificultan el avance hacia una mayor eficiencia energética.

En este contexto, resulta claro la necesidad de realizar una revisión exhaustiva de la literatura existente que analice detalladamente las innovaciones implementadas en los sectores industriales de América Latina y el Caribe, con el fin de detectar las prácticas más efectivas y las tendencias emergentes en materia de eficiencia energética. Esta revisión permitirá comprender el panorama actual de las iniciativas llevadas a cabo en la región, así como identificar áreas de oportunidad y desafíos pendientes de abordar.

Este estudio tiene como propósito explorar y evaluar el conocimiento más avanzado acerca de las técnicas de innovación que favorecen la eficiencia energética en entornos industriales de América latina y el Caribe. La investigación busca responder preguntas como: ¿Qué innovaciones están promoviendo la eficiencia energética en los sectores industriales de América Latina y el Caribe? ¿Qué resultados específicos se han obtenido tras su aplicación en escenarios reales? ¿Cuáles son los desafíos y oportunidades más significativos vinculados a estas innovaciones?

## **2 Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Analizar las técnicas, métodos o herramientas de innovación implementadas para la mejora sostenible de la eficiencia energética en sectores industriales de América latina y Caribe.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Realizar una revisión de literatura que permita identificar las prácticas que se están utilizando actualmente en los sectores industriales de alto consumo de energía.

Evaluar la aplicabilidad y efectividad de las prácticas de eficiencia energética sostenible mediante un análisis comparativo de casos de estudio.

Elaborar un artículo de carácter publicable donde se documenten los resultados obtenidos y recomendaciones para la implementación de innovaciones.

### **3 Marco referencial**

#### **3.1 Marco de Teórico**

Para llevar a cabo una ejecución óptima del proyecto de investigación, es esencial comenzar por establecer claramente los términos y métodos que se utilizarán en la búsqueda, selección y análisis del contenido relevante al tema. Esto incluye, entre otros aspectos, definir qué se entiende por innovación, el concepto de eficiencia energética, revisión de literatura y la definición de sector industrial. Estas definiciones no solo proporcionan un marco conceptual claro, sino que también guían el proceso investigativo, asegurando coherencia y rigor en cada etapa del estudio. Al definir estos términos desde el inicio, se facilita la comunicación y comprensión del enfoque y alcance del proyecto tanto para los investigadores como para los lectores.

##### ***3.1.1 Innovación***

Se define como la conversión de ideas y conocimientos en productos, procesos o servicios optimizados para el mercado, adaptándose a las demandas de ciudadanos, empresas y entidades gubernamentales dentro de un contexto específico (Francisco Corma Canós, 2009). En relación con la eficiencia energética en sectores industriales, la innovación no sólo se limita al desarrollo de nuevas tecnologías, sino también a la implementación de procesos y métodos que optimicen el uso de recursos y energía (Sánchez & Fuquen Gonzalez, 2014). El concepto de innovación en este contexto implica la aplicación de técnicas avanzadas como el análisis de grandes datos, la automatización y la integración de sistemas inteligentes para mejorar la gestión energética. Estas tecnologías permiten a las empresas detectar ineficiencias y ajustar procesos en tiempo real, lo que conduce a una reducción significativa en el consumo de energía y en la emisión de gases de efecto invernadero. La innovación también puede incluir el desarrollo y aplicación de políticas y estrategias que fomenten un cambio sistemático hacia prácticas más sostenibles. Esto incluye la

implementación de normativas que incentiven el uso de energías renovables, así como impulsar la economía circular promoviendo el reciclaje y la reutilización de materiales, reduciendo el desperdicio.

### ***3.1.2 Eficiencia energética***

(Evelise Leite Didoné et al., 2014) definen la eficiencia energética (EE) como un conjunto de acciones realizadas con el propósito de disminuir considerablemente el consumo de energía utilizada para producir bienes o servicios. La eficiencia energética es fundamental, no solo para disminuir los costos operativos, sino también para mejorar la competitividad y mitigar la huella ambiental. En el contexto de los sectores industriales, la eficiencia energética no se limita simplemente a la adopción de tecnologías avanzadas, sino que también implica la implementación de procesos que optimicen el consumo energético y mejoren la gestión de los recursos energéticos (Webster Moreira Dos Santos, 2018).

El concepto de eficiencia energética abarca la aplicación de innovaciones tecnológicas como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y la big data para monitorear y gestionar de manera eficiente el consumo energético. Estas tecnologías ofrecen a las industrias herramientas para detectar ineficiencias en tiempo real, permitiendo ajustes inmediatos que conducen a una reducción significativa en el uso de energía y la liberación de gases de efecto invernadero. Además, la eficiencia energética también incluye el desarrollo e implementación de políticas y estrategias que promueven un cambio sistemático hacia prácticas más sostenibles, como la adopción de regulaciones que incentiven el uso de energías renovables y el impulso de la economía circular mediante actividades de reciclaje y reaprovechamiento de materiales (Andrés Escobar Díaz, 2020). Estas acciones no solo promueven la sostenibilidad ambiental al reducir el impacto ecológico, sino que también garantizan la capacidad de mantener la rentabilidad

económica en el futuro de las empresas que las adoptan. Al minimizar los costos asociados a la adquisición de materias primas y la gestión de residuos, las empresas pueden mejorar su eficiencia operativa y competitividad en el mercado, asegurando un modelo de negocio más sostenible y rentable (Pedro Linares Llamas, n.d.).

### ***3.1.3 Revisión de Literatura***

Se define como el proceso exhaustivo y sistemático de recopilación, evaluación y síntesis de la información existente sobre un tema específico, con el objetivo de determinar el nivel actual de entendimiento, identificar brechas en la investigación y proporcionar un contexto teórico y metodológico para nuevos estudios (Guirao-Goris et al., 2008). Este proceso implica la identificación y análisis crítico de fuentes académicas y científicas, tales como libros, artículos de revistas, tesis, informes y documentos oficiales (García-Peñalvo, 2022). En el contexto de la eficiencia energética en sectores industriales, la revisión de literatura no solo permite comprender las innovaciones tecnológicas y metodológicas desarrolladas hasta la fecha, sino también evaluar su eficacia y aplicabilidad en diferentes escenarios industriales.

La revisión de literatura debe seguir una metodología rigurosa que incluya la definición de criterios de inclusión y exclusión, la búsqueda sistemática en bases de datos relevantes, y el uso de herramientas de análisis cualitativo y cuantitativo para sintetizar los hallazgos. Esta metodología asegura que la revisión sea exhaustiva, imparcial y replicable. Además, una revisión bien estructurada puede proporcionar insights valiosos sobre las tendencias emergentes, las mejores prácticas y los desafíos persistentes en el campo de estudio (Sabatés & Roca, 2020). En el ámbito de la eficiencia energética, una revisión de literatura explorar diversos enfoques, desde la implementación de tecnologías de punta como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT) en la gestión energética, hasta políticas y regulaciones que promuevan la sostenibilidad.

También puede incluir estudios de caso que demuestren cómo diferentes industrias han logrado reducir su consumo energético y sus emisiones de carbono mediante la adopción de innovaciones tecnológicas y estrategias de gestión avanzadas.

Al finalizar la revisión de literatura, se deben presentar conclusiones claras que resuman los hallazgos más relevantes, y se deben proponer áreas para futuras investigaciones. Esto no solo ayuda a consolidar el conocimiento existente, sino que también guía a los investigadores y profesionales en la implementación de prácticas más efectivas y sostenibles en la eficiencia energética industrial.

#### ***3.1.4 Sector Industrial***

Los sectores industriales se definen como conglomerados de empresas y actividades económicas dedicadas a la producción de bienes y servicios mediante la transformación de materias primas y la utilización de recursos energéticos y tecnológicos (Castillo, 2016). Estos sectores incluyen una amplia variedad de industrias como la manufacturera, la minera, la química, la textil, y la de alimentos y bebidas, entre otras. Cada sector se caracteriza por sus propios procesos de producción, requisitos de infraestructura y normativas específicas.

En el ámbito de la eficiencia energética, los sectores industriales desempeñan un papel crucial debido a su alto consumo de energía y su potencial para implementar mejoras significativas en la gestión y uso de los recursos. La eficiencia energética en estos sectores no solo se refiere a la adopción de tecnologías avanzadas, sino también a la reingeniería de procesos, la optimización de operaciones y la integración de prácticas sostenibles. Esto puede incluir la modernización de equipos, la adopción de sistemas de administración energética fundamentados en estándares internacionales como ISO 50001, y el uso de fuentes de energía renovable.

La estructura y características de los sectores industriales varían considerablemente según la región y el tipo de industria. Factores como el nivel de desarrollo tecnológico, las políticas gubernamentales, las condiciones del mercado y la disponibilidad de recursos naturales influyen en la forma en que las industrias operan y adoptan medidas de eficiencia energética. Por ejemplo, en regiones donde las políticas gubernamentales promueven activamente la sostenibilidad, las industrias pueden recibir incentivos para invertir en tecnologías limpias y prácticas de producción más eficientes. Asimismo, la cooperación entre diversos actores, como gobiernos, instituciones académicas y ONG, es esencial para fomentar la innovación y mejorar la eficiencia energética en los sectores industriales. Programas de capacitación, investigación y desarrollo (I+D), y financiamiento para proyectos de energía sostenible son algunas de las estrategias que pueden fomentar la adopción de tecnologías y métodos avanzados. Los sectores industriales también tienen la capacidad de influir en otros sectores económicos y sociales a través de sus prácticas de eficiencia energética. La implementación de tecnologías avanzadas y la adopción de políticas sostenibles reducen los costos operativos y mejoran la competitividad y juegan un papel fundamental en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y en la lucha contra la crisis climática. Por lo tanto, los avances en la eficiencia energética en los sectores industriales benefician a las empresas individualmente y también tienen beneficios significativos para la sociedad (DANE, 2021).

Los sectores industriales son fundamentales para la economía global y tienen un gran potencial para liderar la transición hacia un futuro más sostenible a través de la adopción de prácticas y tecnologías de eficiencia energética. La definición y análisis de estos sectores, su estructura, desafíos y oportunidades, son esenciales para el desarrollo de estrategias efectivas que promuevan la sostenibilidad y la competitividad a largo plazo.

### **3.2 Marco de Antecedentes**

El estudio titulado "Cambio transformacional en América Latina y el Caribe: Un enfoque de política orientada por misiones" (Mazzucato, 2023) llevada a cabo por Mariana Mazzucato, quien se desempeña como Profesora de Economía de la Innovación y Valor Público, tiene como propósito principal respaldar a los gobiernos de la región en su camino hacia la construcción de un futuro más sostenible.

La investigación destaca la Estrategia Energética Sustentable 2030 en América Latina y el Caribe como un enfoque estratégico para mejorar la eficiencia energética y cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La implementación de esta estrategia no solo busca la integración energética regional y el aumento del uso de energías renovables, sino que también enfatiza la importancia de la cooperación supranacional para alcanzar metas más ambiciosas en eficiencia energética. Esto se traduce en una oportunidad clave para la región de optimizar recursos, promover la sostenibilidad y fortalecer el mercado energético regional, abordando desafíos como la seguridad energética y el cambio climático, lo cual alinea directamente con varios objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular aquellos vinculados con la energía asequible y limpia (ODS 7) y la acción climática (ODS 13). El informe sostiene que América Latina y el Caribe podrían beneficiarse significativamente, mediante la adopción de políticas orientadas por misiones en sus estrategias industriales y de innovación ya que, al centrarse en objetivos claros y ambiciosos, se podría acelerar el desarrollo y la implementación de tecnologías y procesos innovadores que reduzcan el consumo energético y mejoren la sostenibilidad en los sectores industriales de la región.

“Modelo de Optimización del Sistema de Energía Colombiano para la Configuración de una Canasta Energética Sostenible” (Antonio & Niño, 2022) muestra un estudio llevado a cabo en la Universidad Industrial de Santander (UIS), cuya metodología aplicada consistió en el desarrollo de un modelo de optimización del sistema de energía colombiano utilizando la programación lineal, con el objetivo de proponer configuraciones óptimas de la canasta energética para los próximos 30 años. El estudio utilizó una extensa base de datos y modelado de escenarios para evaluar diversas configuraciones que equilibren la reducción del cambio climático, la seguridad en el suministro energético y la accesibilidad económica.

Entre las conclusiones del estudio, se resalta la importancia de considerar todas las opciones tecnológicas disponibles y potenciales para reducir las emisiones y los costos operativos asociados al mantenimiento del sistema energético. Este enfoque permitió proponer estrategias efectivas para mejorar la eficiencia del sistema energético colombiano a largo plazo, destacando la integración de energías renovables y la mejora en la eficiencia energética. Cabe destacar que el estudio se centró en métodos tradicionales de análisis y optimización sin utilizar técnicas avanzadas como el aprendizaje automático, pero proporcionando un marco sólido para la toma de decisiones en política energética.

En el proyecto de investigación “Revisión de la literatura de las metodologías de innovación más utilizadas en los últimos 5 años en el contexto global: casos de innovación del sector energético” (Iván Daniel Niño Moreno, 2023) se tiene como objetivo identificar las metodologías de innovación más utilizadas en los procesos de innovación del sector energético global entre 2018 y 2022. La metodología consistió en realizar una revisión sistemática de literatura, utilizando para ello Scopus y Web of Science, para identificar y analizar las metodologías de innovación más destacadas en el sector energético durante el periodo estudiado.

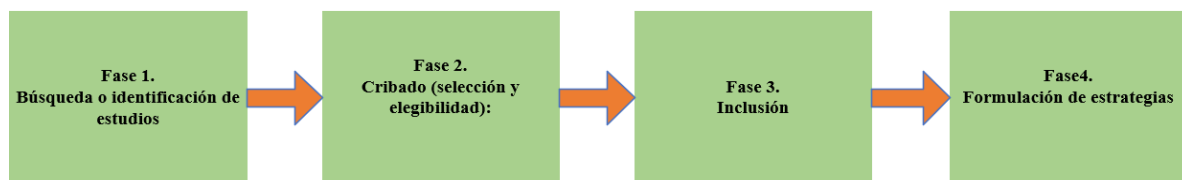
El análisis se centró en metodologías como Open Innovation, Design Thinking, TRIZ, Lean Startup, y Agile Methods, evaluando su efectividad y aplicabilidad en diferentes contextos geográficos y culturales.

Entre las conclusiones, se establece que metodologías como Open Innovation y Agile Methods han demostrado ser particularmente efectivas en el sector energético. La colaboración con actores externos y enfoques centrados en la sostenibilidad son relevantes para abordar los desafíos específicos de la industria energética. Además, se destaca la necesidad de adaptar estas metodologías a las condiciones particulares de cada empresa y región para maximizar su impacto.

La investigación enfatiza que una revisión de literatura detallada es esencial para comprender el estado del arte en innovación y para guiar a las empresas en la selección de metodologías adecuadas para sus necesidades específicas. Este estudio contribuye al conocimiento sobre las tendencias y prácticas de innovación en el sector energético, proporcionando un fundamento robusto para investigaciones futuras y aplicaciones prácticas en la industria.

#### **4 Metodología**

El proyecto de investigación tiene objetivo explorar y analizar detalladamente las estrategias, técnicas y herramientas de innovación que promueven la eficiencia energética de forma sostenible en los sectores industriales de América Latina y el Caribe. Para el desarrollo del trabajo de investigación se adaptará el método PRISMA el cual es un enfoque metodológico destacado por su precisión y confiabilidad en revisiones sistemáticas. Las fases metodológicas seleccionadas para este análisis se detallan a continuación:

**Figura 1.** Metodología para el desarrollo de Trabajo de Grado

*Nota: adaptado de Page et al. 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. For more information, visit: <http://www.prisma-statement.org/>*

#### 4.1 Fase 1 – Búsqueda o identificación de estudios

##### 4.1.1 Ecuación de búsqueda

Se realiza una búsqueda preliminar mediante Google Académico y el buscador general de la Biblioteca de la Universidad, con el fin de identificar los términos claves para la construcción inicial de la ecuación de búsqueda, obteniendo los siguientes grupos de palabras:

- Innovation, process Innovation, technological innovation, practices, techniques, methods, applications, tools.
- Energy efficiency, energy conservation, energy management, energy consumption, Renewable energy, green technologies, clean technologies, sustainability, sustainable development, environmental impact analysis.
- Industry, industrial sector, industrial enterprises, industrial companies, industrial machinery, manufacturing, production plants, industry 4.0

Con estos términos claves se procede a estructurar la primera versión de la ecuación de búsqueda de información referente a la temática de investigación:

(innovation OR “process Innovation” OR “technological innovation” OR practice OR technique OR method OR application OR tool) AND ( “energy efficiency” OR “energy

conservation” OR “energy management” OR “energy consumption” OR “renewable energy” OR “green technologies” OR “clean technologies” OR sustainability OR “sustainable development” OR “environmental impact analysis”) AND (industry OR “industrial sector” OR “industrial enterprises” OR “industrial companies” OR “industrial machinery” OR manufacturing “production plant” OR “industry 4.0”)

La inclusión de los grupos de palabras clave en la revisión de literatura está cuidadosamente justificada para garantizar una búsqueda exhaustiva y precisa en el contexto del tema de investigación. En primer lugar, se utilizan términos relacionados con la innovación (como "innovation", "process innovation", "technological innovation", "practices", "techniques", "methods", "applications", "tools") para capturar una amplia gama de estudios que aborden no solo la innovación en general, sino también su aplicación en procesos, técnicas, y herramientas específicas en el ámbito industrial. Esto es crucial para identificar los desarrollos más recientes y relevantes que puedan tener un impacto directo en la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en el sector. En segundo lugar, los términos relacionados con la eficiencia energética y la sostenibilidad (como "energy efficiency", "energy conservation", "energy management", "energy consumption", "renewable energy", "green technologies", "clean technologies", "sustainability", "sustainable development", "environmental impact analysis") son fundamentales, dado que la investigación se centra en cómo las innovaciones pueden contribuir a la eficiencia energética dentro de la industria. Estos términos permiten identificar estudios que no solo traten sobre la eficiencia energética, sino que también exploren la implementación de tecnologías limpias y renovables, así como la gestión del impacto ambiental y el desarrollo sostenible, asegurando una cobertura completa del tema. Finalmente, se incluyen términos que delimitan la búsqueda al **sector industrial** (como "industry", "industrial sector", "industrial enterprises", "industrial companies",

"industrial machinery", "manufacturing", "production plants", "industry 4.0"). Esto es esencial para enfocar la búsqueda en investigaciones que sean directamente aplicables al contexto industrial, garantizando que los resultados obtenidos sean relevantes para el estudio de cómo las innovaciones pueden ser implementadas para mejorar la eficiencia energética en este sector específico. En conjunto, estos términos estructuran una ecuación de búsqueda que permite explorar de manera efectiva la intersección entre innovación, eficiencia energética, y el sector industrial, proporcionando una base sólida para la revisión de literatura.

#### ***4.1.2 Selección de base de datos***

La selección de Scopus como la base de datos principal para llevar a cabo la revisión sistemática de literatura es una decisión estratégica fundamentada en una serie de ventajas y características distintivas que esta plataforma ofrece. Estas ventajas no solo facilitarán el proceso de investigación, sino que también garantizarán la calidad y la exhaustividad de nuestra revisión, así como la relevancia y el valor significativo que aportará a nuestro proyecto.

La base de datos contiene una gran diversidad de documentos académicos relevantes para el proyecto, lo que permitirá explorar y acceder a una variedad de investigaciones relacionadas con la eficiencia energética en sectores industriales en América Latina y el Caribe. Además, Scopus ofrece acceso a revistas internacionales de alta calidad, lo que significa que se puede confiar en la fiabilidad y el rigor académico de las fuentes que se consultarán. Al acceder a estudios publicados en revistas bien establecidas y respetadas en el campo de la eficiencia energética y la industria, se garantiza la calidad y la credibilidad de los datos y análisis que se incorporarán en la revisión. Finalmente, la actualización regular de la base de datos de Scopus asegura el acceso a las últimas

investigaciones y desarrollos en el campo de la eficiencia energética en sectores industriales, lo que permite mantener la revisión actualizada y relevante

#### 4.1.3 Formulación ecuación de búsqueda

Teniendo en cuenta los criterios iniciales para la búsqueda, se realizan iteraciones en la base de datos Scopus, para encontrar resultados que contengan esta información en su título, resumen o palabras clave; obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 2.** Ecuación de búsqueda

<i>Bases de Datos</i>	<i>Ecuación de búsqueda</i>	<i>Resultados</i>
Scopus	<p><i>TITLE-ABS-KEY((innovation OR “<a href="#">process Innovation</a>” OR “technological innovation” OR practice OR technique OR method OR application OR tool) AND ( “energy efficiency” OR “energy conservation” OR “energy management” OR “energy consumption” OR “renewable energy” OR “green technologies” OR “clean technologies” OR sustainability OR “sustainable development” OR “environmental impact analysis”) AND (industry OR “industrial sector” OR “industrial enterprises” OR “industrial companies” OR “industrial machinery” OR manufacturing “production plant” OR “industry 4.0”))</i></p>	3.200

Con esta ecuación, en Scopus, se obtuvo un total de 3.084 documentos. Este exhaustivo proceso de revisión y selección permite la identificación de las fuentes más relevantes y confiables, y establece un marco teórico sólido para el desarrollo del proyecto. Al determinar la literatura

clave, se asegurará que la investigación esté fundamentada en los estudios más actuales y pertinentes, proporcionando así una base firme que guiará cada una de las etapas del proyecto, partiendo del diseño hasta la implementación y posteriormente análisis de resultados.

#### 4.2 Fase 2- Cribado (selección y elegibilidad)

Para la selección de los documentos más adecuados para esta revisión sistemática, se definen algunos criterios de inclusión, exclusión y calidad, como los siguientes:

**Tabla 3.** *Criterios de inclusión y exclusión*

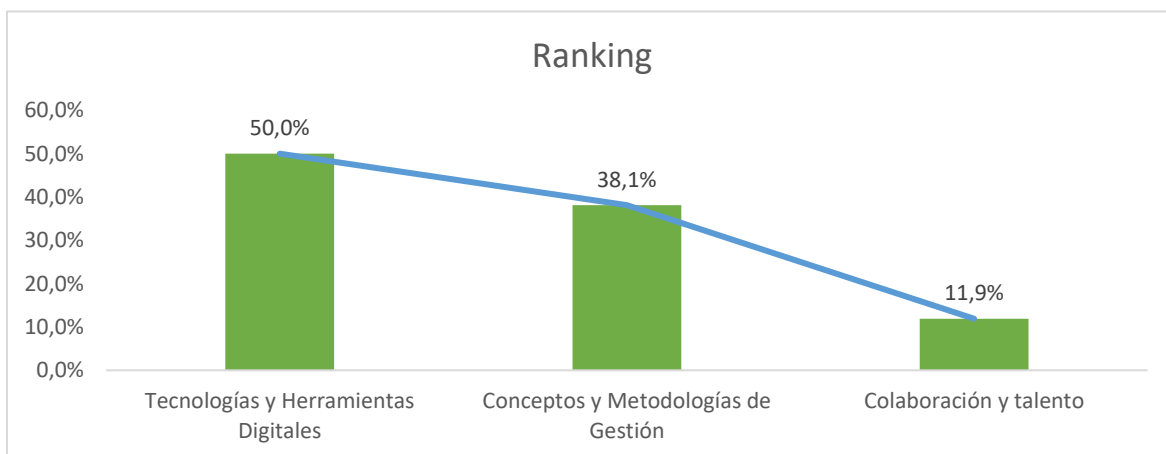
<b>Criterios</b>	<b>Descripción</b>
<b>De Inclusión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registros en bases de datos vinculados al tema de estudio.</li> <li>• Publicaciones correspondientes al período entre 2019 y 2024.</li> <li>• Investigaciones realizadas en países o territorios de América Latina y el Caribe.</li> <li>• Documentos disponibles en inglés o español.</li> <li>• Área relacionada con la temática: Energía, ingeniería, administración, manufactura, operaciones, economía, finanzas y ciencia de las decisiones.</li> <li>• Documentos como: Casos de estudio, artículos y conferencias</li> </ul>
<b>De Exclusión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documentos en formato preliminar o resumido que aún no han sido reemplazados por una versión completa.</li> <li>• Boletines, comunicados de prensa o memorandos</li> </ul>
<b>De Calidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artículos que, a pesar de coincidir con los términos de búsqueda, no están directamente vinculados al tema de interés.</li> </ul>

Usando la ecuación de búsqueda inicial, se identificaron 3.084 artículos en la base de datos Scopus. Posteriormente, se aplicaron los criterios previamente mencionados, reduciendo así el número de artículos a 160 para el estudio final.

### 4.3 Fase 3 – Inclusión

Se lleva a cabo un análisis exhaustivo de la literatura, el cual incluye la revisión minuciosa de un total de 43 artículos seleccionados tras un proceso riguroso de filtrado utilizando una matriz que abarca datos fundamentales como el identificador único, el título del artículo, su categoría y las técnicas innovadoras empleadas para mejorar la eficiencia energética. Esta evaluación inicial se realizó con el propósito de identificar las innovaciones más destacadas en el campo de estudio. Posteriormente, se elabora un ranking que clasifica, como propuesta del autor, los artículos en función de tres (3) grandes grupos: Tecnología y herramientas digitales, conceptos y metodologías de gestión, y colaboración y talento. Para una visualización más detallada de estos hallazgos, se proporciona en el apéndice una matriz A que resume esta información. En la Figura 2, se presentan los porcentajes de participación de cada una de estas tecnologías en el conjunto de artículos analizados.

**Figura 2.** Clasificación de prácticas según el ranking



Tras una evaluación detallada, se revela que las tecnologías y herramientas digitales han captado una atención notable en la investigación, representando un sólido porcentaje del 50%. Este enfoque refleja el creciente impacto de la transformación digital en los diferentes sectores

industriales. Dentro de este ámbito, se destacan tecnologías como la Inteligencia Artificial, Gemelos Digitales y Monitorización. Por otro lado, los conceptos y metodologías de gestión emergen como un área de interés igualmente relevante, con un sólido 38,1% de incidencia en los estudios examinados, se exploran aspectos como economía circular y Six sigma. Finalmente, aunque en menor medida, la colaboración y el talento también ocupan un espacio significativo, representando un 11,9% de participación en la investigación. Este aspecto destaca la importancia de las habilidades interpersonales, la cultura organizacional y la gestión del talento en el marco de la innovación tecnológica y la transformación. Se abordan aspectos clave como la adaptación de valores y comportamientos dentro de la empresa, la adopción de estrategias para atraer, desarrollar y retener personal altamente capacitado, y la creación de un ecosistema idóneo para la creatividad y la adopción de nuevas tecnologías. Esta sinergia entre cultura y talento es fundamental para impulsar el cambio y sostener la competitividad en un contexto empresarial en continua evolución.

Estos hallazgos sugieren un panorama diverso y dinámico en el campo de estudio, donde convergen las tecnologías emergentes, las estrategias de gestión y el capital humano como elementos fundamentales para favorecer la eficiencia energética en sectores industriales de América latina y Caribe.

#### **4.4 Fase 4 – Formulación de estrategias**

Esta sección ofrece un comprendido de las innovaciones más destacadas que promueven la eficiencia energética en los sectores industriales de América Latina y el Caribe, fundamentadas en la literatura reciente. Además de identificar las tecnologías y metodologías más comunes, se evalúa su aplicabilidad y efectividad en sectores industriales específicos de la región. Se presentan en detalle los hallazgos fundamentales y las principales innovaciones descubiertas a lo largo del proyecto de investigación. También se abarca un análisis exhaustivo sobre la integración eficiente

de estas innovaciones, subrayando los factores cruciales para su selección, puesta en marcha y optimización en los distintos sectores industriales de la región.

Se concluye esta sección elaborando un artículo final que reúne todos los descubrimientos y resultados clave. Este documento presenta un análisis detallado de las tendencias en innovación para la eficiencia energética en América Latina y el Caribe. Además, proporciona un marco de referencia valioso tanto para futuras investigaciones como para aplicaciones prácticas en el sector industrial de la región. También, sintetiza los hallazgos más relevantes y ofrece recomendaciones y perspectivas para impulsar mejoras continuas en la eficiencia energética a través de innovaciones tecnológicas y metodológicas.

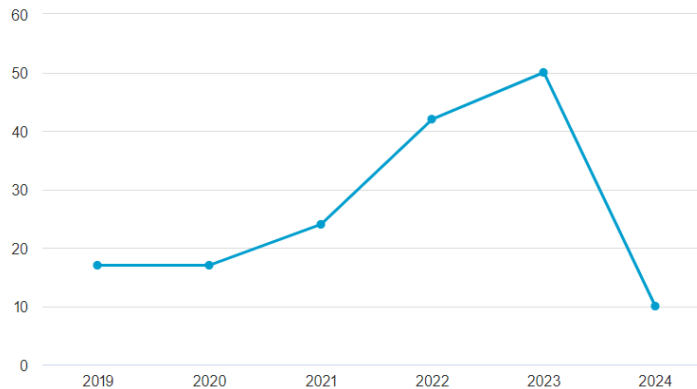
## **5 Revisión de la literatura**

### **5.1 Análisis bibliográfico**

En el presente análisis bibliométrico se examina la evolución de la investigación sobre innovaciones que favorecen la eficiencia energética en sectores industriales de América Latina y el Caribe, utilizando datos de publicaciones entre 2019 y 2024 obtenidos de la base de datos Scopus. Este estudio revela una tendencia creciente en la cantidad de publicaciones anuales, destacando un interés sostenido y en aumento en la región por explorar y adoptar tecnologías emergentes que mejoren la eficiencia energética. Adicionalmente, se presenta un análisis detallado de la distribución geográfica de las publicaciones, evidenciando que Brasil lidera en contribuciones científicas, seguido por México y Colombia. La herramienta VOSviewer se utilizó para mapear las redes de co-ocurrencia de términos clave, revelando una interrelación estrecha entre estas áreas de investigación y la aplicación de tecnologías avanzadas en la mejora de la eficiencia energética industrial. Utilizando la ecuación de búsqueda establecida (ver sección

4.1.3), se realiza un análisis bibliométrico exhaustivo de los 160 artículos seleccionados. Este análisis tiene como objetivo evaluar la relevancia, impacto y tendencias de los estudios en el ámbito de la eficiencia energética, proporcionando una visión completa de las contribuciones más significativas en este campo.

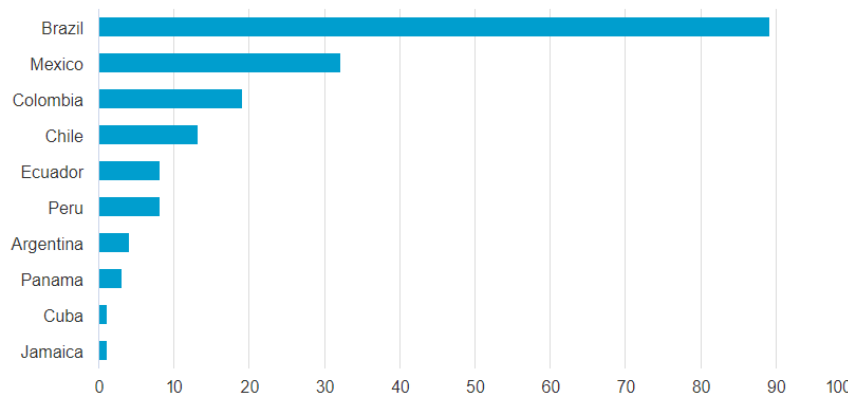
**Figura 3.** *Publicaciones por año (2019-2024)*



Nota. Adaptado por Scopus

De acuerdo, al rango de años estudiados que fue (2019-2023) se evidencia una tendencia alcista en la cantidad de documentos publicados año tras año. Este aumento progresivo sugiere un creciente interés dentro de la industria latinoamericana y caribeña de explorar e implementar nuevas tendencias tecnológicas que promuevan la eficiencia energética en sus procesos. No obstante, hasta marzo del presente año (2024) se contempla una disminución en el número de publicaciones, con solo 10 registradas. Esto podría atribuirse al hecho de que solo se ha considerado una fracción del año y aún falta el resto del año para completar el análisis.

**Figura 4.** *Documentos publicados por país (2019-2024)*

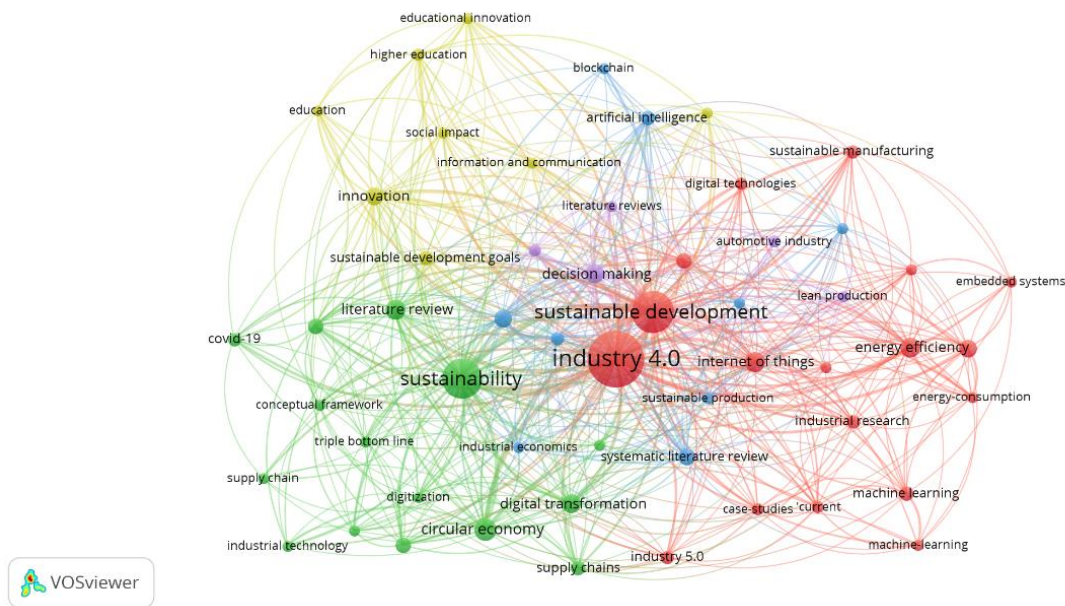


Nota. Adaptado de Scopus

Según los datos presentados en la Figura 2, se observa que Brasil fue el país con el mayor porcentaje de participación en la publicación de documentos, con aproximadamente 89 publicaciones. Le siguen México con 32 publicaciones, Colombia con 19, Chile con 13, Ecuador y Perú con 8 cada uno, Argentina con 4, Panamá con 3 y, por último, Cuba y Jamaica con una (1) publicación cada uno, lo que indica que son los países con menos publicaciones. Finalmente, se evidencia una distribución variada en la contribución de diferentes países a la producción de documentos en este campo, siendo Brasil el país líder en este aspecto.

## 5.2 Análisis en VOSviewer

VOSviewer es un software especializado en la creación y visualización de redes bibliométricas, facilitando el análisis y representación de datos bibliográficos. Se utiliza para crear mapas de redes de co-citación, coautoría y términos clave, permitiendo identificar patrones, relaciones y tendencias en la literatura científica. En el presente proyecto, la herramienta VOSviewer se utiliza para construir y visualizar redes bibliométricas que permitieron analizar la relación entre diferentes conceptos clave y temas relevantes en el ámbito de las innovaciones que favorecen la eficiencia energética en sectores industriales de América Latina y el Caribe

**Figura 5.** *Análisis de concurrencia en Vosviewer*

Nota: Adaptado de Vosviewer

De acuerdo con los resultados obtenidos por la herramienta se observa que VOSviewer posee la capacidad de analizar la co-ocurrencia de palabras clave o términos relevantes para la investigación, donde utilizando la base de datos de Scopus y abarcando publicaciones comprendidas entre los años 2019 y 2024, se evidencia que la palabra "Industria 4.0" destaca como la más fuertemente relacionada con todas las demás, seguida por "desarrollo sostenible", "sostenibilidad", "eficiencia energética", "transformación digital", entre otras. Los nodos más grandes como "industry 4.0", "sustainable development", y "sustainability" indican que estos son los temas más frecuentemente mencionados y relevantes en la literatura revisada. La prominencia de estos términos sugiere que las innovaciones en eficiencia energética están fuertemente relacionadas con estos conceptos. Los colores diferentes representan clusters o grupos de temas que están relacionados entre sí. Por ejemplo, el cluster rojo, que incluye términos como "industry 4.0", "energy efficiency", "sustainable production", y "machine

learning", muestra una relación estrecha entre estas áreas, sugiriendo que la investigación sobre la eficiencia energética en la industria se centra en gran medida en la intersección de estas tecnologías y práctica. Las líneas que conectan los nodos representan la co-ocurrencia de términos en los documentos revisados. Las conexiones densas entre términos como "sustainable development", "industry 4.0", y "sustainability" indican que estos temas son frecuentemente discutidos juntos, lo que sugiere una interdependencia y relevancia mutua en el contexto de las innovaciones para la eficiencia energética. Por último, términos como "blockchain", "artificial intelligence", y "internet of things" en el cluster azul muestran áreas emergentes que están empezando a ganar atención en la investigación. Esto puede indicar nuevas direcciones para futuros estudios e innovaciones en eficiencia energética

### **5.3 Análisis de la literatura**

La innovación es un proceso fundamental para el progreso y la transformación en diversos ámbitos, desde la tecnología hasta la cultura. Se trata de la creación y aplicación de ideas nuevas y significativas, que generan valor tanto en términos económicos como sociales. La innovación puede adoptar múltiples formas, tales como la creación de bienes o servicios innovadores, la optimización de procesos ya existentes, la implementación de estrategias empresariales novedosas o el diseño de nuevos modelos de negocio completamente innovadores. Estas manifestaciones de la innovación no solo impulsan el crecimiento y la competitividad de las empresas, sino que también les permiten adaptarse a los constantes cambios de demanda del mercado y a aprovechar oportunidades emergentes (Guerrero, 2023).

La innovación en la eficiencia energética es un área fundamental para progresar hacia un futuro más ecológico y sostenible. Se trata de un conjunto de esfuerzos enfocados en desarrollar e

implementar tecnologías, prácticas y procesos que permitan reducir la cantidad de energía necesaria para llevar a cabo actividades cotidianas, industriales y comerciales, sin comprometer la calidad de vida ni la productividad (Prias & Montaña, 2014). Ante necesaria tarea, es imprescindible identificar las innovaciones actuales que favorecen la mejora de la eficiencia energética sostenible. En ese sentido, se expone en la **Tabla 3** las innovaciones encontradas en el análisis bibliométrico y sus definiciones según distintos autores.

**Tabla 4.** *Definición de prácticas de innovación según autores*

Grupo	Innovación	Definición	Autores
Herramientas Digitales	Inteligencia Artificial	Un sistema basado en máquinas que deduce a partir de la información recibida cómo producir resultados, tales como predicciones, contenido, recomendaciones o decisiones que pueden impactar en entornos físicos o virtuales.	(Alami et al., 2024)
		Sistemas modelados sobre representaciones matemáticas de las sinapsis neuronales humanas y tienen como objetivo imitar el aprendizaje humano	(Hennessy et al., 2024)
		La habilidad de los programas informáticos para funcionar de manera similar a como el pensamiento humano realiza sus procesos de aprendizaje y reconocimiento.	(Del Carmen Sosa Sierra, n.d.)
		Es una de las principales componentes de la Industria 4.0, que permite a las máquinas pensar, aprender y tomar decisiones	(Javaid, Haleem, Singh, Suman, & Gonzalez, 2022a)
		Software que simula digitalmente una realidad física, pudiendo un sistema o proceso	(Varas Chiquito et al., 2020)
		Plantas virtuales equipadas con una arquitectura y capacidades que las hacen útiles para gestionar y optimizar procesos	(de Prada et al., 2022a)
		Modelo de simulación altamente preciso empleado para el análisis detallado y la optimización de procesos	(Orive et al., 2021)
		Tecnología que permite procesar y analizar extensos conjuntos de datos producidos por diversas fuentes,	(Javaid, Haleem, Singh, Suman, & Gonzalez, 2022a)

	incluyendo sensores, dispositivos IoT, y sistemas de gestión.	
<b>Big Data</b>	Se define como una tecnología que facilita el análisis y manejo de grandes volúmenes de datos.	(Colmenares-Quintero et al., 2021)
	Herramienta con capacidad avanzada de procesamiento de datos diseñada para identificar correlaciones y establecer patrones de comportamiento, facilitando el entendimiento y el control de procesos físicos.	(Hernán Santiso et al., 2020)
	Se refiere al uso de dispositivos para la adquisición, procesamiento, integración y transmisión de información en instantes.	(Broday & Gameiro da Silva, 2023)
<b>Monitorización</b>	Es al proceso de recopilación, almacenamiento y visualización de información sobre el flujo de energía en máquinas y equipos de procesos industriales en tiempo real.	(Fontoura et al., 2023)
	Es observación continua, la detección y la medición de variables específicas con el uso de tecnologías adecuadas, como los sensores y redes de sensores, para la recopilación y transmisión de datos en tiempo real	(Cacciuttolo et al., 2023)
	Se refiere a la integración de dispositivos y sistemas interconectados mediante sensores, que facilitan la recopilación y el intercambio de datos.	(Souza et al., 2022)
<b>Métodos de Decisión Multicriterio</b>	Herramientas y enfoques que permiten a los tomadores de decisiones (DM) evaluar y priorizar diferentes alternativas basándose en varios factores, proporcionando un marco estructurado para la toma de decisiones complejas	(L. B. L. Da Silva et al., 2023)
	Enfoque de toma de decisiones que implica la evaluación y posteriormente selección de alternativas basadas en múltiples criterios que a menudo son conflictivos	(Shang et al., 2022)
<b>Economía Circular</b>	Un modelo que transforma la falta de recursos en oportunidades y ventajas. Su objetivo es producir eficientemente, considerando el medio ambiente y enfocándose en minimizar los desechos mediante la reutilización	(Ana Laura Imbernó Díaz & Lourdes Souto Anido, 2023)

<b>Conceptos y Metodologías de Gestión</b>		Modelo de producción que incentiva reutilizar y reciclar materiales tantas veces como sea posible, con el fin de generar un valor añadido.	(Clayson Cosme da Costa Pimenta, 2021)
		Alternativa de producción que promueve la eficiencia en el uso de recursos, integrando prácticas sostenibles y ecológicas para minimizar el desperdicio y proteger el medioambiente.	(Gloria Aponte, 2022)
		Conjunto de pasos sistemáticos empleados para detectar y solucionar fallas en los procesos, con el objetivo de aumentar la producción y disminuir las pérdidas durante los procedimientos .	(Yasser Fernando Román Matamoros, 2023)
	<b>Six Sigma</b>	Metodología de mejora continua que proporciona una estructura sistemática para la identificación y resolución de problemas, con el objetivo de maximizar la calidad de los procuto.	(Caballero-Morales et al., 2023)
		Metodología estructurada de mejora continua que se centra en disminuir la variabilidad en los procesos y erradicar defectos mediante un marco disciplinado y basado en datos.	(Hines et al., 2023)
<b>Colaboración y Talento</b>		Gestión organizacional enfocado en el desarrollo y de las competencias específicas de los colaboradores para maximizar los resultados corporativos.	(Junior Santamaría Ruiz et al., 2022)
	<b>Talento Humano</b>	Conjunto de políticas y prácticas esenciales para gestionar el capital humano, abarcando el reclutamiento, la selección, la formación, las recompensas y la evaluación del desempeño	(Wendy De Jesus Ospina Orozco, 2023)
	<b>Internet de las personas</b>	Es un enfoque donde los dispositivos personales, actúan como extensiones activas de sus usuarios, recopilando, procesando datos, tomando decisiones comunicándose directamente.	(Marco Conti et al., 2022)

### ***5.3.1 Tecnología y herramientas digitales***

La transformación digital es ahora un componente esencial para el avance sostenible de la eficiencia energética en el sector industrial. En la medida en que los países de América Latina y el Caribe exploran vías para optimizar sus recursos energéticos, las tecnologías y herramientas digitales propias de la Industria 4.0 se destacan como facilitadores cruciales en este esfuerzo (Javaid, et al., 2022).

#### **5.3.1.1 Inteligencia Artificial (IA)**

La integración de la Inteligencia Artificial (IA) en los sectores industriales representa un cambio paradigmático hacia operaciones más eficientes y sostenibles. La IA se ha posicionado como una fuerza impulsora para desbloquear potenciales de eficiencia energética que tradicionalmente han permanecido inexplorados debido a la complejidad de los patrones de consumo y la falta de sistemas de gestión energética avanzados. En América Latina y el Caribe, regiones que enfrentan retos singulares en términos de sostenibilidad energética y variabilidad en la infraestructura, la IA ofrece un abanico de posibilidades para impulsar la eficiencia y la autogestión energética. Con la capacidad de procesar y analizar volúmenes masivos de datos, los sistemas basados en IA pueden prever demandas energéticas y ajustar el consumo de manera proactiva. Esta proactividad es esencial en entornos industriales donde los picos de demanda no sólo son costosos, sino también perjudiciales para la longevidad de la maquinaria y el medio ambiente. Artículos como el presentado por (Ahmad et al., 2022) destaca la aplicación de inteligencia artificial en el análisis del consumo energético para identificar tendencias, ineficiencias y oportunidades de mejora.

El análisis profundo de patrones complejos de datos es una de las mayores contribuciones de la IA en la eficiencia energética. Herramientas de big data y aprendizaje automático, tal como

se detalla en las investigaciones de (Dal Forno et al., 2023), permiten la creación de modelos energéticos que simulan escenarios y predicen resultados con una precisión sin precedentes. Esta modelización predictiva es esencial para desarrollar estrategias energéticas que no solo respondan a las necesidades actuales, sino que también se anticipen a las futuras, garantizando así un desarrollo sostenible a largo plazo. Más allá del análisis predictivo, la IA también facilita la automatización de procesos. La capacidad para realizar ajustes en tiempo real sobre sistemas energéticos complejos sin intervención humana directa se transforma en una ventaja, reduciendo costos operativos y mejorando la eficiencia global. Javaid et al. (2022) señala la adaptabilidad y aprendizaje continuo que la IA proporciona asegura que las estrategias energéticas se mantengan relevantes y eficaces frente a los cambios en la producción y el mercado.

Según los estudios realizados por (de Prada et al., 2022), la IA mejora la eficiencia energética y promueve prácticas de sostenibilidad, alineando las operaciones industriales con los ODS y los compromisos climáticos globales.

### **5.3.1.2 Gemelos Digitales**

La tecnología de los gemelos digitales, identificada como una frontera avanzada en la gestión de la eficiencia energética, permite simular precisamente procesos industriales, facilitando optimizaciones que antes eran inconcebibles sin intervenciones físicas directas (de Prada et al., 2022). Se describen a los gemelos digitales no solo como réplicas virtuales de sistemas físicos, sino como plataformas dinámicas que integran IoT, IA y análisis masivo de datos para ofrecer nuevas perspectivas en la gestión y el ahorro energético. Estas tecnologías permiten predecir el rendimiento de los sistemas y anticipar fallos mediante el análisis continuo de datos recopilados en tiempo real. Por otra parte, la implementación de gemelos digitales en la industria manufacturera de América Latina, ilustran cómo esta tecnología no solo optimiza el

consumo de energía, sino que también mejora la sostenibilidad de las operaciones. El gemelo digital, al simular diferentes escenarios de operación, permite a las empresas experimentar con ajustes en los procesos sin riesgos, asegurando así la máxima eficiencia energética.

En el contexto del análisis de costos y beneficios, de Prada et al. (2022) resaltan que, aunque la inversión inicial en tecnologías de gemelos digitales puede ser considerable, los retornos por la reducción del consumo energético y la mejora en la eficiencia operativa justifican el desembolso. Este punto es vital, especialmente en regiones donde los costos energéticos son significativos y donde la eficiencia puede traducirse directamente en ventajas competitivas. La investigación también resalta la importancia de la fase de adopción de los gemelos digitales, sugiriendo que la capacitación y el soporte técnico continuo son fundamentales para explotar completamente sus capacidades. El estudio de estos autores propone un modelo de integración gradual, donde las empresas comienzan con proyectos piloto que les permiten ajustar y adaptar la tecnología a sus procesos específicos antes de una implementación completa.

Finalmente, la perspectiva de futuro para los gemelos digitales en la industria es prometedora. Según (Howard et al., n.d.), se prevé que la próxima década traiga una adopción masiva de esta tecnología, impulsada por avances en inteligencia artificial y machine learning que harán los modelos aún más precisos y útiles para la toma de decisiones en el instante. Esta evolución continuará reduciendo los obstáculos de costos y complejidad, haciéndolos accesibles para un espectro más amplio de empresas y potenciando su impacto en la eficiencia energética a nivel global.

### **5.3.1.3 Monitorización**

La monitorización energética se define como una práctica esencial para comprender y gestionar el consumo de energía dentro de los procesos industriales, algo que ha ganado

relevancia particular en América Latina y el Caribe en su búsqueda de la sostenibilidad energética (Javier et al., 2021). Esta técnica permite a las industrias no solo identificar patrones de consumo, sino también implementar mejoras proactivas para maximizar el uso de los recursos energéticos. Según (Fontoura et al., 2023), la implementación efectiva de sistemas de monitorización puede disminuir significativamente el consumo de energía destacando su importancia estratégica en la gestión industrial moderna. Además, la adopción innovaciones como el Internet de las Cosas (IoT) y la Inteligencia Artificial (IA) ha transformado la monitorización energética de una función pasiva a una actividad altamente interactiva y predictiva. (Cacciuttolo et al., 2023) describe cómo los dispositivos IoT facilitan la recopilación de datos al instante, mientras que la IA permite un análisis profundo de estos datos para prever tendencias y optimizar los flujos de energía automáticamente. La monitorización energética permite una respuesta rápida y eficaz a posibles problemas energéticos, minimizando el tiempo de inactividad y aumentando la fiabilidad de los equipos. Esta capacidad de anticipación y respuesta no solo asegura el cumplimiento de las regulaciones internacionales de sostenibilidad, sino que también fortalece la competitividad de las empresas al adoptar prácticas energéticas más eficientes y sostenibles. Este enfoque se encarga tanto de mejorar la eficiencia energética, como también de contribuir a disminución de los costos operativos y la mejora la conservación ambiental al reducir la huella de carbono de las industrias.

La monitorización energética en América Latina y el Caribe es un componente crítico para alcanzar la eficiencia energética y la sostenibilidad en la industria. Con el apoyo de tecnologías avanzadas como IoT, IA, las empresas pueden obtener una visibilidad sin precedentes de sus operaciones energéticas. Estas herramientas permiten una mayor eficiencia en

la predicción de demandas energéticas, una optimización más efectiva de los recursos y una capacidad de respuesta ágil ante fluctuaciones y necesidades emergentes.

### **Big Data**

Es una tecnología de análisis de datos masivos que actualmente se reconoce y estudia ampliamente en el ámbito académico y es prominente en la gestión de operaciones industriales. Su integración en los sistemas de producción y gestión ha permitido una mayor capacidad de análisis y optimización, lo que contribuye significativamente a la disminución del consumo energético y al progreso de la sostenibilidad operativa (Ángel Gómez Degraes, 2021).

Big Data facilita la recolección y análisis de enormes cantidades de datos al instante, permitiendo identificar patrones de consumo energético y la detección de ineficiencias en los procesos industriales. Esta capacidad de análisis detallado permite a las empresas tomar decisiones informadas acerca de la gestión de sus recursos energéticos, optimizando el uso de energía en diferentes etapas de la producción y reduciendo así el desperdicio (Colmenares-Quintero et al., 2021). Por ejemplo, a través del análisis de datos históricos y en tiempo real, es posible ajustar las operaciones para que se realicen durante los periodos de menor demanda energética. Esto optimiza el uso de la energía y disminuye los costos relacionados al consumo en horas pico. Al identificar estos patrones de demanda, las industrias pueden programar sus actividades más intensivas en energía en momentos en los que la red eléctrica no está tan saturada, evitando sobrecargas y mejorando la estabilidad del suministro energético. Además, esta capacidad de ajustar las operaciones en función de la demanda energética contribuye a la eficiencia operativa y a la sostenibilidad, alineándose con los objetivos de reducción de emisiones y ahorro de recursos.

El documento "Operations Management, Sustainability & Industry 5.0: A critical analysis and future agenda" (Javaid, Haleem, Singh, Suman, & Gonzalez, 2022a) destaca que Big Data, junto con otras tecnologías emergentes, constituyen el centro de la transformación digital hacia operaciones más sostenibles. La implementación de estas tecnologías ofrece un enfoque más holístico y equilibrado hacia la sostenibilidad, teniendo en cuenta aspectos económicos, junto con los impactos ambientales y las consecuencias sociales. Este enfoque integrado es esencial para avanzar hacia objetivos de desarrollo sostenible y para construir industrias más resilientes y adaptadas a los desafíos del futuro.

### ***5.3.2 Conceptos y metodologías de gestión***

Los conceptos y metodologías de gestión se pueden abordar desde varias metodologías que integran tecnologías avanzadas y prácticas operativas que disminuyen el consumo de energía y los gases contaminantes. Este enfoque multidisciplinario incluye desde la adopción de sistemas de gestión de energía (SGE) bajo normativas como la ISO 50001, hasta el uso de herramientas de big data para analizar y optimizar el consumo energético en tiempo real (TÜV SÜD, 2018). Además, las estrategias de innovación no se limitan solo a la adopción de tecnologías, sino que también abarcan cambios en los procesos y en la cultura organizacional. Por ejemplo, la adopción de metodologías de trabajo como Six Sigma y modelos de producción y consumo como la Economía Circular, que mejoran la eficiencia de los recursos, y prolongan la vida útil del equipo (T. H. H. Silva & Sehnem, 2022).

#### **5.3.2.1 Decisión multicriterio en la eficiencia energética**

La gestión sostenible de la energía en los sectores industriales de América Latina y el Caribe requiere la adopción de enfoques multicriterio sofisticados. Estos enfoques permiten

evaluar simultáneamente múltiples aspectos, como costos, beneficios ambientales y viabilidad técnica, ofreciendo una perspectiva integral en la toma de decisiones. La integración de métodos de decisión multicriterio (MCDM/A) se han posicionado como una fuerza impulsora para desbloquear potenciales de eficiencia que tradicionalmente han permanecido inexplorados debido a la complejidad de los patrones de consumo y la falta de sistemas avanzados de gestión energética en América Latina y el Caribe, regiones que enfrentan retos singulares en términos de sostenibilidad energética y variabilidad en la infraestructura, los MCDM/A ofrecen un abanico de posibilidades para impulsar la eficiencia y la autogestión energética. Con la capacidad de evaluar múltiples criterios y alternativas de manera simultánea, los métodos basados en MCDM/A pueden prever demandas energéticas y ajustar el consumo de manera proactiva. Esta proactividad es esencial en entornos industriales donde los picos de demanda no solo son costosos, sino también perjudiciales para el medio ambiente.

Artículos como el presentado por (L. B. L. Da Silva et al., 2023) destacan la aplicación de métodos multicriterio en el análisis del consumo energético para identificar tendencias, ineficiencias y oportunidades de mejora. El análisis profundo de patrones complejos de datos es una de las mayores contribuciones de los MCDM/A en la eficiencia energética. Herramientas como el método PROMETHEE y el análisis ELECTRE, tal como se detalla en las investigaciones del documento, permiten la creación de modelos energéticos que simulan escenarios y predicen resultados con una precisión sin precedentes. Esta modelización predictiva es decisiva para desarrollar estrategias energéticas que logren responder a las necesidades actuales y anticiparse a las futuras, garantizando así un desarrollo sostenible a largo plazo.

### 5.3.2.2 Six Sigma

Originada como una metodología para reducir errores en los procesos de manufactura, ha evolucionado hacia un enfoque integral en la gestión de operaciones para mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética. Según (Mora-Contreras et al., 2022), esta metodología se aplica tanto para mejorar la calidad de los bienes y servicios, como también para minimizar el consumo de recursos y energía en los procesos industriales. Se destaca que la integración de Six Sigma en la gestión energética permite a las empresas disminuir costos y reducir su impacto en el medio ambiente. Esta integración, se realiza a través de la identificación precisa de los desperdicios energéticos y la aplicación de soluciones fundamentadas basadas en información para mejorar la eficiencia.

La adopción de Six Sigma en América Latina y el Caribe presenta varios desafíos, incluyendo la resistencia al cambio y la falta de capacitación especializada (Leite Monti Vieira et al., 2018). No obstante, como señalan las empresas que han implementado Six Sigma reportan no solo reducciones significativas en el consumo energético sino también mejoras en la moral del personal debido a la participación en los proyectos de mejora continua.

Un estudio de (Sebastian & Orozco, n.d.) sobre la industria manufacturera en Colombia, muestra que después de aplicar Six Sigma, las fábricas lograron reducir su consumo energético en un 15% anual, demostrando así el potencial de esta metodología para contribuir a la sostenibilidad energética. Finalmente, el futuro de Six Sigma en la región parece prometedor. Con el aumento de las políticas de sostenibilidad y los incentivos para la eficiencia energética, más empresas están considerando Six Sigma no solo como una herramienta de calidad, sino como un componente esencial para la gestión energética integral. Así, la metodología permite a

las empresas a dar cumplimiento con las regulaciones ambientales más estrictas y adelantarse a las tendencias globales de reducción de huella de carbono y gestión sostenible.

### **5.3.2.3 Economía Circular**

La transición hacia la economía circular es una estrategia clave para alcanzar la sostenibilidad en la industria. Esta aproximación no solo promueve la reducción de residuos, sino que también maximiza el uso eficiente de los recursos, incluyendo la energía. Varios estudios recientes han destacado la relevancia de implementar principios de economía circular para mejorar la eficiencia energética en los sectores industriales de la región.

Mora-Contreras et al. (2022) argumenta que la adopción de sistemas de gestión de residuos y reciclaje dentro de las industrias puede reducir significativamente el consumo energético al minimizar la cantidad de materias primas vírgenes requeridas en los procesos de producción. Esta reducción es vital, ya que la producción de materiales a partir de recursos reciclados consume, en general, menos energía que la fabricación a partir de materiales vírgenes. Por otro lado, Satyro et al. (2023) en su estudio sobre la implementación de prácticas de economía circular en la industria en Brasil, encontraron que las técnicas de reutilización de agua y energía pueden disminuir el consumo energético total hasta en un 40%. Estos sistemas de cogeneración aprovechan los residuos industriales para generar energía, contribuyendo así a una mayor eficiencia energética y a la disminución de la dependencia de fuentes de energía no renovables.

La investigación de (Natalia Gilardini, 2019) sobre la bioeconomía en la agroindustria argentina resalta cómo la conversión de residuos biológicos en bioenergía representa una solución prometedora. La bioenergía obtenida a partir de residuos biológicos contribuye significativamente a la disminución de la dependencia de combustibles fósiles. Esto es crucial en

un contexto global donde la demanda de energías renovables está en constante crecimiento debido a la necesidad de mitigar el cambio climático. Este enfoque mejora la eficiencia energética al transformar los residuos, que de otro modo serían desperdiciados, en una valiosa fuente de energía. La gestión eficiente de residuos y su conversión en bioenergía pueden disminuir los costos operativos y mejorar la sostenibilidad económica de las operaciones agroindustriales. Esto, a su vez, puede impulsar la competitividad de la agroindustria en el mercado global, ya que las prácticas sostenibles y la eficiencia energética son cada vez más valoradas por consumidores y socios comerciales.

Al aprovechar los residuos agrícolas, la agroindustria puede disminuir la dependencia de combustibles fósiles y con ello, reducir los gases contaminantes que producen el efecto invernadero, alineándose con los objetivos de mitigación de la huella de carbono.

### ***5.3.3 Colaboración y talento***

Colaboración y la gestión del talento emergen como pilares fundamentales en la implementación de técnicas de innovación para mejorar la eficiencia energética en los sectores industriales de América Latina y el Caribe. De acuerdo con (Riosvelasco-Monroy et al., 2022), la colaboración efectiva entre departamentos y la inclusión de equipos multidisciplinarios potencian la adopción de tecnologías sostenibles y mejoran los resultados energéticos de las organizaciones. Este enfoque colaborativo, al integrar diversas habilidades y perspectivas, conduce a una optimización más robusta de los recursos y procesos. Por otro lado, la capacidad de las organizaciones para atraer y retener talento calificado se correlaciona directamente con su éxito en la implementación de prácticas de eficiencia energética. La investigación por parte de (Mahlmann Kipper et al., 2020) destacan que el desarrollo continuo del talento, especialmente en habilidades relacionadas con la sostenibilidad y la gestión energética, es determinante para

mantener la competitividad y alcanzar los objetivos de sostenibilidad. La formación y capacitación constantes aseguran que los empleados no solo comprendan las tecnologías emergentes, sino que también estén equipados para implementarlas eficazmente. Además, resalta la importancia de los sistemas de gestión de talento que utilizan algoritmos avanzados para identificar las necesidades de habilidades futuras. Estos sistemas permiten a las empresas anticiparse a los cambios en el mercado laboral y ajustar sus estrategias de formación y reclutamiento en consecuencia.

El estudio de (Gladysz et al., 2023) proporciona un ejemplo concreto de cómo la sinergia entre equipos bien gestionados y tecnologías avanzadas, como el software de gestión energética, puede resultar en ahorros significativos y en la promoción de una cultura de eficiencia energética. El compromiso del personal, fortalecido a través de políticas de incentivos y reconocimiento, juega un papel determinante en la adopción y el éxito de estas tecnologías. Finalmente, la colaboración no se limita a las fronteras internas de la empresa, sino que también se extiende a redes externas con otras empresas, universidades y centros de investigación. Esta apertura no solo enriquece el conocimiento y la experiencia internos, sino que también fomenta innovaciones que pueden ser críticas para el avance de la eficiencia energética en la región.

En conjunto, estos estudios subrayan que una estrategia integrada que combine la gestión eficaz del talento con una sólida cultura de colaboración es indispensable para que las industrias latinoamericanas y caribeñas mejoren su eficiencia energética de manera sostenible.

#### **5.3.3.1 Talento humano**

La integración de talento humano especializado en los sectores industriales representa un cambio paradigmático hacia operaciones más eficientes y sostenibles. La formación y desarrollo de competencias en áreas clave se han posicionado como una fuerza impulsora para desbloquear

potenciales de eficiencia energética que tradicionalmente han permanecido inexplorados debido a la complejidad de los procesos industriales y la falta de conocimientos técnicos avanzados. En América Latina y el Caribe, regiones que enfrentan retos singulares en términos de sostenibilidad energética y variabilidad en la infraestructura, el desarrollo de habilidades y competencias especializadas ofrece un abanico de posibilidades para impulsar la eficiencia y la autogestión energética.

Con la capacidad de gestionar y aplicar conocimientos técnicos avanzados, los profesionales especializados pueden prever demandas energéticas y ajustar el consumo de manera proactiva. Esta proactividad es esencial en entornos industriales donde los picos de demanda no solo son costosos, sino también perjudiciales para la longevidad de la maquinaria y el medio ambiente. Artículos como el presentado por (Rivera et al., 2020) destacan la importancia de las competencias en innovación y sostenibilidad en la educación de ingenieros, señalando que estas habilidades son necesarias para enfrentar los desafíos de la Industria 4.0 y los ODS.

### **5.3.3.2 Internet de las personas**

El "Internet de las Personas" (IoP, por sus siglas en inglés) es un nuevo enfoque para el uso de la tecnología y las redes que pone a los seres humanos y sus dispositivos personales en el centro de la interacción con la red. A diferencia de la Internet tradicional, que se enfoca principalmente en conectar dispositivos e infraestructura, el IoP se centra en cómo las personas y sus dispositivos personales interactúan con la red y entre sí, volviendo al dispositivo un participante activo. Estos dispositivos operan en el mundo cibernético como representantes de los humanos, tomando

decisiones sobre las funciones de red y la diseminación de datos, basándose en el comportamiento humano en el mundo físico (Marco Conti et al., 2022).

Los dispositivos personales, como smartphones, pueden actuar como sensores y actuadores inteligentes que monitorean el entorno y las actividades humanas al instante. Estos dispositivos almacenan datos sobre el consumo de energía y las condiciones ambientales, lo que permite una administración más precisa y efectiva de los recursos energéticos. Por ejemplo, pueden ajustar de manera automática la intensidad de luz y la climatización en edificios según la presencia y las preferencias de los usuarios, reduciendo así el consumo de energía innecesario.

El IoP promueve una mayor participación y conciencia del usuario en la gestión de la energía. A través de aplicaciones y plataformas interactivas, los usuarios pueden recibir retroalimentación en el instante sobre su consumo de energía y obtener recomendaciones para mejorar su eficiencia energética. Esta participación fomenta comportamientos más sostenibles y el uso responsable de los recursos energéticos.

## **6 Aplicabilidad y efectividad de las innovaciones**

### **6.1 Innovaciones en eficiencia energética para el sector minero**

La eficiencia energética es de suma relevancia en el sector de la minería debido a varios factores que impactan tanto económica como ambientalmente. La minería es una industria altamente intensiva en energía, donde el consumo energético representa una parte significativa de los costos operativos. Mejorar la eficiencia energética puede resultar en reducciones sustanciales de costos, aumentando así la competitividad de las empresas mineras. Desde una perspectiva ambiental, mejorar la eficiencia energética en la minería ayuda a mitigar la liberación de gases

responsables del efecto invernadero, apoyando los esfuerzos globales para mitigar el cambio climático. En el contexto de las políticas de sostenibilidad, la eficiencia energética se convierte en un instrumento clave para lograr cumplir con los objetivos de desarrollo y con la regulaciones ambientales cada vez más estrictas.

La adopción de tecnologías de monitorización se presenta en este sector como una forma revolucionaria en la mejora de la eficiencia energética. (Cacciuttolo et al., 2023) expone que anteriormente el monitoreo y control en la minería dependían en gran medida de métodos manuales, donde las operaciones de control implicaban registrar datos a mano, lo que resultaba en procesos menos precisos y más lentos. Razón por la cual, se emplearon sensores avanzados y sistemas de monitoreo al instante para recopilar datos sobre el consumo de energía y el rendimiento de los equipos mineros. Estos datos permitieron identificar ineficiencias y áreas donde se podía mejorar el uso de energía, logrando no solo reducir los costos operativos, sino también contribuir a los objetivos de sostenibilidad de las empresas mineras.

En Colombia, las industrias son responsables del 42% del consumo total de energía del país. Dentro de este sector industrial, la minería y las canteras son particularmente destacadas, ya que representan el 25% del consumo de energía entre los usuarios no regulados (Marin Garcia et al., 2021). Este dato subraya la importancia de estos sectores en la demanda energética y señala la necesidad de enfocarse en prácticas de eficiencia energética para reducir su impacto en el consumo nacional.

En el documento “Implementation of an Energy Management System in Colombian Manufacturing - A Methodological Approach” de (Marin Garcia et al., 2021), se analiza la implementación de un Sistema de Gestión de Energía (EnMS) en una fábrica de minería de oro en Colombia. El EnMS implica la integración de tecnologías, procesos y estrategias para

monitorear, controlar y optimizar el consumo energético en una organización. Incluye la implementación de estructuras organizativas e informativas con sensores IoT que capturen los datos al instante sobre el consumo energético en diferentes puntos del proceso de producción, modelos ontológicos y el análisis de Big Data para identificar ineficiencias y oportunidades de mejora en el uso de energía.

La implementación se realizó en una línea de producción específica caracterizada por un alto consumo energético y un grado medio de automatización. Se llevó a cabo un análisis detallado de los procesos de producción, el grado de automatización, las fuentes de información existentes y los dispositivos que proporcionan datos. Antes de la implementación del EnMS, la planta tenía un consumo energético elevado debido procesos poco optimizados (Falta de supervisión continua, análisis de datos limitado y dependencia manual). Tras la implementación del EnMS, el consumo energético se redujo significativamente. Por ejemplo, la línea de trituración experimentó una reducción del 15% en el consumo energético.

La integración de tecnologías avanzadas y métodos ontológicos permitieron identificar ineficiencias y optimizar el uso de energía logrando una mejora en la eficiencia energética del 20%, además de la reducción en el consumo energético también se tuvo un impacto positivo en los costos de operación y las emisiones de gases contaminantes. La planta reportó una disminución del 10% en los costos relacionados con el consumo de energía y una reducción del 12% en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **6.2 Innovaciones en eficiencia energética para el sector manufacturero**

El sector textil consume grandes cantidades de agua y energía, y produce una significativa cantidad de desechos en toda la cadena de suministro. En México, esta industria es un importante contribuyente al PIB, pero enfrenta desafíos debido a su infraestructura

tecnológica limitada, lo que lleva a un rendimiento ineficiente y una significativa generación de desechos. La adopción de tecnologías de la Industria 4.0 puede apoyar los esfuerzos sostenibles para disminuir este impacto ambiental y mejorar el rendimiento industria El trabajo titulado “Six-Sigma Reference Model for Industry 4.0 Implementations in Textile SMEs” (Caballero-Morales et al., 2023) presenta un esquema de implementación que se basa en el ciclo DMAIC de Six Sigma, y se complementa con elementos clave de la Industria 4.0, como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y el análisis de big data. Inicialmente, se identificó la necesidad de mejorar la eficiencia en la producción de calcetines, enfocándose en la implementación de tecnologías avanzadas para reducir residuos y optimizar el uso de energía. A continuación, Se instalaron sensores inteligentes para recolectar información al instante sobre el consumo de energía y recursos a lo largo de todo el proceso de producción. Estos sensores transmiten la información recopilada a una plataforma en la nube, donde se almacena de manera segura. Una vez almacenados, se utilizan técnicas avanzadas de análisis de big data para procesar estos datos, lo que permite identificar patrones de uso, detectar anomalías y predecir posibles problemas antes de que ocurran. Finalmente, la monitorización permite a los operadores realizar ajustes y correcciones en las máquinas desde ubicaciones remotas, mejorando la capacidad de respuesta y reduciendo el tiempo de inactividad. Por ejemplo, durante el proceso de teñido, se llevaron a cabo ajustes precisos en la temperatura y el tiempo de ciclo con el propósito de disminuir el consumo de energía. Al emplear un enfoque basado en datos y utilizando algoritmos de optimización, se logró determinar las condiciones ideales que permitían mantener la calidad del producto final sin desperdiciar recursos. La adopción de las tecnologías de la industria 4.0 en la industria textil permitió:

- **Aumentar la producción:** La producción se incrementó en un 80%, pasando de 50 a 90 unidades por día.
- **Reducir residuos:** La tasa de residuos disminuyó en un 30%, gracias a la optimización de los procesos de teñido y costura.
- **Eficiencia energética:** La implementación de sistemas de monitorización en tiempo real permitió una reducción del consumo energético en un 20%.

La integración de tecnologías de la Industria 4.0 ha permitido la adopción de nuevas herramientas y paradigmas que obligan a reconfigurar la forma en que los gerentes diseñan, desarrollan y toman decisiones. La adopción de métodos de decisión multicriterio es crucial para manejar las múltiples y, a menudo, conflictivas alternativas y criterios presentes en los sistemas de manufactura modernos.

El caso de estudio expuesto en “Paradigms, Methods, and Tools for Multicriteria Decision Models in Sustainable Industry 4.0 Oriented Manufacturing Systems” (Lucas Borges Leal Da Silva et al., 2023) examina la integración de un sistema de administración energética en una planta industrial que emplea métodos de MCDM/A (Multi-Criteria Decision Making/Aiding) para mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética. El proceso comienza con la identificación de los criterios relevantes, que incluyen factores económicos, ambientales y operacionales. Estos criterios se ponderan según las preferencias de los tomadores de decisiones (DM), utilizando métodos como el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y el Método de Ordenación por Preferencia por Similitud a la Solución Ideal (TOPSIS). La adopción del sistema de administración energética basado en MCDM/A condujo a una notable reducción en el uso de energía y en las emisiones de gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Por ejemplo, la planta logró reducir su consumo energético de aproximadamente 120 kWh por

tonelada de producción a 95 kWh por tonelada, lo que representa una mejora del 20.8% y gracias a la optimización de procesos y la disminución en el consumo energético, las emisiones de CO<sub>2</sub> también se redujeron en un 15%. El uso de métodos de decisión multicriterio, como AHP y TOPSIS, permitió a la planta industrial seleccionar e implementar la tecnología más eficiente desde una perspectiva energética y ambiental.

Este caso de estudio demuestra cómo la adopción de prácticas y tecnologías innovadoras, guiadas por una metodología de decisión bien estructurada, puede tener un impacto significativo en la eficiencia energética y la sostenibilidad en el sector manufacturero.

### **6.3 Innovaciones en eficiencia energética para el sector de la construcción**

El documento (Satyro et al., 2023) destaca la adopción de fábricas inteligentes y la digitalización como métodos de innovación clave para mejorar la eficiencia energética. Estos métodos se basan en el uso de tecnologías avanzadas como el Big Data, la automatización y la fabricación avanzada. Antes de la implementación de estos métodos innovadores, la eficiencia energética en muchas plantas industriales de la región se caracterizaba por un alto nivel de desperdicio de energía y falta de precisión en los procesos de producción. Con la integración de tecnologías de Industria 4.0, se ha observado una mejora significativa en la eficiencia energética. El presente caso de estudio se centra en la industria de producción de cemento en México, una de las más intensivas en energía en la región. Tradicionalmente, esta industria ha enfrentado desafíos significativos relacionados con el elevado consumo energético y las emisiones de dióxido de carbono. La digitalización del proceso de producción, que incluyó la recopilación y análisis de grandes cantidades de datos operativos, y los sistemas de Big Data que permitieron identificar patrones de ineficiencia y áreas de mejora, registraron una disminución del 15% en el consumo de energía. Por otra parte, se utilizaron sensores IoT para monitorear el consumo

energético en tiempo real y las condiciones operativas de los equipos. En el caso de la planta de cemento, se implementaron sensores en múltiples fases del proceso de producción, desde la trituración de materias primas hasta el enfriamiento del clínker, logrando una disminución del 20% en el uso de energía en comparación con los métodos tradicionales. En ese sentido, La monitorización en tiempo real permitió ajustes automáticos en la etapa de producción, optimizando el uso de energía en la planta.

La relevancia de la eficiencia energética en el contexto de la Industria 4.0 y el uso de tecnologías avanzadas es estratégico para mejorar tanto la calidad del ambiente interior como la eficiencia energética en edificios. Un ejemplo destacado de la aplicación de estas tecnologías se encuentra en el estudio de (Broday & Gameiro da Silva, 2023), quienes evaluaron cómo el IoT se utiliza para optimizar la calidad del ambiente interior y reducir el uso de recursos energéticos en edificios. El estudio presenta un método innovador que combina dispositivos de IoT y aprendizaje automático para mejorar la eficiencia energética. Este método se basa en el uso de sensores distribuidos que recogen información en tiempo real sobre la calidad del aire, la temperatura, la humedad y otros parámetros ambientales. Estos datos se analizan utilizando algoritmos de aprendizaje profundo que permiten ajustar automáticamente los sistemas de climatización y ventilación para optimizar el consumo energético y mejorar el confort de los ocupantes. La implementación de estrategias de control adaptativo basadas en el aprendizaje automático ha demostrado reducir el consumo energético en un rango de 22% a 73.2%, dependiendo del contexto específico que puede variar según el tipo de edificio, la tecnología utilizada y las condiciones climáticas.

#### **6.4 Innovaciones en eficiencia energética para el sector energético**

La implementación de la inteligencia artificial (IA) y las tecnologías avanzadas en los sistemas energéticos está revolucionando la manera en que las industrias operan y gestionan sus recursos. Dentro del contexto de América Latina y el Caribe, estas innovaciones son esenciales para optimizar la eficiencia energética y promover la sostenibilidad. El documento “Energetics Systems and artificial intelligence: Applications of industry 4.0” (Ahmad et al., 2022) analiza la aplicación de la inteligencia artificial (IA) en sistemas energéticos específicamente en las subáreas de generación, transmisión y distribución de electricidad, y almacenamiento de energía. Este sector abarca una amplia variedad de actividades industriales relacionadas con la producción y gestión de energía, integrando tecnologías avanzadas.

El estudio se centra en evaluar cómo estas innovaciones pueden mejorar la sostenibilidad y la eficiencia operativa en el sector energético. Por ejemplo: Empresas como General Electric y Siemens utilizaron IA para desarrollar modelos predictivos avanzados que pueden anticipar la velocidad del viento con alta precisión, lo que permite planificar mejor la producción de energía y ajustar las operaciones de las turbinas para maximizar la eficiencia. La integración de sistemas basados en IA incrementó la eficiencia operativa en un 15%. Esto se debe a una mejor gestión de los recursos y la optimización de la producción de energía en función de las condiciones del viento y la demanda de electricidad. Por otra parte, la inteligencia artificial (IA) tiene el potencial de transformar la forma en que gestionamos y distribuimos la energía eléctrica, especialmente en el contexto de la generación distribuida. En este estudio se exploran las aplicaciones de la IA para optimizar la generación y distribución de energía eólica (Liu et al., 2021). Este análisis innovador abre nuevas perspectivas en la gestión energética, representando un avance crucial

hacia la implementación de soluciones fundamentadas en IA para mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad.

La implementación de IA en la generación distribuida incluye la coordinación de múltiples turbinas y parques eólicos. Los algoritmos de IA analizan datos en tiempo real sobre la producción de energía, las condiciones del viento y la demanda de electricidad para optimizar el despacho de energía. Esto no solo equilibra la carga y minimiza las pérdidas de energía, sino que también permite una operación más eficiente y rentable. La integración de tecnologías avanzadas y métodos innovadores, son imprescindibles para abordar los retos de la energía sostenible y la planificación eficiente en el futuro de la región.

Un elemento destacado de la investigación es la evaluación comparativa del rendimiento de diferentes modelos de IA en la predicción de la producción de energía eólica. Por ejemplo, la optimización de la programación de las turbinas en función de las condiciones del viento y la demanda energética permitió alcanzar una reducción del 20% en los costos operativos y un aumento del 15% en la eficiencia operativa. Incluso en escenarios de alta variabilidad del viento, los modelos basados en IA mantuvieron una alta precisión y estabilidad en la producción de energía.

En contraste con los métodos tradicionales, la IA permite una respuesta dinámica y adaptativa a las fluctuaciones en la demanda y las condiciones ambientales. El estudio destaca la relevancia de variables esenciales como la velocidad y dirección del viento, así como la temperatura y la humedad, que son analizadas continuamente por los sistemas de IA para ajustar la operación de las turbinas en tiempo real. Esta capacidad de adaptación es fundamental para maximizar la eficiencia y la rentabilidad de la generación distribuida.

Estos hallazgos destacan la relevancia de una implementación adecuada de la inteligencia artificial en la generación distribuida y el potencial de estas tecnologías para mejorar la gestión energética. La exactitud y efectividad evidenciadas en esta investigación indican que la implementación de técnicas basadas en IA podría resultar en una mayor eficiencia operativa y una mejor sostenibilidad en la industria de la energía eólica.

Botnar & Frederico (2023) afirman que la digitalización de la gestión energética en el sector eléctrico es esencial para alcanzar niveles sin precedentes de eficiencia y sostenibilidad. La implementación de sistemas de gestión energética basados en tecnologías de la Industria 4.0, como el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas ciber-físicos (CPS), ha demostrado ser altamente efectiva para optimizar el consumo energético, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo significativamente los costos asociados. En su estudio, propusieron un método innovador para la gestión del consumo energético en tiempo real a través de redes inteligentes (Smart Grids). Este método se implementó en diversas plantas industriales del sector energético y consistió en la instalación de sensores inteligentes en equipos y maquinaria industrial para monitorear en tiempo real el consumo energético y otros parámetros operativos. Posteriormente, los sistemas Ciber-Físicos (CPS) integran los datos recolectados por los sensores IoT, permitiendo una supervisión y gestión eficiente del consumo energético. Finalmente, las redes inteligentes (Smart Grids) utilizan sistemas de control automatizado que pueden ajustar dinámicamente la distribución de energía en función de las condiciones de la red. Por ejemplo, pueden redirigir el flujo de energía en caso de una interrupción o sobrecarga en una parte de la red, y desviar energía hacia áreas de mayor demanda o reducir el suministro en momentos de baja demanda, evitando así el desperdicio. Este enfoque ha permitido una mayor eficiencia y

sostenibilidad en la gestión energética, contribuyendo a una reducción significativa del consumo de energía y los costos operativos.

### **6.5 Aplicabilidad y efectividad**

Las innovaciones en eficiencia energética son desarrollos y aplicaciones de tecnologías, procesos y prácticas diseñadas para reducir el consumo de energía, mejorar el uso eficiente de los recursos energéticos y minimizar el impacto ambiental. Estas innovaciones abarcan una amplia gama de áreas y se implementan en diferentes sectores industriales, comerciales y residenciales. Su importancia radica en la capacidad de estas innovaciones para abordar múltiples desafíos relacionados con la sostenibilidad, la competitividad económica y la disminución de las emisiones de gases responsables del efecto invernadero.

En el contexto de la transformación digital, las tecnologías y herramientas digitales de la Industria 4.0 se han convertido en elementos esenciales para mejorar de manera sostenible la eficiencia energética en el sector industrial de América Latina y el Caribe. La integración de tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA), los Gemelos Digitales, Big Data, el internet de las cosas (IoT), la Monitorización Energética y conceptos metodológicos de gestión avanzada, ofrecen un sin número de soluciones innovadoras y prácticas para optimizar el consumo energético y mejorar la sostenibilidad de las operaciones industriales. Hasta este punto, se ha hecho referencia a la capacidad de las tecnologías digitales y herramientas avanzadas para mejorar la eficiencia energética en la industria. Esto afecta significativamente a la planificación, distribución y optimización de energía, ¿No sería excelente poder anticipar cuándo y de qué manera se utilizará la energía en los procesos industriales? Esto es posible gracias a tecnologías como la Inteligencia Artificial y los Gemelos Digitales, que permiten el desarrollo de sistemas de

administración energética predictiva. De esta forma, se puede anticipar y diseñar estrategias de optimización que eviten el desperdicio de energía y mejoren la sostenibilidad de las operaciones. Considerando que el consumo ineficiente de energía representa tanto una pérdida financiera como un impacto negativo en el medio ambiente, es de vital importancia analizar la aplicabilidad y efectividad de las tecnologías avanzadas con el fin de aumentar la eficiencia energética en los distintos sectores industriales. Este análisis evalúa tanto cómo estas tecnologías pueden reducir el desperdicio de energía y disminuir los costos operativos, como también su contribución en la disminución de la huella de carbono en los sectores industriales.

**Tabla 5.** *Aplicabilidad y efectividad de las innovaciones*

<b>Innovación</b>	<b>Autores</b>	<b>Aplicabilidad</b>	<b>Efectividad</b>
<b>Inteligencia Artificial</b>	(Ahmad et al., 2022)	Utilizada en sistemas de gestión de energía para optimizar el uso de electricidad en edificios inteligentes y plantas industriales mediante el análisis predictivo, la automatización de procesos y el mantenimiento predictivo. Permite prever demandas energéticas y ajustar el consumo de manera proactiva.	Estudios han demostrado que la implementación de IA en sistemas de gestión energética puede reducir el consumo de energía al identificar y corregir ineficiencias de manera continua y automática. Además, facilita la toma de decisiones basada en datos, mejorando la respuesta a fluctuaciones en la demanda energética y optimizando el uso de recursos.
<b>Monitorización</b>	(Cacciuttolo et al., 2023)	La monitorización energética es una herramienta vital para grandes empresas que consumen energía intensivamente. Permite medir y controlar el consumo eléctrico de diferentes áreas y equipos, facilitando la maximización del uso de la energía y la identificación de áreas de mejora.	Incrementa la eficiencia energética mediante la identificación y corrección de ineficiencias en tiempo real. Por ejemplo, mediante el uso de sistemas de monitorización, una empresa puede detectar picos de consumo inusuales en maquinaria específica y tomar

			medidas para corregir la ineficiencia.
<b>Economía circular</b>	(De Oliveira Neto et al., 2022)	Fomenta el reciclaje de materiales con el objetivo de reducir la generación de residuos y disminuir la demanda de recursos nuevos. Además, incentiva el uso de energía limpia y tecnologías de cogeneración de energía, con el objetivo de eliminar el uso de energía proveniente de fuentes no renovables en el sistema de producción.	Reduce el uso de energía proveniente de fuentes no renovables y disminuye los residuos mediante el reciclaje y la reutilización. Grandes empresas textiles están implementando cogeneración de energía y uso de energía limpia con una puntuación de 3.95 sobre 5.
<b>Gemelos digitales</b>	(De Prada et al., 2022a)	Simulan el comportamiento energético de sistemas industriales, permitiendo optimizar la operación. Ejemplos incluyen la simulación de plantas de energía para mejorar la eficiencia y la reducción de emisiones, y la optimización de HVAC en edificios para reducir el consumo energético.	Mejora la eficiencia operativa mediante la simulación y optimización continua de procesos. Por ejemplo, una planta de energía puede utilizar un gemelo digital para probar diferentes configuraciones operativas y seleccionar la más eficiente sin interrumpir la producción real.
<b>Six sigma</b>	(Hines et al., 2023)	Se aplica en la manufactura con el objetivo de disminuir el uso de energía en líneas de producción, utilizando herramientas estadísticas para controlar la variabilidad.	Ha demostrado ser altamente eficaz en la identificación de áreas de ineficiencia energética dentro de los procesos industriales, utilizando un enfoque sistemático para reducir variabilidades y defectos. Este método permite implementar soluciones que optimizan el uso de energía, logrando significativos ahorros y mejoras en la sostenibilidad operativa.
<b>Lean six sigma</b>	(Mateus da Silva Pinto Me Luis)	Integra Lean Manufacturing y Six Sigma para detectar y eliminar desperdicios, optimizar la calidad y disminuir la	Puede ser más efectivo en situaciones donde la maximización de los recursos y la disminución de desperdicios

	Gustavo Schröder Braga, n.d.)	variabilidad en los procesos utilizando un enfoque estructurado y fundamentado en datos.	son indispensables, ya que aborda no solo la calidad y la variabilidad, sino también la eficiencia operativa desde una perspectiva más holística.
<b>Big data</b>	(Garrido et al., 2024)	El Big Data se emplea para recolectar y examinar vastos volúmenes de información energética en tiempo real. Estas tecnologías permiten detectar patrones de consumo y prever tendencias, facilitando la elaboración de estrategias bien fundamentadas para mejorar el rendimiento energético.	Se caracteriza por su capacidad para gestionar enormes cantidades de datos originados de diversas fuentes, como sensores, dispositivos IoT y sistemas de gestión energética. Ofrece un enfoque poderoso y escalable para gestionar y optimizar el consumo de recursos energéticos en entornos industriales.
<b>Talento Humano</b>	(Mahlmann Kipper et al., 2020)	Se aplica para fomentar prácticas de eficiencia energética mediante la capacitación y el desarrollo de competencias en sostenibilidad y gestión energética. Además, la colaboración interdisciplinaria y el liderazgo en sostenibilidad son claves para impulsar la adopción de tecnologías y prácticas energéticamente eficientes.	La capacitación del talento humano en la eficiencia energética es altamente significativa. Los profesionales especializados no solo implementan tecnologías y métodos para reducir el consumo de energía, también lideran iniciativas estratégicas que optimizan el uso de recursos energéticos.
<b>Decisión multicriterio</b>	(Lucas Borges Leal Da Silva et al., 2023)	Permite evaluar y seleccionar las mejores opciones para la implementación de tecnologías y prácticas energéticas considerando múltiples factores, como costo, impacto ambiental y viabilidad técnica.	Mejora la eficiencia energética al seleccionar las soluciones más efectivas y adecuadas para cada contexto específico. Por ejemplo, es típico utilizar el método ELECTRE para ponderar y comparar alternativas de manera sistemática.
	(Broday & Gameiro da Silva, 2023)	El IoT permite que dispositivos físicos se conecten e integren con software, sensores y redes de comunicación, facilitando la	Incrementa la eficiencia energética al proporcionar datos en tiempo real y permitir el control y ajuste automatizado de

<b>Internet de las cosas</b>	recopilación e intercambio de datos para su análisis.	sistemas. Ha demostrado ser eficaz en la optimización del uso energético en entornos controlados, alcanzando eficiencias cercanas a las máximas teóricas de los paneles solares utilizados.
<b>Sistemas de gestión de energía (EnMS)</b>	Se utilizan para supervisar, gestionar y mejorar la eficiencia del consumo energético en las operaciones industriales. Incluyen la adopción de tecnologías como sensores IoT y análisis de Big Data, para gestionar el consumo energético en tiempo real. Los EMS también se basan en estándares internacionales, como ISO 50001, para asegurar una gestión energética eficiente y sostenible.	Los EMS son cruciales para alcanzar y mantener altos estándares de eficiencia energética, proporcionando herramientas indispensables para la gestión estratégica de recursos energéticos en todos los niveles organizacionales.
<b>Smart Grids</b> (Botnar & Frederico, 2023)	Administran eficientemente la distribución de energía eléctrica, integrando fuentes renovables y fortaleciendo la estabilidad de la red. Estas tecnologías se implementan en la gestión de la demanda energética, optimización del suministro y la incorporación de tecnologías avanzadas, para maximizar la eficiencia operativa y promover la sostenibilidad del sistema eléctrico.	Son esenciales para progresar hacia un sistema energético más ecológico y resiliente mediante una administración más efectiva y optimizada de la red eléctrica, reduciendo pérdidas y facilitando la integración de energías renovables.
	Las fuentes de energía renovable se utilizan para disminuir la necesidad de utilizar combustibles fósiles y reducir la liberación de carbono. Se aplican en la generación de electricidad en parques eólicos e instalaciones	Las energías renovables reducen las emisiones de carbono y los costos a largo plazo. Fomentan la sostenibilidad y la diversificación energética, contribuyendo de manera considerable al disminuir el

<b>Energías renovables</b>	(Oliveira Neto et al., 2023)	solares en edificios y el aprovechamiento de la biomasa para generar energía en instalaciones industriales.	impacto ambiental y progresar hacia el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), aunque su implementación inicial puede ser costosa y dependiente de las condiciones geográficas y climáticas.
<b>Sistemas Ciber-físicos</b>	(Varas Chiquito et al., 2020)	Los sistemas ciber-físicos integran componentes computacionales y físicos para la supervisión y regulación de manera instantánea de los sistemas energéticos. Se aplican en la automatización de plantas industriales, la gestión de sistemas HVAC en edificios y la optimización de redes eléctricas inteligentes. Estos sistemas permiten una interacción continua entre el mundo físico y digital.	Mejoran la eficiencia energética y operativa mediante la integración y automatización en tiempo real de sistemas físicos y computacionales.
<b>Sensores inteligentes</b>	(Fontoura et al., 2023)	Recopilan y transmiten datos sobre condiciones operativas y consumo energético en tiempo real. Se utilizan en la monitorización de sistemas HVAC, iluminación inteligente y procesos industriales. Estos sensores facilitan la identificación de ineficiencias y permiten ajustes automáticos para maximizar la eficiencia en el uso de energía.	Son altamente efectivos en mejorar la eficiencia energética al ofrecer datos precisos y actualizados en tiempo real sobre el consumo y las condiciones ambientales. Esto facilita una gestión más eficaz de recursos como la iluminación, calefacción, refrigeración y otros sistemas energéticos dentro de edificios e instalaciones industriales.
<b>Internet de las personas</b>	(Marco Conti et al., 2022)	Conecta a individuos a través de la tecnología para mejorar la colaboración y comunicación en la gestión de eficiencia energética. Se utiliza en plataformas de colaboración para	Educa y motiva hacia comportamientos energéticamente eficientes mediante la colaboración y el intercambio de conocimiento, mejorando la adopción de

---

compartir mejores prácticas y herramientas de gestión energética.

---

prácticas y tecnologías de eficiencia energética.

La eficiencia energética implica la habilidad de consumir menos energía para ofrecer el mismo nivel de servicio o producción servicio o producir el mismo resultado. En otras palabras, se trata de optimizar el uso de la energía de manera que se reduzca el desperdicio y se maximice el rendimiento. En el contexto de la investigación, la eficiencia energética hace referencia al ahorro en el consumo energético, dado que su propósito principal consiste en reducir la cantidad de energía necesaria para realizar una tarea o alcanzar un resultado sin sacrificar la calidad o el desempeño. Al implementar tecnologías y prácticas más eficientes, se minimizan las pérdidas energéticas y se optimiza el uso de los recursos, lo que directamente resulta en una disminución del consumo total de energía. Por ejemplo, la actualización de sistemas de iluminación a LED en un edificio no solo proporciona la misma cantidad de luz, sino que lo hace utilizando significativamente menos electricidad, logrando así un ahorro energético evidente.

Consecuentemente, el ahorro en el consumo energético repercute directamente en la reducción de costos operativos y en la disminución de la huella ambiental debido a varios factores clave. En primer lugar, el consumo de energía representa una parte significativa de los costos operativos en la mayoría de las industrias y sectores comerciales. Al implementar estrategias de eficiencia energética que reducen significativamente el uso de energía, las empresas pueden disminuir sus facturas de energía liberando recursos financieros que pueden ser reinvertidos en otras áreas estratégicas de la operación. Por último, menos consumo de energía significa una menor demanda de generación de energía, lo que puede traducirse en una reducción de la quema de combustibles fósiles y, por ende, en una reducción en la emisión de dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos. Esta disminución en la huella ambiental no solo tiene beneficios directos para el medio ambiente, como la reducción del calentamiento global y la mejora de la calidad del aire, sino que también puede mejorar la reputación de las empresas y cumplir con

regulaciones ambientales más estrictas. No obstante, uno de los desafíos más notables ha sido la falta de datos cuantitativos consistentes que permitan una comparación directa de la eficiencia energética entre las diversas innovaciones presentadas. A pesar de la abundancia de estudios y propuestas que abordan diferentes técnicas, herramientas y métodos para mejorar la eficiencia energética, la mayoría de estas investigaciones se centran en aspectos cualitativos, estudios de caso específicos o en descripciones teóricas de las innovaciones, sin proporcionar métricas cuantitativas detalladas que puedan ser comparadas de manera uniforme.

Esta ausencia de datos cuantitativos dificulta la posibilidad de realizar un análisis exhaustivo de efectividad y aplicabilidad, ya que las cifras concretas son imprescindibles para evaluar el impacto real de cada innovación en términos de ahorro energético. Por consiguiente, es importante resaltar que, aunque las innovaciones propuestas muestran un potencial significativo en la optimización de la eficiencia energética, la carencia de datos cuantitativos estandarizados reduce la capacidad de aplicar y generalizar los resultados obtenidos a diferentes contextos. Esto subraya la necesidad de futuras investigaciones que no solo se enfoquen en la implementación de nuevas tecnologías y métodos, sino que también incorporen un marco de referencia común para la recopilación y análisis de datos. Establecer estándares y metodologías uniformes para medir la eficiencia energética permitirá una evaluación más precisa y objetiva, facilitando así la comparación entre diferentes innovaciones y proporcionando una base robusta y confiable que respalde el proceso de toma de decisiones informadas en estrategias industriales para América Latina y el Caribe.

## 7 Recomendaciones para la implementación de innovaciones

La adopción de innovaciones que favorecen la eficiencia energética es una decisión estratégica voluntaria que ha adquirido una importancia creciente, al punto de ser obligatoria en varias naciones de América Latina y el Caribe para cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La implementación exitosa de estas innovaciones requiere que las organizaciones identifiquen y comprendan las situaciones internas y externas que pueden tener un impacto potencial negativo en la consecución de los resultados planificados en sus iniciativas de eficiencia energética. Este análisis exhaustivo incluye la identificación de debilidades, especialmente aquellas relacionadas con el mal uso de los recursos energéticos. Entre estas debilidades se pueden destacar:

- **Falta de Monitoreo y Control:** La ausencia de sistemas de monitoreo y control en tiempo real puede llevar a un uso ineficiente de la energía. Sin datos precisos y actualizados, es difícil identificar y corregir rápidamente los problemas de consumo excesivo de energía.
- **Equipos Obsoletos:** El uso de equipos y maquinaria antiguos e ineficientes puede resultar en un consumo energético elevado. Estos equipos suelen tener una eficiencia energética mucho menor en comparación con las tecnologías modernas, lo que incrementa innecesariamente los costos operativos, el gasto energético y la producción de emisiones contaminantes.
- **Mantenimiento Inadecuado:** La falta de un programa de mantenimiento regular y adecuado puede llevar a un rendimiento deficiente de los equipos, aumentando así el consumo de energía. Equipos mal mantenidos tienden a operar por debajo de su eficiencia óptima, consumiendo más energía para realizar la misma cantidad de trabajo.

- **Cultura Organizacional:** Una cultura organizacional que no prioriza la eficiencia energética puede ser una gran debilidad. Sin el compromiso y la concienciación de todos los niveles de la organización, las iniciativas de eficiencia energética pueden no ser efectivas. La falta de formación y sensibilización entre el personal puede llevar a prácticas diarias que derrochan energía
- **Falta de Inversión en Innovación:** La falta de inversión en tecnologías y prácticas innovadoras puede dejar a una organización rezagada en términos de eficiencia energética. Las innovaciones en tecnología y procesos son cruciales para incrementar de manera continua la eficiencia energética y disminuir el consumo de recursos.

Identificar estas debilidades es el primer paso crucial para implementar mejoras que optimicen el uso de los recursos energéticos.

La etapa de planificación consiste en el diseño de objetivos y el establecimiento de metas alineados con la política energética del país donde opera. Alinear los objetivos y metas de la empresa con la política energética nacional asegura el cumplimiento de las regulaciones y leyes locales. El no cumplimiento puede resultar en sanciones significativas, además de dañar la reputación corporativa. Al establecer metas en consonancia con la política energética, las organizaciones pueden implementar un ciclo de mejora continua. Esto implica revisar y ajustar periódicamente los objetivos energéticos en respuesta a los cambios en la legislación, la tecnología y las condiciones del mercado. Este enfoque dinámico no solo mejora la eficiencia energética, además, garantiza que la organización siga siendo competitiva y significativa en un entorno en constante transformación.

Esta planificación establece los parámetros para las acciones futuras en la gestión energética y define el marco dentro del cual la organización pueda operar de manera eficiente y

sostenible, asegurando que sus objetivos y metas estén en concordancia con las directrices y objetivos nacionales de desarrollo sostenible.

En la actualidad, los sectores industriales de América Latina y el Caribe se hallan en una fase crucial de transformación digital, impulsada por la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 como los gemelos digitales, la Inteligencia Artificial (IA), la monitorización, el Big Data y el Internet de las Cosas (IoT). Estas tecnologías ofrecen una oportunidad considerable para aumentar la eficiencia energética y potenciar la capacidad de mantenerse competitivo en un mercado que se vuelve progresivamente más riguroso.

La Inteligencia Artificial (IA) y el Big Data están en el centro de la transformación industrial, permitiendo que las empresas analicen grandes cantidades de datos para optimizar procesos y reducir el consumo energético. Estas tecnologías facilitan la adopción de sistemas de gestión energética que se ajustan y aprenden de forma autónoma, aumentando la eficiencia y reduciendo el desperdicio en el uso de la energía. En el contexto de la industria, la integración de IA y Big Data permite una supervisión en tiempo real de los equipos y procesos, facilitando la identificación de patrones de consumo energético y la detección de anomalías. Esto se transforma en una oportunidad para predecir cuándo y dónde se requerirá energía, permitiendo ajustes proactivos que minimizan el desperdicio. Asimismo, estas tecnologías permiten la implementación de algoritmos de machine learning que optimizan continuamente los procesos, asegurando una gestión energética más eficiente y sostenible.

El Internet de las Cosas (IoT) es otra herramienta crucial para la eficiencia energética, ya que proporciona una infraestructura que permite la recopilación continua de datos sobre el consumo y la eficiencia energética en tiempo real. Con dispositivos IoT, las empresas pueden monitorear el rendimiento energético de las máquinas y los sistemas de manera precisa,

identificando áreas donde se puede conservar energía. López y Sánchez (2023) destacan que el IoT no solo ayuda a reducir costos, sino que también mejora la sostenibilidad operacional al minimizar el consumo innecesario de energía. Con los datos recogidos por los dispositivos IoT, las empresas pueden realizar análisis detallados para identificar áreas específicas donde se puede mejorar la eficiencia energética. Esto incluye ajustes en la operación de las máquinas, optimización de los horarios de funcionamiento y la reducción de la energía utilizada durante los períodos de baja demanda. Además, los sistemas de administración energética basados en IoT pueden ajustar automáticamente los parámetros de operación para asegurar que se maximice la eficiencia en el uso de la energía. Este enfoque basado en datos proporciona una ruta clara hacia prácticas industriales más sostenibles y eficientes, destacando el valor estratégico del IoT en la transformación energética y operativa de las industrias modernas

En conjunto, la monitorización efectiva se basa en la instalación de sensores y otros dispositivos de medición en equipos y líneas de producción clave. Estos dispositivos capturan datos continuos sobre variables como el consumo de electricidad, la utilización de la maquinaria, y las condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.). Estos datos son transmitidos a sistemas centralizados donde pueden ser analizados para identificar patrones de uso, ineficiencias y áreas potenciales de mejora. Por ejemplo, si se detecta que una máquina específica consume más energía de lo esperado, los técnicos pueden investigar y resolver problemas como malas configuraciones o desgaste de componentes, que podrían estar causando ineficiencia. Además, el análisis de los datos recopilados puede ayudar a programar el mantenimiento preventivo de manera más efectiva, asegurando que las máquinas operen en su máximo nivel de eficiencia energética.

Los gemelos digitales, por su parte, utilizan datos recogidos por sensores IoT colocados en máquinas, vehículos o sistemas para crear modelos dinámicos y altamente detallados. Estos modelos se actualizan continuamente con datos en tiempo real, lo que permite que reflejen el estado actual de su contraparte física con gran precisión. A través de avanzados algoritmos de análisis y aprendizaje automático, los gemelos digitales pueden predecir fallos, simular diferentes escenarios y ofrecer soluciones para mejorar la eficiencia. Permiten a las empresas experimentar y simular cambios en los procesos de producción sin riesgos. Esto es particularmente útil para probar nuevas configuraciones que puedan reducir el consumo de energía o identificar cuellos de botella que disminuyan la eficiencia.

Las tecnologías de la Industria 4.0 son claves para mejorar la eficiencia energética en los sectores industriales de América Latina y el Caribe. Con su capacidad para optimizar procesos, reducir el consumo energético y mejorar la sostenibilidad, estas tecnologías ofrecen un camino prometedor hacia un futuro industrial más eficiente y ecológico. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta una guía de selección para los sectores industriales de América Latina y Caribe:

**Tabla 6.** *Criterios de selección y factores a considerar de innovaciones*

Tecnología	Cuando seleccionar	Factores para considerar
<b>Inteligencia artificial</b>	Para optimizar el uso energético de procesos automatizados, ajustar automáticamente los sistemas para la máxima eficiencia y predecir necesidades de mantenimiento para evitar desperdicios de energía.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Habilidad para gestionar y analizar grandes cantidades de datos.</li> <li>- Disponibilidad de personal calificado o necesidad de formación y contratación.</li> </ul>
<b>Internet de las cosas (IoT)</b>	Para industrias que dependen de la constante supervisión de sus operaciones y condiciones de los equipos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Infraestructura de red y conectividad en la planta.</li> <li>- Seguridad de los datos y resistencia a ciberataques</li> </ul>

<b>Gemelos digitales</b>	Ideal para simular y optimizar procesos energéticos sin afectar la operación física, probar cambios que podrían reducir el consumo de energía y entrenar en prácticas de eficiencia energética sin riesgos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión inicial y capacidad para manejar tecnologías avanzadas.</li> <li>- Necesidad de integración con sistemas avanzados.</li> </ul>
<b>Big data</b>	Cuando las operaciones generan una gran cantidad de datos que requieren análisis profundo y predicciones confiables para fundamentar decisiones estratégicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos.</li> <li>- Experto en análisis de datos y estadística.</li> </ul>

Seleccionar la tecnología adecuada implica un análisis detallado de las necesidades específicas del negocio, la capacidad de inversión, y los objetivos a largo plazo. Es vital que las empresas en los diferentes sectores industriales consideren no solo el potencial tecnológico, sino también el impacto organizacional y operativo de estas implementaciones.

Después, se lleva a cabo la implementación de las tecnologías de la Industria 4.0. La cuales presentan variaciones significativas dependiendo del sector industrial en el que se apliquen, especialmente en el contexto de América Latina y el Caribe. Esta región, caracterizada por su diversidad económica y heterogeneidad industrial, enfrenta tanto desafíos como oportunidades únicas en la adopción de estas tecnologías avanzadas. Factores como la infraestructura tecnológica, la disponibilidad de capital, y el nivel de formación y capacitación del personal influyen en la velocidad y efectividad de la implementación. Por ejemplo, en países del Caribe, la infraestructura de telecomunicaciones aún no está suficientemente desarrollada para soportar una adopción masiva de IoT, mientras que, en otros, las barreras económicas y regulatorias pueden limitar el acceso a tecnologías avanzadas.

La integración de sistemas es un paso esencial en la implementación de tecnologías de la Industria 4.0, ya que establece la base para una operación cohesiva y eficiente de los procesos industriales. Esta fase implica conectar y sincronizar diversos sistemas y dispositivos para asegurar una comunicación fluida y eficiente, lo que es fundamental para el éxito de cualquier iniciativa de transformación digital en la industria. Antes de proceder a una implementación a gran escala, es altamente recomendable ejecutar proyectos piloto en entornos controlados, como una línea de producción específica. Estos proyectos piloto sirven como pruebas de concepto que permiten evaluar la viabilidad y eficacia de las tecnologías seleccionadas. Durante la fase piloto, se puede monitorizar de cerca el desempeño de los sistemas integrados, identificar cualquier problema o ineficiencia y realizar ajustes necesarios antes de una adopción más amplia.

La monitorización en tiempo real es esencial para una operación eficiente y eficaz. Este proceso implica el uso de sensores avanzados y dispositivos IoT (Internet de las cosas) que recopilan datos continuamente sobre diversas variables de operación, como el consumo de energía, temperaturas, presiones y velocidades de producción. Estos datos son enviados a sistemas centrales donde se analizan y visualizan mediante plataformas de software especializadas. Para una monitorización en tiempo real efectiva, se deben utilizar tecnologías de IoT que aseguren una conectividad constante y confiable. Los sensores y dispositivos IoT deben estar estratégicamente ubicados en puntos clave de los procesos industriales para capturar datos relevantes. Los datos recopilados se transmiten a través de redes robustas y seguras a sistemas de gestión centralizados que permiten el análisis y visualización en tiempo real.

La capacitación y el desarrollo del personal son componentes críticos para el éxito de la implementación de tecnologías de la Industria 4.0. En el contexto de América Latina y el Caribe, donde el nivel de formación y la disponibilidad de programas de capacitación pueden variar

significativamente, es esencial diseñar estrategias de formación adaptadas a las necesidades específicas de cada industria y región. Se deben diseñar programas de formación especializados que cubran las habilidades requeridas para manejar y mantener las nuevas tecnologías. Esto incluye formación técnica en el uso de dispositivos IoT, análisis de datos, seguridad cibernética y administración de sistemas integrados. La capacitación debe ser continua para mantener al personal actualizado con las últimas innovaciones y mejores prácticas.

Finalmente, Para asegurar que las innovaciones tecnológicas implementadas realmente mejoran la eficiencia energética y se mantengan efectivas a lo largo del tiempo, es fundamental establecer procesos de evaluación y mejora continua. Estos procesos deben ser integrales y multifacéticos, incorporando diversas metodologías y enfoques que permitan una revisión constante y ajustes necesarios para optimizar el rendimiento energético. Es esencial combinar auditorías energéticas regulares, el uso de tecnologías de monitorización en tiempo real, y la puesta en marcha de sistemas de gestión de calidad como Six Sigma, para identificar áreas de mejora y aplicar soluciones efectivas. Asimismo, la involucración del personal a través de programas de desarrollo y capacitación, y una cultura organizacional orientada a la mejora continua son claves para mantener un alto nivel de eficiencia energética. Solo a través de una evaluación rigurosa y ajustes permanentes se puede garantizar que las innovaciones tecnológicas sigan proporcionando beneficios significativos y sostenibles en el tiempo.

**Tabla 7.** *Guía de implementación de innovaciones*

<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Estrategia</b>
<b>Evaluación inicial</b>	Realizar una auditoría energética para evaluar el estado actual del consumo energético y las ineficiencias existentes.	Contratar expertos en auditoría energética o utilizar herramientas de análisis de datos para identificar áreas de mejora.
<b>Planificación inicial</b>	Definir objetivos claros y establecer un plan de acción detallado.	Establecer objetivos claros y alcanzables de eficiencia energética alineados con los objetivos estratégicos organizacionales y los objetivos de desarrollo sostenible.
<b>Selección</b>	Criterios para elegir tecnologías de la industria 4.0 en la eficiencia energética.	Evaluar la compatibilidad de tecnologías como IoT, Big Data, IA, gemelos digitales con las necesidades específicas de la empresa. Realizar análisis de costo-beneficio y seleccionar tecnologías que ofrezcan el mayor retorno de inversión.
<b>Implementación</b>	Ejecutar proyectos piloto para probar la eficacia de las tecnologías seleccionadas en un entorno controlado.	Evaluar la escalabilidad de las tecnologías probadas y desarrollar un plan para su integración a mayor escala si los resultados son satisfactorios.
<b>Monitorización y control</b>	Supervisar el rendimiento energético en tiempo real y ajustar las operaciones según sea necesario	Implementar sistemas de monitorización continua y control automatizado. Utilizar dashboards interactivos para visualizar datos y tomar decisiones informadas.

---

<b>Capacitación y desarrollo</b>	Formar al personal en el uso de las nuevas tecnologías y promover una cultura de eficiencia energética.	Organizar programas de formación continua, talleres y cursos especializados. Promover la comunicación interna y la cooperación interdepartamental para compartir buenas prácticas.
<b>Evaluación y mejora continua</b>	Realizar auditorías energéticas periódicas para medir el éxito de las estrategias implementadas y descubrir oportunidades de mejora.	Establecer un ciclo de retroalimentación continua. Revisar y ajustar las estrategias basadas en los resultados de las auditorías y en las sugerencias del personal para asegurar una mejora continua.

---

## 8 Conclusiones

La revisión sistemática de la literatura ha evidenciado que la integración de tecnologías avanzadas como el Big Data, el internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial, y los gemelos digitales, tiene un impacto significativo en el incremento de la eficiencia energética en diversos sectores industriales de América Latina y el Caribe. Estas tecnologías no solo permiten un monitoreo y control más preciso del consumo energético, sino que también facilitan la optimización de procesos y la disminución de gases responsables del efecto invernadero, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y económica de las industrias.

Por otra parte, la adopción de metodologías como Six Sigma y los métodos de decisión multicriterio (MCDM/A) ha demostrado ser altamente eficaz para optimizar el uso de energía en los sectores industriales. Aplicado a la gestión energética, Six Sigma permite a las empresas analizar detalladamente sus procesos de consumo energético, identificar áreas de ineficiencia y aplicar soluciones específicas para optimizar el uso de energía. Mientras que, los métodos de decisión multicriterio (MCDM/A) proporcionan un marco estructurado para evaluar y priorizar diferentes alternativas basándose en múltiples criterios. En el contexto de la eficiencia energética, estos métodos permiten a las organizaciones considerar diversos factores como costos, beneficios ambientales, viabilidad técnica y aceptabilidad social al tomar decisiones sobre proyectos y tecnologías de eficiencia energética.

La colaboración interdisciplinaria y la gestión eficaz del talento humano son esenciales para lograr una implementación exitosa de innovaciones tecnológicas y prácticas sostenibles. En primer lugar, la colaboración interdisciplinaria implica la integración de conocimientos y habilidades de diversas disciplinas, lo que enriquece el proceso de innovación al incorporar múltiples perspectivas y enfoques. Esto permite a las organizaciones abordar los desafíos

complejos de la eficiencia energética de manera más holística y efectiva. Por ejemplo, la colaboración entre ingenieros, científicos de datos y expertos en sostenibilidad puede resultar en soluciones más robustas y eficientes para la gestión energética. Además, la gestión eficaz del talento humano es crucial para desarrollar y mantener una fuerza laboral competente y motivada. Esto incluye la identificación de necesidades de capacitación, el diseño de programas de formación y el fomento de una cultura organizacional que valore la sostenibilidad y la innovación. La formación y capacitación de los empleados en competencias relacionadas con la sostenibilidad y la gestión energética son esenciales para mantener la competitividad y alcanzar los objetivos de eficiencia energética a largo plazo. Programas de capacitación continua, talleres y certificaciones especializadas en tecnologías emergentes y prácticas sostenibles aseguran que los empleados estén al corriente de las innovaciones y métodos más recientes en el ámbito.

Aunque existe una abundancia de estudios y propuestas que abordan la optimización de la eficiencia energética, la mayoría de estas investigaciones carecen de métricas cuantitativas detalladas y uniformes. Esta falta de datos concretos limita la posibilidad de realizar un análisis exhaustivo y comparativo de la efectividad de las innovaciones propuestas. Para superar esta limitación, es esencial que futuras investigaciones no solo se centren en la implementación de nuevas tecnologías y métodos, sino que también adopten estándares y metodologías uniformes para la recopilación y análisis de datos. De esta manera, se podrá evaluar de manera más precisa y objetiva el impacto real de cada innovación, facilitando la comparación y un fundamento más robusto para la toma de decisiones en las estrategias industriales en América Latina y el Caribe.

La implementación de innovaciones de la Industria 4.0 para optimizar la eficiencia energética en los sectores industriales de América Latina y el Caribe se enfrenta a diversos desafíos importantes. La falta de infraestructura tecnológica avanzada y la limitada conectividad

en muchas regiones dificultan la incorporación y utilización eficiente de tecnologías como el Internet de las Personas (IoT), Big Data y la automatización avanzada mediante la inteligencia artificial. Además, existe una carencia de personal capacitado en estas nuevas tecnologías, lo que impide su implementación y mantenimiento efectivos. Otro desafío es la falta de un marco regulatorio y normativo uniforme que apoye la integración de estas innovaciones, así como la escasez de incentivos financieros que motiven a las empresas a invertir en soluciones tecnológicas avanzadas para la eficiencia energética. Finalmente, la variabilidad en la calidad de los datos y la ausencia de estándares de medición consistentes dificultan la evaluación comparativa y la generalización de los resultados obtenidos. Para superar estos obstáculos, es crucial que los gobiernos, las industrias y las instituciones académicas trabajen en conjunto para desarrollar infraestructura, capacitar al personal, establecer marcos regulatorios claros y crear incentivos que fomenten la adopción de tecnologías de la Industria 4.0, garantizando así un avance sostenible y significativo en la eficiencia energética de la región.

**Referencias bibliográficas**

- Ahmad, T., Zhu, H., Zhang, D., Tariq, R., Bassam, A., Ullah, F., AlGhamdi, A. S., & Alshamrani, S. S. (2022). Energetics Systems and artificial intelligence: Applications of industry 4.0. In *Energy Reports* (Vol. 8, pp. 334–361). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.256>
- Alami, H., Lehoux, P., Papoutsis, C., Shaw, S. E., Fleet, R., & Fortin, J.-P. (2024). Understanding the integration of artificial intelligence in healthcare organisations and systems through the NASSS framework: a qualitative study in a leading Canadian academic centre. *BMC Health Services Research*, 24(1), 701. <https://doi.org/10.1186/s12913-024-11112-x>
- Ana Laura Imbernó Díaz, & Lourdes Souto Anido. (2023). Innovación y economía circular, un binomio perfecto *Innovation and Circular Economy, a Perfect Combination*.
- Andrés Escobar Díaz. (2020). EFICIENCIA ENERGÉTICA.
- Ángel Gómez Degraes. (2021). BIG DATA, UN SISTEMA DE GESTIÓN DE DATOS.
- Antonio, F., & Niño, P. (2022). OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA COLOMBIANO 1 Modelo de Optimización del Sistema de Energía Colombiano para la Configuración de una Canasta Energética Sostenible.
- Botnar, W. L., & Frederico, G. F. (2023). Industry 4.0 in the electric sector: Findings from a systematic review of the literature. *Electricity Journal*, 36(9–10).  
<https://doi.org/10.1016/j.tej.2023.107337>
- Brodoy, E. E., & Gameiro da Silva, M. C. (2023). The role of internet of things (IoT) in the assessment and communication of indoor environmental quality (IEQ) in buildings: a review. *Smart and Sustainable Built Environment*, 12(3), 584–606.  
<https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2021-0185>

- Caballero-Morales, S. O., Cuautle-Gutiérrez, L., Cordero-Guridi, J. de J., & Alvarez-Tamayo, R. I. (2023). Six-Sigma Reference Model for Industry 4.0 Implementations in Textile SMEs. *Sustainability (Switzerland)*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/su151612589>
- Cacciuttolo, C., Guzmán, V., Catriñir, P., Atencio, E., Komarizadehasl, S., & Lozano-Galant, J. A. (2023). Low-Cost Sensors Technologies for Monitoring Sustainability and Safety Issues in Mining Activities: Advances, Gaps, and Future Directions in the Digitalization for Smart Mining. In *Sensors* (Vol. 23, Issue 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s23156846>
- Castillo, M. (2016). El Rol de la Inversión Pública en el Desempeño Económico Regional del Perú: 2001 - 2014. *Revista Estudios de Políticas Públicas*, 2(2), 1–14. <https://doi.org/10.5354/0719-6296.2016.44257>
- Clayson Cosme da Costa Pimenta. (2021). La economía circular como eje de desarrollo de los países latinoamericanos.
- Colmenares-Quintero, R. F., Quiroga-Parra, D. J., Rojas, N., Stansfield, K. E., & Colmenares-Quintero, J. C. (2021). Big Data analytics in Smart Grids for renewable energy networks: Systematic review of information and communication technology tools. In *Cogent Engineering* (Vol. 8, Issue 1). Cogent OA. <https://doi.org/10.1080/23311916.2021.1935410>
- Da Silva, L. B. L., Ferreira, E. B., Ferreira, R. J. P., Frej, E. A., Roselli, L. R. P., & De Almeida, A. T. (2023). Paradigms, Methods, and Tools for Multicriteria Decision Models in Sustainable Industry 4.0 Oriented Manufacturing Systems. *Sustainability (Switzerland)*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/su15118869>

- Dal Forno, A. J., Bataglini, W. V., Steffens, F., & Ulson de Souza, A. A. (2023). Industry 4.0 in textile and apparel sector: a systematic literature review. *Research Journal of Textile and Apparel*, 27(1), 95–117. <https://doi.org/10.1108/RJTA-08-2021-0106>
- DANE. (2021). Documento para el Sector Industria metodológico.
- de Oliveira Neto, G. C., Correia, J. M. F., Tucci, H. N. P., Librantz, A. F. H., Giannetti, B. F., & de Almeida, C. M. V. B. (2022). Sustainable Resilience Degree assessment of the textile industrial by size: Incremental change in cleaner production practices considering circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 380. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134633>
- de Prada, C., Galán-Casado, S., Pitarch, J. L., Sarabia, D., Galán, A., & Gutiérrez, G. (2022a). Digital twins for process industry. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 19(3), 285–296. <https://doi.org/10.4995/RIAI.2022.16901>
- de Prada, C., Galán-Casado, S., Pitarch, J. L., Sarabia, D., Galán, A., & Gutiérrez, G. (2022b). Digital twins for process industry. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 19(3), 285–296. <https://doi.org/10.4995/RIAI.2022.16901>
- Del Carmen Sosa Sierra, M. (n.d.). Inteligencia artificial en la gestión financiera empresarial.
- Evelise Leite Didoné, Andreas Wagner, & Fernando Oscar Ruttkay Pereira. (2014). Estratégias para edificios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV Strategies towards Net Zero Energy Office Buildings in Brazil with emphasis on BIPV.
- Fontoura, L., Nascimento, D. L. de M., Neto, J. V., Garcia-Buendia, N., Garza-Reyes, J. A., Lima, G. B. A., Tortorella, G. L., Caiado, R. G. G., & Meiriño, M. J. (2023). Real-time energy flow mapping: A VSM-based proposal for energy efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 419, 137871. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.137871>

Francisco Corma Canós. (2009). INNOVACIÓN, INNOVADORES Y EMPRESA INNOVADORA.

García-Peñalvo, F. J. (2022). Importancia de las revisiones sistemáticas de literatura.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7185161>

Garrido, S., Muniz, J., & Batista Ribeiro, V. (2024). Operations Management, Sustainability & Industry 5.0: A critical analysis and future agenda. In Cleaner Logistics and Supply Chain (Vol. 10). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100141>

Gladysz, B., Tran, T. anh, Romero, D., van Erp, T., Abonyi, J., & Ruppert, T. (2023). Current development on the Operator 4.0 and transition towards the Operator 5.0: A systematic literature review in light of Industry 5.0. In Journal of Manufacturing Systems (Vol. 70, pp. 160–185). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.07.008>

Gloria Aponte. (2022). Panorama internacional de la economía circular a través del análisis de la producción científica y tecnológica.

Guerrero, B. B. (2023). FUNDAMENTOS DE INNOVACIÓN AUTORES Y CONCEPTOS.

Guirao-Goris, J. A., Salas, A. O., & Ferrandis, E. F. (2008). El artículo de revisión.

<http://revista.enfermeriacomunitaria.org/articuloCompleto.php?ID=7>. Consultado el 23/07/2008

Hennessy, A., Tran, T. H., Sasikumar, S. N., & Al-Falahi, Z. (2024). Machine learning, advanced data analysis, and a role in pregnancy care? How can we help improve preeclampsia outcomes? In Pregnancy Hypertension (Vol. 37). Elsevier B.V.

<https://doi.org/10.1016/j.preghy.2024.101137>

Hernán Santiso, Martín Salamero, & Cristian Novarino. (2020). Recolección y análisis de datos en el ámbito de la eficiencia energética eléctrica. *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, 19. <https://doi.org/10.36561/ing.19.3>

Hines, P., Tortorella, G. L., Antony, J., & Romero, D. (2023). Lean Industry 4.0: Past, present, and future. *Quality Management Journal*, 30(1), 64–88.  
<https://doi.org/10.1080/10686967.2022.2144786>

Howard, D. A., Ma, Z., Veje, C., Clausen, A., Aaslyng, J. M., & Jørgensen, B. N. (n.d.). Greenhouse industry 4.0 – digital twin technology for commercial greenhouses.  
<https://doi.org/10.1186/s42162-021-00161-9>

IEA. (2023). Executive summary – Latin America Energy Outlook 2023 – Analysis - IEA.  
<https://www.iea.org/reports/latin-america-energy-outlook-2023/executive-summary>

Iván Daniel Niño Moreno. (2023). Revisión de la literatura de las metodologías de innovación más utilizadas en los últimos 5 años en el contexto global: casos de innovación del sector energético.

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S. (2022a). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203–217.  
<https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Gonzalez, E. S. (2022b). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203–217.  
<https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Santibañez Gonzalez, E. (2022).

Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 203–217.

<https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008>

Javier, F., Carrasco, C., & Carrión, J. G. (2021). SUPERVISIÓN ENERGÉTICA PARA MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE CONSUMO ELÉCTRICO. UN CASO PRÁCTICO ENERGY MONITORING FOR CONTROL OF ENERGY CONSUMPTION. A CASE STUDY (Vol. 4).

Junior Santamaría Ruiz, M., Romario Antequera Amaris, R., -Montañez, H., & Leguizamo Pinedo, V. (2022). TRANSFORMACIÓN DE MODELOS DE GESTIÓN DEL TALENTO HUMANO: CONCEPTOS, DEFINICIONES Y APORTES (Vol. 1).

Leite Monti Vieira, I., Carlos Pacagnella Junior, A., & Augusto Amaral Terra, L. (2018).

DESAFIOS DO LEAN SEIS SIGMA NA INDÚSTRIA DE BEBIDAS. In *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering* (Vol. 19).

Lucas Borges Leal Da Silva, Evanielle Barbosa Ferreira, Rodrigo José Pires Ferreira, Eduarda Asfora Frej, Lucia Reis Peixoto Roselli, & Adiel Teixeira De Almeida. (2023). Paradigms, Methods, and Tools for Multicriteria Decision Models in Sustainable Industry 4.0 Oriented Manufacturing Systems. *Sustainability* (Switzerland), 15(11).

<https://doi.org/10.3390/su15118869>

Mahlmann Kipper, L., Iepsen, S., Julia, A., Forno, D., Frozza, R., Furstenau, L., Agnes, J., & Cossul, D. (2020). Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0.

<https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101454>

- Marco Conti, Andrea Passarella, & Sajal K. Das. (2022). The Internet of People (IoP): A New Wave in Pervasive Mobile Computing.
- Marin Garcia, J. D., Marin Jimenez, J. D., & Carvajal Quintero, S. X. (2021). Implementation of an Energy Management System in Colombian Manufacturing-A Methodological Approach. *Transactions on Energy Systems and Engineering Applications*, 2(2), 9–14.  
<https://doi.org/10.32397/tesea.vol2.n2.2>
- Mateus da Silva Pinto Me Luis Gustavo Schröder Braga, L. (n.d.). Metodologia Lean Six Sigma aplicada à Eficiência Energética em âmbito industrial. Aplicação prática em uma fábrica de Tampas no centro-sul fluminense.
- Mazzucato, M. (2023). Cambio transformacional en América Latina y el Caribe: un enfoque de política orientada por misiones. [www.issuu.com/publicacionescepal/stacks](http://www.issuu.com/publicacionescepal/stacks)
- Mora-Contreras, R., Torres-Guevara, E., Mejia-Villa, A., Ormazabal, M., Prieto-Sandoval, V., & Grigoroudis, E. (2022). Unraveling the effect of circular economy practices on companies' sustainability performance: Evidence from a literature review-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).  
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.10.022>
- Natalia Gilardini. (2019). Tesis 30-6.
- Oliveira Neto, G. C. de, Pinto, L. F. R., de Silva, D., Rodrigues, F. L., Flausino, F. R., & Oliveira, D. E. P. de. (2023). Industry 4.0 Technologies Promote Micro-Level Circular Economy but Neglect Strong Sustainability in Textile Industry. *Sustainability (Switzerland)*, 15(14).  
<https://doi.org/10.3390/su151411076>
- Orive, D., López, A., Estévez Estévez, E., Orive, A., & Marcos, M. (2021). Desarrollo de gemelos digitales para la simulación e integración de activos de fabricación en la industria

4.0. In XLII JORNADAS DE AUTOMÁTICA : LIBRO DE ACTAS (pp. 709–716). Servizo de Publicacións da UDC. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498043.709>

Pedro Linares Llamas. (n.d.). EFICIENCIA ENERGÉTICA Y MEDIO AMBIENTE.

Prias, O., & Montaña, D. (2014). Modelo estratégico de innovación para impulsar la gestión energética en Colombia PALABRAS CLAVE. *Energética*, 44, 61–68.

[www.revistas.unal.edu.co/energetica](http://www.revistas.unal.edu.co/energetica)

Riosvelasco-Monroy, G. E., Pérez-Olguín, I. J. C., Pérez-Domínguez, L. A., Méndez-González, L. C., & Noriega-Morales, S. (2022). Application of the COHRV Conceptual Framework to Enhance Sustainable Manufacturing. *Sustainability (Switzerland)*, 14(24).

<https://doi.org/10.3390/su142416804>

Rivera, F. M. La, Hermosilla, P., Delgadillo, J., & Echeverría, D. (2020). The sustainable development goals (SDGs) as a basis for innovation skills for engineers in the industry 4.0 context. *Sustainability (Switzerland)*, 12(16). <https://doi.org/10.3390/su12166622>

Sabatés, L. A., & Roca, J. S. (2020). La revisión de la literatura científica: Pautas, procedimientos y criterios de calidad.

Sánchez, C., & Fuquen Gonzalez, H. (2014). EFICIENCIA ENERGÉTICA.

<https://www.researchgate.net/publication/333089139>

Satyro, W. C., Contador, J. C., Monken, S. F. de P., Lima, A. F. de, Soares Junior, G. G., Gomes, J. A., Neves, J. V. S., do Nascimento, J. R., de Araújo, J. L., Correa, E. de S., & Silva, L. S. (2023). Industry 4.0 Implementation Projects: The Cleaner Production Strategy—A Literature Review. *Sustainability (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032161>

Sebastian, J., & Orozco, M. (n.d.). Reducción de gasto energetico eléctrico usando seis sigma

Reduction of energy waste by the use of six sigma Redução de despesas de energia elétrica de seis sigma.

Shang, C., Saeidi, P., & Goh, C. F. (2022). Evaluation of circular supply chains barriers in the era of Industry 4.0 transition using an extended decision-making approach. *Journal of*

*Enterprise Information Management*, 35(4–5), 1100–1128. <https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2021-0396>

Silva, T. H. H., & Sehnem, S. (2022). Industry 4.0 and the Circular Economy: Integration

Opportunities Generated by Startups. *Logistics*, 6(1).

<https://doi.org/10.3390/logistics6010014>

Souza, L. C., Neto, E. R., Lima, E. S., & Junior, A. C. S. (2022). Optically-powered wireless

sensor nodes towards industrial internet of things. *Sensors*, 22(1).

<https://doi.org/10.3390/s22010057>

TÜV SÜD. (2018). ISO 50001-Energy management systems Reduce energy costs and achieve a competitive advantage White paper.

Varas Chiquito, M., García Plua, J. C., Bustamante Chong, M. E., & Bustamante Chong, C.

(2020). Gemelos digitales y su evolución en la industria. *RECIMUNDO*, 4(4), 300–308.

[https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).noviembre.2020.300-308](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).noviembre.2020.300-308)

Webster Moreira Dos Santos. (2018). AS MELHORES PRÁTICAS EM ECONOMIA DE

ENERGIA PARA A INDÚSTRIA.

Wendy De Jesus Ospina Orozco. (2023). Importancia sobre el desarrollo del talento humano

basado en competencias.

Yasser Fernando Román Matamoros. (2023). Diseño de un plan de eficiencia energética para las áreas críticas de una fábrica de baterías de la ciudad de guayaquil, mediante el uso de la herramienta DMAIC de la metodología lean Six Sigma.