

ID del documento: SAI-Vol.2.N.4.001.2025

Tipo de artículo: Investigación

El rol transformador de la inteligencia artificial en la gerencia sostenible: Optimizando las cadenas de valor circulares

The transformative role of artificial intelligence (AI) in sustainable management: Optimizing circular value chains

Autores:

Carluys Suescum Coelho¹, Car Emyr Suescum Coelho², Carlysmar Suescum Coelho³, Carelys Suescum Coelho⁴

¹Universidad Latinoamericana y del Caribe, Venezuela, carluyscoelho@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-2044-7684>

²Universidad Metropolitana, Venezuela, csuescum@unimet.edu.ve, <https://orcid.org/0000-0003-1104-7800>

³Centro de Estudios Gerenciales Avanzados, Venezuela, carlysmarcoelho.cega@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-5959-4380>

⁴Centro de Estudios Gerenciales Avanzados, Venezuela, carelyscoelho.cega@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-1922-8165>

Corresponding Author: Carluys Suescum Coelho, carluyscoelho@gmail.com

Reception date: 01-Junio-2025 **Acceptance:** 28-Agosto-2025 **Publication:** 10-October-2025

How to cite this article:

Suescum Coelho, C., Suescum Coelho, C. E., Suescum Coelho, C., & Suescum Coelho, C. (2025). El rol transformador de la inteligencia artificial en la gerencia sostenible: Optimizando las cadenas de valor circulares. Sapiens in Artificial Intelligence, 2(4), 1-17. <https://doi.org/10.71068/amwjw653>

Resumen

Este estudio presenta una revisión sistemática de la literatura que explora la convergencia entre inteligencia artificial (IA) y gestión sostenible, destacando el papel de la IA en la optimización de la cadena de valor circular y su impacto en la sostenibilidad empresarial (ODS 12). Partiendo del análisis temático de un total de treinta y siete (37) artículos académicos y diversas fuentes especializadas, se identificaron las principales prácticas en las que la IA contribuye a lo largo del ciclo de vida del producto, desde las fases de diseño y producción hasta la logística inversa y la gestión de residuos. Los resultados muestran que la IA se posiciona como un catalizador fiable para la transición hacia una economía circular (EC), impulsando nuevos modelos de negocio como el producto como servicio (PaaS) y la remanufactura. Sin embargo, también surgen ciertos desafíos importantes que deben abordarse con un sentido crítico, humano y profundamente reflexivo, incluyendo el aumento del consumo energético, la huella de carbono asociada y los riesgos éticos asociados a los sesgos presentes en los algoritmos. La investigación concluye que una implementación exitosa de la inteligencia artificial parte de exigir un enfoque de gestión integral capaz de anticipar riesgos, fortalecer la colaboración entre los actores involucrados y cultivar un liderazgo adaptativo. Se propone un marco estratégico que orienta la acción gerencial abriendo el camino a nuevas líneas de investigación, contribuyendo además, al uso de la inteligencia artificial de un modo más ético, sostenible y transformador en el ámbito empresarial bajo el ODS 9.

Palabras clave: Inteligencia artificial; gestión sostenible; economía circular; cadena de valor; sostenibilidad.

Abstract

This study presents a systematic literature review exploring the convergence between artificial intelligence (AI) and sustainable management, highlighting the role of AI in optimizing the circular value chain and its impact on business sustainability (SDG 12). Based on the thematic analysis of a total of thirty-seven (37) academic articles and various specialized sources, the main practices in which AI contribute throughout the product lifecycle were identified, from the design and production phases to reverse logistics and waste management. The results show that AI is positioned as a reliable catalyst for the transition towards a circular economy (CE), driving new business models such as product as a service (PaaS) and remanufacturing. However, certain important challenges also arise that must be addressed with a critical, humane and deeply reflective sense, including the increase in energy consumption, the associated carbon footprint and the ethical risks associated with biases present in algorithms. The research concludes that successful implementation of artificial intelligence requires a comprehensive management approach capable of anticipating risks, strengthening collaboration among stakeholders, and cultivating adaptive leadership. A strategic framework is proposed to guide managerial action, paving the way for new lines of research, while also contributing to the more ethical, sustainable, and transformative use of artificial intelligence in the business world under SDG 9.

Keywords: Artificial intelligence; sustainable management; circular economy; value chain; sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

Indudablemente el modelo económico lineal fundado en los principios de tomar, hacer y desechar ha impulsado el crecimiento global durante el último siglo, pero su vez ha demostrado ser insostenible a largo plazo. Este enfoque de desarrollo ha provocado no solo una explotación exacerbada de recursos naturales, sino, del mismo modo, una acumulación exponencial de residuos que genera un profundo impacto ambiental que amenaza la viabilidad de los ecosistemas y las sociedades.

Las estadísticas a nivel global resultan alarmantes, cuando se reflejan cifras de que anualmente la humanidad desecha alrededor de 2.6 billones de dólares americanos en bienes de consumo, una cifra que muestra inequívocamente y de manera preocupante la gran ineficiencia del modelo actual, siendo precisamente por ello que esta realidad ha sido llevada a la agenda de desarrollo global, impulsando la búsqueda de alternativas más regenerativas y resilientes (Çetin et al., 2021).

La economía circular (EC) nacida para contrarrestar la linealidad imperante emerge como paradigma que impulsa el crecimiento económico responsable desvinculado del extractivismo excesivo y devastador, con una marcada orientación a preservar los recursos finitos con los que cuenta el planeta tierra. Según los hallazgos de Han et al. (2023) se fundamenta en principios que inician en las fases de diseño y prototipado de productos sin residuos, hasta la promoción de su uso prolongado, en pro de la regeneración armónica de los ecosistemas.

A diferencia del modelo lineal, se sustenta en cuatro pilares: reducción, reutilización, reciclaje y remanufactura, logrando de este modo que los materiales y su valor se mantengan activos dentro de la economía el mayor tiempo posible, fortaleciendo de modo directo la sostenibilidad. Esta transición representa un cambio de mentalidad (Fallahi et al., 2023), pues se avanza a un enfoque que aboga por producir menos pero mejor, sin embargo, aún se encuentra presente un nivel de complejidad considerable que implica la gestión de flujos de materiales y la coordinación de múltiples actores, forjando un terreno fértil para que tecnologías vanguardistas se conviertan en herramientas indispensables del progreso.

La disrupción creativa de las tecnologías emergentes digitales, en particular de la IA, se ha convertido la misma en un agente catalizador fundamental de la transición hacia la circularidad. Su capacidad de procesamiento de grandes volúmenes de datos casi instantáneamente permite a las organizaciones identificar patrones, optimizar materias primas y reducir gradualmente el consumo de recursos, además de facilitar procesos de toma de decisiones basadas en evidencia con una precisión impensable (Fraga-Lamas et al., 2021). Vistas estas consideraciones la convergencia entre IA y economía circular no responde al azar; sino que constituye una respuesta estratégica y necesaria ante los retos actuales del mundo contemporáneo, orientado a construir sistemas más

eficientes, mucho más transparentes y sobre todo, más sostenibles para las próximas generaciones (Laskurain-Iturbe et al., 2021).

Se presenta entonces una paradoja que amerita de una gestión consciente pero estratégica, ya que a pesar de los beneficios que la IA puede aportar a la sostenibilidad global, su propio desarrollo y operatividad deja una huella ambiental considerable, dado que los centros de datos que alimentan los modelos de IA consumen inmensas cantidades de energía y agua, lo que deja abierto un claro debate sobre si los beneficios de la IA compensan su propio impacto. Por ejemplo, se estima que el entrenamiento de un solo modelo de IA puede generar cerca de 300 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) y que la generación de una imagen con IA puede consumir entre 0.018 y 3.45 litros de agua para el enfriamiento de los servidores (Langley, 2023; Branch-Bedoya et al., 2025). Además, a esto se le suma el problema del creciente volumen de residuos electrónicos (e-waste) generado por el hardware especializado que la IA demanda, de este modo el abordaje de este dilema es crucial para una gerencia verdaderamente sostenible (Wamba et al., 2023).

El campo de la investigación sobre la IA y la sostenibilidad ha experimentado un crecimiento exponencial desde mediados del año 2018, sin embargo, la literatura carece de una síntesis exhaustiva y práctica que articule las mejores prácticas de la IA a lo largo de la cadena de valor circular, así como su integración directa en cada uno de los nuevos modelos de negocio que se están creando en la segunda década del siglo XXI. La mayoría de los estudios se han centrado en aplicaciones tecnológicas específicas, sin brindar una visión holística que efectivamente conecte la tecnología con la estrategia gerencial y el diseño de modelos de negocio viables (Jose et al., 2020). Este vacío de conocimiento denota la creciente necesidad de un estudio que no solo enumere o categorice las aplicaciones de la IA, sino que del mismo modo, analice cómo estas prácticas propician el desarrollo de nuevos enfoques empresariales y de forma estructural discuta esos desafíos gerenciales, éticos y ambientales que subyacen a esta transformación (Amatucci, 2022).

El presente artículo busca llenar este vacío a partir de la identificación de las mejores prácticas en el uso de la IA para optimizar la cadena de valor desde la perspectiva de la circularidad, analizando cómo la IA habilita y se integra en el ADN de los nuevos modelos de negocio, para finalmente discutir los desafíos críticos e implicaciones gerenciales que conlleva esta integración, y así brindar recomendaciones para una hoja de ruta que oriente una implementación exitosa.

2. METODOLOGÍA

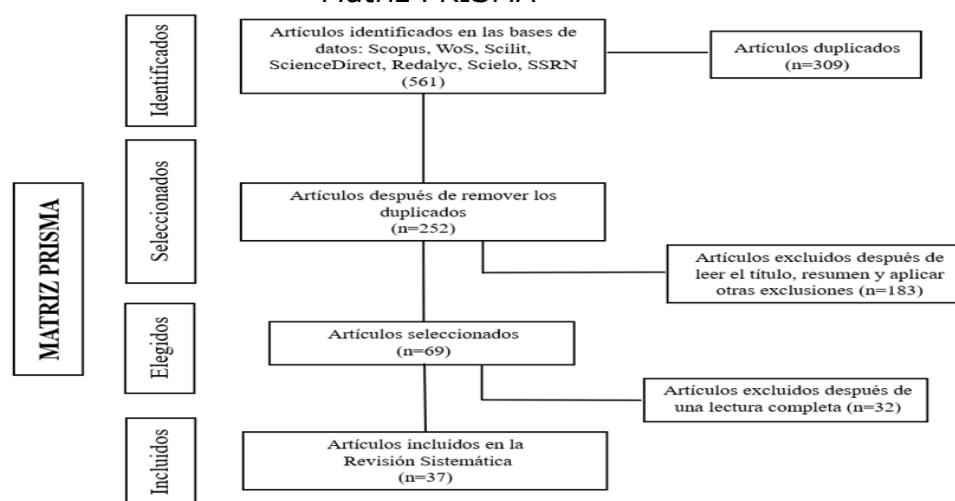
La investigación empleó un diseño de investigación de revisión sistemática de la literatura PRISMA con un enfoque cualitativo. Se consideró como la más adecuada por ser un campo de estudio que se encuentra en rápida evolución, ya que permite

organizar, sintetizar, mapear y analizar la producción científica existente, identificando no solo tendencias más actuales y con mayor relevancia, sino también, esos vacíos de conocimiento y áreas de oportunidad que se encuentran presentes (Page et al., 2021).

La recolección de datos durante la fase investigativa siguió un riguroso protocolo utilizando repositorios y bases de datos científicas y académicas como: Scopus, Web of Science (WoS), Scilit, SSRN, Science Direct, , Redalyc y Scielo. El proceso de consulta se llevó a cabo con la utilización de términos de búsqueda clave en tres (03) idiomas: inglés, español y portugués, empleados conjuntamente con operadores lógicos para refinar y mejorar la calidad de los resultados obtenidos. Las expresiones usadas incluyeron: circularity, circular economy, sustainability, sustainable management, circular-models, new business-models, artificial intelligence, y AI, con sus correspondientes equivalentes en portugués y español.

Seguidamente se aplicaron los siguientes criterios para la selección de artículos. Se incluyeron artículos sometidos a revisión por pares, artículos de conferencias con revisión académica, publicaciones en revistas con factor de impacto o indexadas en bases de datos de alto nivel (Scopus, WoS), que abordaran de manera específica la intersección de IA y circularidad, y que a su vez contaran con un DOI verificable. A los fines de garantizar el uso de fuentes recientes se incluyeron documentos publicados a partir del año 2020 para capturar las investigaciones más actuales, dado que el tema ha experimentado un crecimiento exponencial. Fueron excluidos aquellos artículos que trataran la IA o la economía circular de forma aislada, la literatura gris, los comunicados de prensa o aquellos documentos sin un DOI o URL verificable. De este modo un total de 37 artículos académicos fueron seleccionados para el análisis final, lo que permitió una base de conocimiento robusta y diversificada, tal como se evidencia en el siguiente cuadro.

Figura 1
Matriz PRISMA



Fuente: Elaboración propia.

Para analizar los documentos seleccionados se procedió a crear una matriz de registro, que permitió ordenar, categorizar y organizar la información de manera estructurada, posterior a ello, se realizó un análisis temático a los fines de identificar y agrupar las mejores prácticas y los modelos de negocio emergentes habilitados por la IA. Para ello, se utilizó un enfoque de mapeo científico a los fines de identificar las revistas y clústeres temáticos más relevantes en la intersección de la IA con la sostenibilidad, utilizando herramientas como VOSviewer y Excel para el análisis descriptivo y de co-ocurrencia de palabras clave (Narong, & Hallinger, 2023). Este proceso no solo permitió la identificación de hallazgos, sino a su vez la construcción de una narrativa coherente que permite conectar la tecnología, las prácticas operativas y las implicaciones estratégicas en el ámbito gerencial. Es así como la transparencia en este proceso metodológico fortalece la credibilidad y la replicabilidad de los hallazgos presentados a continuación.

3. RESULTADOS

Los resultados arrojados por la investigación con la revisión sistemática se estructuran en dos ejes principales, a saber: 1) las mejores prácticas de la IA para la optimización de la cadena de valor circular y, 2) cómo estas prácticas habilitan la emergencia de nuevos modelos de negocio sostenibles.

1. Prácticas de la IA en la cadena de valor circular

La integración de la IA en la cadena de valor circular transforma cada una de sus etapas, desde esas fases iniciales en donde se da la concepción del producto hasta el final de su ciclo de vida. Las aplicaciones no solo optimizan la eficiencia, sino que del mismo modo actúan como motor para la transición hacia un sistema regenerativo (Agrawal et al., 2022b).

Diseño de productos y materiales circulares

El diseño, junto con el prototipado es el punto de partida de la circularidad. La IA acelera y mejora el desarrollo de nuevos productos y materiales aptos para una economía circular a través de procesos de diseño iterativos asistidos por algoritmos de aprendizaje automático (Acerbi et al., 2021). Las tecnologías de diseño generativo permiten a los ingenieros y equipos de diseño crear y probar prototipos en ciclos rápidos, optimizando la selección de materiales sostenibles y bio-basados, y asegurando en todo momento que los productos sean al mismo tiempo modulares, duraderos y fáciles de reparar o desmontar, reduciendo el uso de materias primas vírgenes y minimizando los residuos desde el origen (Ding et al., 2022).

Gestión de la cadena de suministro y logística inversa

La cadena de suministro es el corazón o núcleo de la economía circular, y la IA ofrece un conjunto de herramientas para su optimización integral. En la previsión de la demanda los sistemas de IA superan con creces a los métodos de previsión tradicionales al analizar enormes volúmenes de datos de forma casi instantánea, incluyendo los históricos de las ventas, las tendencias del mercado, factores externos como el clima o los patrones de comportamiento del cliente (Agrawal et al., 2022a). Algoritmos avanzados como los modelos estacionales de Media Móvil Autorregresiva Integrada (ARIMA) y los Bosques Aleatorios identifican patrones complejos para generar predicciones con gran precisión (Mboli et al., 2023); a partir de esta previsión dinámica y confiable se reduce significativamente el sobre stock y, por ende, el desperdicio.

De igual modo la IA puede optimizar los procesos de gestión de inventarios equilibrando la necesidad de satisfacer la demanda con la necesidad de evitar que un exceso de existencias termine por convertirse en costos de mantenimiento para la empresa que de forma acumulativa terminarán por afectar su desempeño financiero.

Los sistemas pueden en este punto automatizar la reposición de productos cuando los niveles de existencias alcanzan ciertos umbrales, optimizando así la disposición del almacén para lograr mayores niveles de eficiencia (Trivedi & Hait, 2023). Del mismo modo, en la logística la IA se convierte en una herramienta para la optimización de rutas en tanto que analiza variables como el tráfico y condiciones meteorológicas en tiempo real, reduciendo no solo los kilómetros recorridos, sino a su vez, el consumo de combustible fósiles y las emisiones de CO₂ (Schöggl et al., 2023).

La investigación de Alonso et al., (2021) mantuvo que la IA es pilar estructural para la logística inversa por cuanto permite la optimización de la recolección y devolución de productos y materiales para su reutilización, reciclaje o remanufactura, reduciendo al mismo tiempo la cantidad de residuos y contaminación. Incluso, vale considerar que Bernat (2023) manifiesta en su estudio que a partir del uso de sistemas de visión por computadora apoyado en robótica, la IA es capaz de identificar automáticamente y clasificar los artículos defectuosos y valiosos, agilizando el control de calidad y procesamiento de flujos de retorno.

Gestión de residuos y reciclaje

En la fase final del ciclo de vida de los productos, la IA transforma lo que se considera basura o desperdicio, en recursos valiosos. La visión artificial y la robótica permiten la clasificación automática de residuos (Satav et al., 2023), como los plásticos o los desecho de tipo electrónico con una precisión de hasta el

95% y a velocidades que duplican o triplican la capacidad humana (Wilts et al., 2021; Chauhan et al., 2022). Esta automatización no solo mejora la eficiencia, sino que también reduce la exposición de los trabajadores a materiales peligrosos, aumentando la seguridad y garantizando su derecho humano a la salud. El siguiente cuadro presenta un resumen de las aplicaciones más relevantes de la IA en la cadena de valor circular.

Tabla 1
Aplicaciones de IA en la Cadena de Valor Circular

Etapa de la cadena de valor	Práctica habilitada por la IA	Tecnologías IA	Beneficios claves para la sostenibilidad
Diseño y Desarrollo	Diseño para el desmantelamiento y la modularidad. Selección de materiales sostenibles.	Aprendizaje automático (ML), Diseño generativo.	Reducción del uso de materias primas vírgenes. Productos más duraderos y reparables.
Logística y Suministro	Previsión de la demanda. Optimización de inventarios y rutas de transporte.	Análisis de datos, Algoritmos de predicción (ARIMA, Bosques Aleatorios), Gemelos Digitales.	Reducción del sobre stock y el desperdicio. Disminución de emisiones de CO2. Optimización de costes operativos.
Gestión de Residuos y Reciclaje	Clasificación automática de residuos. Detección de materiales contaminantes.	Visión por computadora, Robótica, Sensores inteligentes.	Mejora de la tasa y calidad del reciclaje. Transformación de residuos en recursos.
Logística Inversa	Evaluación automática de productos devueltos. Optimización de flujos de retorno.	Visión por computadora, Algoritmos de optimización.	Aumento de la eficiencia en la recuperación de valor. Reducción de errores y de la necesidad de mano de obra.

Fuente: Elaboración propia.

2. La IA como habilitador de los nuevos modelos de negocio del siglo XXI

La IA no solo optimiza los procesos; también habilita la viabilidad de modelos de negocio que son intrínsecamente circulares y que se ajustan a las demandas del siglo XXI.

Producto como Servicio (PaaS)

En este modelo de negocio las empresas ofrecen el uso de un producto en lugar de entregar su propiedad plena, lo que incentiva la durabilidad y el mantenimiento (Pradeep & Amit, 2025). La IA es fundamental para el éxito de este enfoque a

grandes escalas, pues los sistemas de mantenimiento predictivo, impulsados por IA pueden analizar datos de sensores de forma instantánea para predecir fallos y necesidades de reparación extendiendo la vida útil del activo y garantizando su funcionamiento (Zota et al., 2023). Además de ello, los algoritmos diseñados para la predicción de la demanda y precios dinámicos optimizan la utilización de los productos, asegurando que se alquilen o renten cuando se necesiten, lo que no solo maximiza el valor de los activos, sino que genera nuevas fuentes de ingresos (Cherrafi et al., 2022).

Economía colaborativa

Los modelos de negocio que se enfocan en el uso compartido de activos ya sean vehículos, mobiliarios, herramientas o espacios de trabajo, son más eficientes y reducen la necesidad de una nueva producción, en este caso la IA facilita la escalabilidad de estas plataformas gestionando la oferta y la demanda en tiempo real a través de la optimización de la asignación de recursos a los fines de personalizar las ofertas para cada uno de los usuarios. Un ejemplo de ello es cómo la IA de Uber, Airbnb o las aerolíneas utiliza datos para ajustar las tarifas dinámicamente según la demanda, mejorando la eficiencia y el valor para todas las partes (Fallahi et al.,2023).

Remanufactura y recuperación de recursos

La IA aporta un gran potencial a los modelos de negocio que se centran en la remanufactura y la recuperación de valor, al mejorar la eficiencia de las plataformas de reventa y reacondicionamiento. Se evidencian casos en done los sistemas de visión por computadora pueden evaluar automáticamente el estado de los productos devueltos por los clientes, agilizando el proceso de recolección y minimizando errores humanos (Liu et al., 2023). Algunas empresas de renombre por su compromiso con la sostenibilidad como Patagonia o Coach (Wong, 2025), a través de sus programas de reparación y reventa, utilizan la tecnología para prolongar la vida útil de sus productos, fortaleciendo la lealtad del cliente y reduciendo la dependencia de nuevas materias primas. En el cuadro que se muestra a continuación, se presenta un resumen de cómo la IA habilita y potencia los nuevos modelos de negocio circulares.

Tabla 2
Efecto potenciador de la IA

Modelo de negocio circular	Aplicación de IA	Casos reales	Beneficios estratégicos
Producto como Servicio (PaaS)	Mantenimiento predictivo. Previsión de demanda y precios dinámicos.	Signify, Xerox	Nuevas fuentes de ingresos. Mayor durabilidad del producto.

			Optimización de la utilización de activos.
Economía Colaborativa	Gestión dinámica de plataformas. Emparejamiento de oferta y demanda en tiempo real.	Zipcar, WeWork, Turo	Reducción de la necesidad de producción. Mayor eficiencia en el uso de los activos.
Remanufactura	Evaluación del estado de productos devueltos. Optimización de flujos de retorno.	Patagonia (Worn Wear) Coach (Re)Loved	Fidelidad del cliente. Reducción de costes de materias primas. Diferenciación de marca.
Insumos Circulares	Trazabilidad de materiales. Optimización de procesos con materiales reciclados.	Adidas (Futurecraft Loop) Nike (Nike Grind)	Reducción del impacto ambiental. Cierre de ciclos de recursos. Cumplimiento de expectativas del consumidor.

Fuente: Elaboración propia.

4. DISCUSIÓN

Los resultados arrojados por la investigación demuestran que la IA no es una mera herramienta de optimización, sino que se trata de un orquestador inteligente que les permite a las empresas reimaginar sus productos, sus procesos y los beneficios para la materialización de una economía circular. La IA cuenta con la ventaja de transformar la gerencia sostenible al evolucionar del tradicional enfoque reactivo (producir y luego limpiar) a uno mucho más proactivo, estratégico y generador de valor que diseña para la circularidad (Mboli et al., 2023). Una integración de la IA con la EC permite a las empresas ser más eficientes y competitivas en un mercado cada vez más exigente, demostrando que la rentabilidad y la responsabilidad socioambiental no son mutuamente excluyentes.

A través de un análisis pormenorizado la investigación ha logrado sistematizar cómo la IA potencia los nuevos modelos de negocio partiendo de la interconexión entre la capacidad de la IA para gestionar datos complejos y su impacto en la viabilidad de modelos disruptivos, innovadores, digitales, de remanufactura y PaaS (Kurniawan et al., 2023). Las tecnologías asociadas a la IA proporcionan las capacidades necesarias para predecir la demanda, gestionar grandes flujos de materiales y optimizar las operaciones de una manera que los sistemas tradicionales mecanicistas no podrían, ocasionando así que la circularidad evolucione de un concepto meramente aspiracional a una estrategia empresarial prometedora, que además de su tangibilidad, resulta es rentable para empresarios e inversionistas.

Más allá de todo ese cúmulo de potencialidades, la IA no debe ser vista como la panacea para la sostenibilidad, ya que una implementación exitosa exige de igual

modo que los líderes aborden conscientemente los desafíos inherentes a la tecnología.

La paradoja de la sostenibilidad de la IA

El gran dilema se centra en el consumo de recursos por parte de la misa IA, y es que los centros de datos que la alimentan consumen una cantidad masiva de energía, y su huella hídrica ha generado serias preocupaciones en la comunidad científica (Ramírez & Litardo, 2025). El entrenamiento de modelos transformadores generativos pre-entrenados construidos bajo redes neuronales como GPT-3 o GPT-4 pueden consumir el equivalente a una botella de agua por cada 10 a 50 respuestas, siendo esta una cifra que se multiplica rápidamente a escala global (Shaji et al., 2023). Por lo tanto, el verdadero valor de la inteligencia artificial en la sostenibilidad dependerá de si los beneficios que genera, como la optimización de rutas o la reducción de desechos en la producción, superan con creces su propio impacto ambiental (Chen et al., 2020).

La mitigación de este riesgo se convierte en un llamado de atención para la gerencia sostenible, pues para ello se deben implementar estrategias orientadas a la reducción del consumo hídrico y energético de la IA, así como la optimización de los flujos de trabajo, la compresión de los modelos y la colaboración y alianzas que deben entablar los grandes desarrolladores de estos modelos con proveedores de energía renovable (Bag et al., 2021). Se procura entonces una transición hacia la llamada IA verde que va de la mano con el desarrollo de tecnologías intrínsecamente más eficientes, en el sentido de una reducción exponencial de la complejidad computacional y el consumo de energía desde sus fases de diseño y prototipado (Matheri et al., 2022). La gestión de la IA sostenible es, por tanto, un problema de retorno de la inversión (ROI) que trasciende lo financiero, requiriendo un mayor análisis de los costos y beneficios ambientales que de la tecnología en sí misma.

Ética y sesgos algorítmicos

Otro desafío crítico es la ética en el uso e implementación de la IA, por lo que al aprender con base a los datos con los que son entrenados, puede llevar a la perpetuación de sesgos históricos, exclusiones, discriminaciones o la instauración de desigualdades sociales. Puede acontecer que si un sistema de selección de personal se entrena con datos sesgados por género o etnia, el algoritmo puede replicar esas tendencias discriminatorias en todas sus decisiones futuras, afectando negativamente la equidad y el respeto que debe prevalecer ante la diversidad (Ferrara, 2024).

Para una implementación responsable cada uno de los niveles gerenciales y directivos deberán garantizar la calidad, la diversidad y la representatividad de los datos, estableciendo protocolos para la transparencia de los modelos, de modo

que las decisiones tomadas por parte de la IA no sean cajas negras, misteriosas, incomprensibles y llenas de opacidad (Belenguer, 2022). Por ello, las auditorías éticas continuas, la implementación de políticas de privacidad, protección y seguridad de datos, así como una sólida gobernanza de la IA son esenciales para mitigar estos riesgos y construir la confianza de los stakeholders.

El rol del gerente y las habilidades requeridas

Con la adopción de la IA para la gerencia sostenible se transforma radicalmente el rol del liderazgo empresarial, el gerente ya no será visto solo como un simple gestor de operaciones, sino que se convierte en un agente de transformación digital y líder transformacional que entiende que el éxito no depende solo de la tecnología, sino de esa capacidad de la organización para adaptarse a esos cambios repentinos que se materializan a diario en la sociedad.

Para liderar el cambio, los gerentes necesitan desarrollar y adquirir un conjunto de habilidades que se tornan cada más complejas, exigentes y multidisciplinarias, en el sentido de que deben combinar una sólida comprensión técnica del funcionamiento de la IA con la capacidad de gestionar proyectos en la sociedad 5.0. Ante este panorama, el gerente debe ser capaz de fomentar una cultura de innovación y adaptabilidad permanente en la que los equipos estén dispuestos a experimentar y aprender de manera continua.

La falta de claridad en las estrategias y de equipos correctamente capacitados es una de las principales barreras que enfrenta la adopción de la IA, por ello es fundamental que la gerencia desarrolle un plan de acción para la implementación de la IA que esté alineada de manera directa con los objetivos de negocio e ineludiblemente con la sostenibilidad. Ese plan debe abordar no solo la tecnología a implementar, sino también el valor esperado, la estructura del equipo operativo, la forma de gobernanza y la cultura de la organización. De este modo el éxito de la integración de la IA en la gerencia sostenible es, en última instancia, el fiel reflejo de un liderazgo que combina de forma holística una visión estratégica, habilidades técnicas y un profundo compromiso con la ética y la responsabilidad.

5. CONCLUSIÓN

Los resultados de la investigación confirman que la IA es una fuerza transformadora para la nueva gerencia sostenible en el marco de los ODS 9, 12 y 13, siendo que ésta no solo permite optimizar esas etapas individuales de la cadena de valor circular, sino que también de forma gradual actúa como un habilitador estratégico de los nuevos modelos de negocio que se gestan en una economía y mercados cada vez más digitalizados y disruptivos. Esta correlación brinda incuestionablemente a las empresas la oportunidad de desacoplar el crecimiento económico tradicional del consumo de recursos naturales, creando valor de una manera mucho más eficiente y sostenible.

Sin embargo, y pese a la multiplicidad de bondades y aspectos positivos que entraña el uso de IA, esta transición no está exenta de desafíos. La gerencia debe por tanto abordar conscientemente la paradoja de la huella ambiental que deja la IA y los riesgos éticos inherentes, como los sesgos algorítmicos y la protección de datos. Por ello, la implementación exitosa de la IA en la gerencia sostenible depende, en última instancia, de un liderazgo visionario, disruptivo, humanizante y esperanzador que priorice la formación de equipos multidisciplinarios, que fomente la transparencia, que consolide la gobernanza y que forje una cultura de adaptabilidad en pro de la sostenibilidad.

La aplicación de la inteligencia artificial (IA) en la economía circular (EC) constituye una oportunidad estratégica para potenciar la sostenibilidad empresarial, aun cuando persisten limitaciones derivadas de la naturaleza cualitativa de la revisión y de la rápida evolución tecnológica, por ello, los hallazgos deben interpretarse en el marco del conocimiento actual, un conocimiento en constante transformación.

La investigación por tanto identificó tres ejes o líneas prioritarias para el desarrollo de futuros estudios: primero, avanzar hacia investigaciones empíricas cuantitativos que midan el impacto económico y ambiental real de la IA en distintos sectores y permitan calcular el retorno de sostenibilidad en cada una de sus aplicaciones; segundo, diseñar marcos de gobernanza que aborden coherentemente los riesgos éticos, los sesgos y la privacidad de datos; y tercero, desarrollar hojas de ruta sectoriales que integren estrategia, cultura, talento, destrezas, habilidades y gobernanza para asegurar implementaciones responsables por parte de la gerencia. Al consolidar estos enfoques se contribuirá a maximizar el potencial transformador de la IA en la circularidad, equilibrando tres aspectos cruciales como lo son la innovación tecnológica, la rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acerbi, F., Forterre, D. A., & Taisch, M. (2021). Role of Artificial Intelligence in Circular Manufacturing: A Systematic Literature Review. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 367-372. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.040>
- Agrawal, R., Wankhede, V. A., Kumar, A., Luthra, S., & Huisingh, D. (2022a). Progress and trends in integrating Industry 4.0 within Circular Economy: A comprehensive literature review and future research propositions. *Business Strategy and the Environment*, 31(1), 559-579. <https://doi.org/10.1002/bse.2910>
- Agrawal, R., Wankhede, V. A., Kumar, A., Luthra, S., Majumdar, A., & Kazancoglu, Y. (2022b). An Exploratory State-of-the-Art Review of Artificial Intelligence Applications in Circular Economy using Structural Topic Modeling. *Operations Management Research*, 15(3-4), 609-626. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00212-0>

- Alonso, S. L. N., Forradellas, R. F. R., Morell, O. P., & Jorge-Vazquez, J. (2021). Digitalization, circular economy and environmental sustainability: The application of artificial intelligence in the efficient self-management of waste. *Sustainability* (Switzerland), 13(4), 1-20. <https://doi.org/10.3390/su13042092>
- Amatucci, C. (2022). Sustainable growth and the role of artificial intelligence in improving the circular economy. *Law & Digital Technologies*, 2(1), 7. <https://doi.org/10.18254/S278229070019620-8>
- Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S., & Dwivedi, Y. K. (2021). Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities. *Technological Forecasting and Social Change*, 163, 120420. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120420>
- Belenguer L. (2022). AI bias: exploring discriminatory algorithmic decision-making models and the application of possible machine-centric solutions adapted from the pharmaceutical industry. *AI and ethics*, 2(4), 771–787. <https://doi.org/10.1007/s43681-022-00138-8>
- Bernat, K. (2023). Post-Consumer Plastic Waste Management: From Collection and Sortation to Mechanical Recycling. *Energies*, 16(8), 3504. <https://doi.org/10.3390/en16083504>
- Branch-Bedoya, J. W., Villa-Garzón, F., & Villa-Garzón, A. (7 de Abril de 2025). Generar una imagen de IA requiere más agua de la que usted debe tomar al día. *Periódico UNAL*. <https://periodico.unal.edu.co/articulos/generar-una-imagen-de-ia-requiere-mas-agua-de-la-que-usted-debe-tomar-al-dia#:~:text=Investigacion es%20de%20la%20%%2020%20Universidad%20de,imagen%5B3%2C%208%5D>
- Çetin, S., De Wolf, C., & Bocken, N. (2021). Circular Digital Built Environment: An Emerging Framework. *Sustainability*, 13(11), 6348. <https://doi.org/10.3390/su13116348>
- Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>
- Chen, M., Liu, Q., Huang, S., & Dang, C. (2020). Environmental cost control system of manufacturing enterprises using artificial intelligence based on value chain of circular economy. *Enterprise Information Systems*, 16(8-9), 1856422. <https://doi.org/10.1080/17517575.2020.1856422>
- Cherrafi, A., Chiarini, A., Belhadi, A., El Baz, J., & Chaouni Benabdellah, A. (2022). Digital technologies and circular economy practices: Vital enablers to support sustainable and resilient supply chain management in the post-COVID-19 era. *The TQM Journal*, 34(7), 179-202. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2021-0374>
- Ding, Z., Chen, Z., Liu, J., Evrendilek, F., He, Y., & Xie, W. (2022). Co-combustion, life-cycle circularity, and artificial intelligence-based multi-objective optimization of two plastics and textile dyeing sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 426, 128069.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.128069>

- Fallahi, S., Mellquist, A., Mogren, O., Listo Zec, E., Algurén, P., & Hallquist, L. (2023). Financing solutions for circular business models: Exploring the role of business ecosystems and artificial intelligence. *Business Strategy and the Environment*, 32(6), 3233-3248. <https://doi.org/10.1002/bse.3297>
- Ferrara, E. (2024). Fairness and Bias in Artificial Intelligence: A Brief Survey of Sources, Impacts, and Mitigation Strategies. *Sci*, 6(1), 3. <https://doi.org/10.3390/sci6010003>
- Fraga-Lamas, P., Lopes, S. I., & Fernández-Caramés, T. M. (2021). Green IoT and Edge AI as Key Technological Enablers for a Sustainable Digital Transition towards a Smart Circular Economy: An Industry 5.0 Use Case. *Sensors*, 21(17), 5745. <https://doi.org/10.3390/s21175745>
- Han, Y., Shevchenko, T., Yannou, B., Ranjbari, M., Shams Esfandabadi, Z., Saidani, M., Bouillass, G., Bliumska-Danko, K., & Li, G. (2023). Exploring How Digital Technologies Enable a Circular Economy of Products. *Sustainability*, 15(3), 2067. <https://doi.org/10.3390/su15032067>
- Pradeep, R.K., & Amit, Palaniappan. (2025). Product as a service (PaaS) for traditional product companies: an automotive lease practice evaluation. *Journal of Indian Business Research*. 15 (1). 40–54. <https://doi.org/10.1108/JIBR-04-2022-0107>
- Jose, R., Panigrahi, S. K., Patil, R. A., Fernando, Y., & Ramakrishna, S. (2020). Artificial Intelligence-Driven Circular Economy as a Key Enabler for Sustainable Energy Management. *Materials Circular Economy*, 2(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s42824-020-00009-9>
- Kurniawan, T. A., Othman, M. H. D., Liang, X., Goh, H. H., Gikas, P., Kusworo, T. D., Anouzla, A., & Chew, K. W. (2023). Decarbonization in waste recycling industry using digitalization to promote net-zero emissions and its implications on sustainability. *Journal of Environmental Management*, 338. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117765>
- Langley, H. (25 de julio de 2023). Google tiene sed: el consumo de agua de la tecnológica se dispara y parece que la IA solo va a empeorar las cosas. *Business Insider*. <https://www.businessinsider.es/tecnologia/google-tiene-sed-parece-ia-solo-va-empeorar-cosas-1280416>
- Laskurain-Iturbe, I., Arana-Landín, G., Landeta-Manzano, B., & Uriarte-Gallastegi, N. (2021). Exploring the influence of industry 4.0 technologies on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128944. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128944>
- Liu, Z., Han, S., Yao, M., Gupta, S., & Laguir, I. (2023). Exploring drivers of eco-innovation in manufacturing firms' circular economy transition: An awareness, motivation, capability perspective. *Annals of Operations Research*, 1-36. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05473-5>
- Matheri, A. N., Mohamed, B., Ntuli, F., Nabadda, E., & Ngila, J. C. (2022). Sustainable

- circularity and intelligent data-driven operations and control of the wastewater treatment plant. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 126, 103152. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103152>
- Mboli, J., Thakker, D., & Mishra, J. (2023). Artificial Intelligence-Powered Decisions Support System for Circular Economy Business Models: Proceedings of the 25th International Conference on Enterprise Information Systems, 656-666. <https://doi.org/10.5220/0011997100003467>
- Narong, DK, y Hallinger, P. (2023). Análisis de coocurrencia de palabras clave en la investigación sobre aprendizaje-servicio: Enfoques conceptuales y tendencias de investigación emergentes. *Ciencias de la Educación* , 13 (4), 339. <https://doi.org/10.3390/educsci13040339>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical research ed.)*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Ramírez Chávez , M. A., & Litardo Caicedo , C. E. (2025). Agua e Inteligencia Artificial: El Lado Oculto del Progreso Tecnológico. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica* , 5(2), 47-65. <https://doi.org/10.61384/r.c.a.v5i2.1096>
- Satav, A.G., Kubade, S., Amrutkar, C., Arya, G., & Pawar, A. (2023). A state-of-the-art review on robotics in waste sorting: scope and challenges. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. 17, 2789-2806. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01320-w>
- Schögggl, J.-P., Rusch, M., Stumpf, L., & Baumgartner, R. J. (2023). Implementation of digital technologies for a circular economy and sustainability management in the manufacturing sector. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 401-420. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.11.012>
- Shaji, G., Hovan, g., & Gabrio, M. (2023). The Environmental Impact of AI: A Case Study of Water Consumption by Chat GPT. *Partners Universal International Innovation Journal (PUIJ)*. 1 (2). 93-104. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.7855594>
- Trivedi, A., & Hait, S. (2023). Metal bioleaching from printed circuit boards by bio-Fenton process: Optimization and prediction by response surface methodology and artificial intelligence models. *Journal of Environmental Management*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116797>
- Wamba, S. F., Fotso, M., Mosconi, E., & Chai, J. (2023). Assessing the potential of plastic waste management in the circular economy: A longitudinal case study in an emerging economy. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05386-3>
- Wilts, H., Garcia, B. R., Garlito, R. G., Gómez, L. S., & Prieto, E. G. (2021). Artificial intelligence in the sorting of municipal waste as an enabler of the circular economy.

Resources, 10(4). <https://doi.org/10.3390/resources10040028>

Wong, Y. A. (2025). A Study on the Effectiveness of Patagonia's Sustainability-Driven Brand Strategy. *Advances in Economics, Management and Political Sciences*, 180, 302-306. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/2025.23726>

Zota, R. D., Cîmpeanu, I. A., & Dragomir, D. D. (2023). Use and Design of Chatbots for the Circular Economy. *Sensors*, 23(11). <https://doi.org/10.3390/s23114990>

Conflicto de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.