

Potentials of Artificial Intelligence in the application of circular strategies within the framework of reverse logistics

Potencialidades de la Inteligencia Artificial en la aplicación de estrategias circulares en el marco de la logística inversa

Sheila Gómez Blamco¹✉, Ariday Rodríguez González¹, Rolando Herrero Latour¹

Institución 1, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (CUJAE), Facultad de Ingeniería Industrial. La Habana, Cuba.

✉ sheilagblml@email.com

Recebido: 04 novembro 2024 / Aceito: 03 fevereiro 2025 / Publicado: 01 março 2025

ABSTRACT

The circular economy maximizes resource efficiency in a continuous cycle of use and reuse, while reverse logistics manages the collection and recycling of used products by returning them to the value chain instead of throwing them away. Both complement each other by minimizing environmental impact, conserving resources and promoting a more sustainable economy. This work aims to analyze the potential offered by Artificial Intelligence as an innovative approach to Circular Economy strategies within the framework of Reverse Logistics. The method used was the Systematic Review of the Literature. The results obtained were based on the evaluation of key indicators such as the source of supply of materials, gas emissions, consumption and reuse of products, among others, demonstrating that the integration of smart technologies increases the use of recycled materials, reduces CO₂ emissions, improves inventory management, maximizes efficiency in the supply chain, minimizes product waste. The application of the work allows companies to identify business opportunities, reduce costs, develop more sustainable products and services and innovate in reverse logistics, allowing them to increase competitiveness, improve environmental impact and encourage environmental conservation.

Keywords: Circular Economy, Artificial Intelligence, Reverse Logistics, Sustainability

RESUMEN

La economía circular maximiza la eficiencia de recursos en ciclo continuo de uso y reutilización, mientras que la logística inversa gestiona la recolección y reciclaje de productos usados devolviéndolos a la cadena de valor en lugar de desecharlos. Ambas se complementan minimizando el impacto ambiental, conservando los recursos y promoviendo una economía más sostenible. Este trabajo tiene como objetivo analizar las potencialidades que ofrece la inteligencia artificial como enfoque innovador a las estrategias de Economía Circular en el marco de la Logística Inversa. El método empleado fue la Revisión Sistemática de la Literatura. Los resultados obtenidos se basaron en la evaluación de indicadores claves como la fuente de abastecimiento de materiales, las emisiones de gases, el consumo y reutilización de productos, entre otros, demostrando que la integración de tecnologías inteligentes aumenta el uso de materiales reciclados, reduce las emisiones de CO₂, mejora la gestión de inventarios, maximiza la eficiencia en la cadena de suministro, minimiza el desperdicio de productos. La aplicación del trabajo permite a empresas identificar oportunidades de negocio, reducir costos, desarrollar productos y servicios más sostenibles e innovar en la logística inversa, permitiendo aumentar la competitividad, mejorar el impacto ambiental e incentivar a la conservación del medio ambiente

Palabras clave: Economía Circular, Inteligencia Artificial, Logística inversa, Sostenibilidad



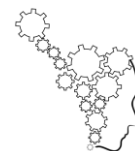
1 INTRODUCCIÓN

En un mundo donde los recursos naturales se consumen a un ritmo sin precedentes y la sostenibilidad se ha convertido en una necesidad imperante, la economía circular es un modelo económico que minimiza el impacto sobre el medio ambiente, alarga el ciclo de vida de los productos y reduce la generación de desechos. (Beatriz, 2021) La logística inversa gestiona el retorno de los productos a los fabricantes al final de su vida útil para reintegrarlos a la cadena de suministros. Este enfoque revolucionario, promete un futuro en el que el crecimiento económico y la salud ambiental coexisten en armonía ya que no solo reducen el desperdicio y la contaminación, sino que también fomentan una innovación que respeta los límites de nuestro planeta. (José & Pardo, 2014)

La empresa de ropa deportiva Patagonia, en Estados Unidos, ha sido pionera en la implementación de tecnologías sostenibles en su cadena de suministros. A través de su enfoque en el reciclaje de materiales, el programa Worn Wear promueve la reparación y reutilización de prendas, con el objetivo de minimizar el desperdicio textil, fomentando un consumo responsable en la industria de la moda, y el diseño de productos duraderos. La empresa ha logrado reducir su impacto ambiental y promover la economía circular y la logística inversa. (Gutiérrez, 2019), (Lucia da Silva, 2023). Al incorporar la IA en su cadena de suministro ha podido predecir la demanda con mayor precisión y optimizar la gestión de inventario, lo que reduce el exceso de producción y minimiza el desperdicio. Además, les ha permitido ofrecer recomendaciones personalizadas a los clientes, mejorando así su experiencia de compra y aumentando la lealtad de la marca, analizar datos ambientales, medir su impacto y tomar decisiones informadas sobre prácticas sostenibles para seguir mejorando su desempeño ambiental. (Reinoso, Alarcon, Carpio, & Gonzales, 2023)

La evolución de Patagonia desde la adopción de la economía circular, el desarrollo de un sistema de logística inversa hasta la integración de la IA demuestra cómo estas tres estrategias se complementan para generar un impacto positivo tanto en el negocio como en el medio ambiente.

A pesar de estos avances, la falta de conocimientos sobre las potencialidades de la IA en la economía circular y logística inversa limita su adopción en empresas. El objetivo del



presente artículo es analizar las potencialidades que ofrece la IA como enfoque innovador a las estrategias de economía circular en el marco de la logística inversa. A partir del análisis de varias empresas se explorará cómo han superado las barreras de integración y cómo sus experiencias pueden servir como modelo para otras organizaciones que buscan adoptar prácticas sostenibles y tecnológicas.

2 MÉTODO

El método empleado fue la Revisión Sistemática de la Literatura (autores), la cual es una herramienta de vital importancia para los roles que se desempeñan en la investigación ya que permite sintetizar la evidencia disponible sobre un tema específico y aportar organización y método científico en la búsqueda de soluciones (TABLA 1).

Las etapas para la realización de una revisión sistemática de la literatura fueron:

1- Definición de las preguntas de investigación.

Pl.1 ¿Cómo se define la Economía Circular, la Logística Inversa y la Inteligencia Artificial?

Pl.2 ¿Cuáles son las principales estrategias de economía circular abordadas en la literatura?

Pl.3 ¿Cuáles son las actividades de la logística inversa y de la economía circular?

Pl.4 ¿Cómo la Inteligencia Artificial potencia la Economía Circular y la Logística Inversa?

2- Colección de estudios.

En esta etapa se realizó una Búsqueda y Recuperación de Información en Internet donde se definieron como palabras clave:

- Economía Circular, Caso de estudio, Empresa, Estrategias, Inteligencia Artificial, Logística Inversa
- Una vez definidas las palabras claves, estas se mezclaron con operadores booleanos dando lugar a frases de búsqueda:
- “Economía Circular” AND “Logística Inversa” AND “Inteligencia Artificial”
- “Caso de Estudio” AND “Economía Circular” AND “Logística Inversa” AND “Inteligencia Artificial”

3- Selección de estudios.



Criterios de exclusión:

- Estudios publicados antes del 2018.
- Artículos que presenten información duplicada o que sean versiones revisadas de otros estudios ya incluidos en la revisión.
- Investigaciones para las cuales no se pueda recuperar el archivo PDF completo o que estén bajo restricciones de acceso que impidan su revisión.
- Investigaciones cuyo enfoque principal no esté relacionado con la línea de investigación trazada
- Investigaciones que carezcan de datos o evidencias que respalden sus conclusiones
- Criterios de inclusión:
- Estudios cuyos títulos y palabras claves estén relacionadas con las preguntas de investigación.
- Estudios cuyos objetivos se encuentren relacionados con los temas abordados en las preguntas de investigación.
- Estudios publicados a partir del año 2018, garantizando la relevancia y actualidad de la información.
- Artículos disponibles en formato PDF o en acceso abierto
- Una vez aplicados los criterios de exclusión y de inclusión, se definieron y aplicaron los criterios de calidad al conjunto documental, para conformar el grupo definitivo de estudios a analizar.

Criterio de Calidad:

El estudio debe relacionarse, contribuir y ayudar a responder las preguntas de investigación, y las conclusiones deben estar enfocadas a responder el objetivo de la investigación.

4- Extracción, clasificación y resultados preliminares.

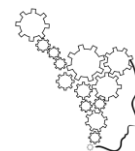


TABLA 1 – RESUMEN DE LA MUESTRA BIBLIOGRÁFICA

Total de bibliografía analizadas	124
Empleadas en la investigación	28
Excluido por antigüedad	20
Excluido por la falta de relación con la investigación	56
Archivos duplicados	20

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

3 RESULTADOS

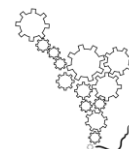
ECONOMÍA CIRCULAR

La Economía Circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad y cuyo objetivo es que el valor de los productos, materiales y recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, -no lineal-, basada en el principio de “cerrar el ciclo de vida” de los productos, como se muestra en la FIGURA 1. De forma que la economía circular es la intersección de los aspectos ambientales y económicos (Felipe Velandia Sarmiento, 2022)

FIGURA 1. ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR



FUENTE: (Aldrey, 2021)



Como los problemas derivados del modelo de consumo actual nos conciernen y afectan a todos, la ONU crea en el 2015 los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) reflejados en FIGURA 2, en la cual se establecen las principales metas para lograr un desarrollo sostenible y constituyen la principal hoja de ruta común para guiar las políticas de los países por el camino de las políticas sostenibles. (Pérez, 2021)

FIGURA 2 - ODS VINCULADOS A LA ECONOMÍA CIRCULAR



FUENTE: (Pérez, 2021)

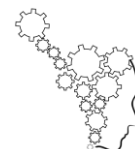
Actualmente se tiene como referente a la Fundación Ellen MacArthur que desde su creación en el 2010 ha sido un factor determinante en el avance de la economía circular como modelo de crecimiento para todo tipo de organizaciones (gubernamentales, académicas y empresariales) (Felipe Velandia Sarmiento, 2022) promoviendo programas e investigaciones que desarrollen la economía circular regidos por tres principios (Abondano et al., 2022):

- Preservar y mejorar el capital natural controlando reservas finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables
- Optimizar los rendimientos de los recursos distribuyendo productos, componentes y materias con su utilidad máxima en todo momento tanto en ciclos técnicos como biológicos
- Promover la eficacia de los sistemas, detectando y eliminando del diseño los factores externos negativos

LOGÍSTICA INVERSA

La logística inversa (FIGURA 3), abarca el conjunto de actividades logísticas de recogida, desmontaje y desmembramiento de productos ya usados o sus componentes, así como de materiales de distinto tipo y naturaleza con el objeto de maximizar el aprovechamiento de su valor, en sentido amplio de su uso sostenible y, en último caso de su destrucción. (Felipe Velandia Sarmiento, 2022)

FIGURA 3. ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA LOGÍSTICA INVERSA



LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La IA, es un sistema de autoaprendizaje con capacidad de replicar habilidades humanas, siendo usado generalmente para tareas que requieren movimientos repetitivos, reemplazando la labor humana por máquinas que operan solas. También permite, a partir de un gran volumen de información de fuentes diversas distinguir patrones y gatillar determinadas acciones en función de estos resultados. Esta tecnología está revolucionando el modo en que gestionamos y utilizamos los recursos materiales, proponiendo soluciones innovadoras para optimizar el uso, la reutilización y el reciclaje de los mismos, con el objetivo de avanzar hacia una economía más circular y sostenible. (BANCHIO, 2022)

Aplicaciones de la IA en la economía circular:

- Mediante el uso de tecnologías como la visión por computadora y los sensores inteligentes, identifica y clasifica automáticamente materiales reciclables en plantas de reciclaje, facilitando así procesos más ágiles y eficientes. (Aragón, 2024)
- En el ámbito del diseño de productos sostenibles, la IA es capaz de proponer alternativas de materiales y optimizar el diseño de productos para reducir el uso de recursos y energía. Esto promueve la creación de productos más ecoeficientes y sostenibles. (Aragón, 2024)



- Los sistemas de IA también optimizan las rutas de recogida de residuos y la separación de los mismos, lo que reduce las emisiones de CO₂ y los costos operativos, mejorando así la eficiencia del reciclaje. (Aragón, 2024)
- En cuanto al monitoreo ambiental, la capacidad de la IA para analizar grandes volúmenes de datos permite detectar en tiempo real tendencias, anomalías y oportunidades de mejora. Esto se traduce en la capacidad de enviar alertas en casos de contaminación y proponer medidas correctivas. Este monitoreo constante y en tiempo real es crucial para mantener y mejorar la calidad del aire y del agua. (Aragón, 2024)
- Permite crear cadenas de suministro que minimizan el desperdicio mediante la reutilización y el reciclaje de materiales. Además, propone modelos de negocio sostenibles basados en la reutilización y el intercambio. (Aragón, 2024)
- Al automatizar procesos, la IA libera recursos humanos para tareas más estratégicas. Esto no solo mejora la productividad, sino que también contribuye a un aumento en las ganancias corporativas.
- En el ámbito agrícola exactamente en la etapa final de vida útil de los productos, estos tienden a ser menos homogéneos en comparación con su estado original, lo que dificulta su desmontaje, clasificación y separación de forma automática. Sin embargo, la tecnología basada en redes neuronales tiene el potencial de agregar valor al aprovechamiento de los desechos en este contexto. Las aplicaciones específicas de la IA en este campo incluyen (BANCHIO, 2022):

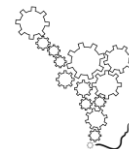
1. Reconocimiento de imágenes para determinar el momento óptimo de cosecha de frutas. Esto permite una gestión más eficiente de la oferta y la demanda de alimentos, así como el aumento del valor de los subproductos alimentarios.

2. Selección y diseño de materiales especiales para la electrónica de consumo. Esto extiende la vida útil de los dispositivos mediante el mantenimiento predictivo y permite la automatización y mejora de la infraestructura de procesamiento de desechos electrónicos a través de la combinación de reconocimiento de imágenes y robótica.

Aplicaciones de la IA en la logística inversa:



- La IA permite a las empresas evaluar de manera exhaustiva cada operación de retorno considerando múltiples variables, como el costo del envío, la volumetría del paquete, el precio del producto, y la probabilidad de reventa. Esta evaluación detallada ayuda a determinar si es más beneficioso que el cliente retenga el producto o si se debe proceder con la devolución. Así, se minimizan las pérdidas y se optimizan los recursos. (Rueda-Martínez, 2021)
- La Optimización del Proceso de Reciclaje permite la clasificación automatizada de los productos de acuerdo a su material y estado, facilitando la selección de las opciones más eficaces para el reciclaje o la reutilización. Esto contribuye a la reducción del impacto ambiental al minimizar el volumen de residuos que terminan en vertederos. (MAYORGA, 2022)
- El aprendizaje profundo para la optimización de la logística inversa mediante la utilización de redes neuronales convolucionales y las redes neuronales de memoria a corto y largo plazo, permite así analizar los datos de las devoluciones y predecir el comportamiento futuro de los clientes, facilitando la planificación estratégica de la logística inversa. (MAYORGA, 2022)
- Mientras que blockchain proporciona un registro seguro y transparente, la IA puede utilizar algoritmos de detección de anomalías para identificar comportamientos sospechosos en las transacciones. Esto ayuda a las empresas a detectar fraudes en la logística inversa, como devoluciones fraudulentas, lo que mejora la integridad del sistema y reduce pérdidas económicas. (Eliana P. Barleta, 2019)
- La IA predice la demanda futura y optimiza los niveles de inventario en función de los datos históricos y en tiempo real almacenados en blockchain. Esto no solo ayuda a reducir el exceso de inventario, sino que también permite a las empresas gestionar mejor los productos devueltos, asegurando que se reintegren eficientemente en el ciclo de producción o distribución. (Eliana P. Barleta, 2019)
- Integrando IA con plataformas colaborativas, las empresas pueden implementar un enfoque descentralizado para la toma de decisiones en logística inversa. Esto permite a diferentes partes interesadas (como proveedores, distribuidores y



clientes) contribuir con datos y perspectivas valiosas, mejorando así la eficiencia general. (ESIC, 2024)

- La aplicación de optimización metaheurística, como algoritmos genéticos, permite mejorar la eficiencia energética en el transporte de productos devueltos. Esto es especialmente relevante para camiones diésel y eléctricos, contribuyendo directamente a la sostenibilidad en la cadena de suministro. (ESIC, 2024)

CASOS DE ESTUDIO

SAICA (Iglesia González & Oricain, 2020; Saica, 2021)

El Grupo Saica es una de las empresas líderes en Europa en la fabricación de papel reciclado para cartón ondulado, con una producción anual de 3,3 millones de toneladas de papel reciclado. Con más de 10000 empleados y presencia en 10 países del mundo, ayuda a sus clientes a otorgar valor a sus desechos y a lograr el objetivo de enviar Cero Residuos a Vertedero buscándoles una segunda vida, utilizándolos como materia prima o valorizándolos energéticamente.

Para la consecución de su visión a largo plazo, Saica estableció unos compromisos “Saica 2020” y “Saica 2025” que marcan las metas y objetivos para las actividades del negocio siguiendo los principios de la economía circular y la logística inversa y apostando por la eficiencia energética, el uso de energía renovable, el reciclado y la sostenibilidad.

A finales del 2021, con la implementación de estrategias circulares y logística inversa Saica obtuvo los siguientes logros:

- 36,8 millones de GJ de energía consumidos
- 3,598 millones de euros de ventas consolidadas (crecimiento del 19,3 % respecto a 2019)
- 3.246 millones de m² de cartón ondulado
- 952 millones de m² de embalaje flexible
- 1,04 millones de toneladas de residuos valorizados
- 3,7 millones de toneladas de papel reciclado (6 % más que en 2020)
- -7 % emisiones de Gases de Efecto0



Saica se enfoca en encontrar herramientas que, mediante el uso de la IA, la visión artificial y el big data, permitan hacer más eficientes sus procesos, por ello ha desarrollado varios proyectos:

- Portal de Proveedores: Permite llevar a cabo el proceso de homologación de proveedores a partir de algoritmos de IA analizan automáticamente contratos. Propicia la ampliación de elementos disponibles a valorar del proveedor agrupado en una misma herramienta (contratos, evaluaciones, incidencias, certificaciones, entre otros).
- Construcción del Centro de I+D+i con espacios específicos para caracterización mecánica avanzada de materiales, descarbonización, caracterización de pasta de papel y materias primas, entre otros, incluyendo desarrollos en IA para optimizar la selección de papeles que componen las cajas de cartón ondulado que fabrican
- Proyecto Digital Fiber: tiene el objetivo de identificar a partir de la IA variaciones en gramaje o humedad durante el proceso productivo, Se centra en mejorar el rendimiento de la principal materia prima del grupo, el papel para reciclar, y en reducir el consumo de almidón y las mermas por variaciones de gramaje o humedad.

Beneficios obtenidos en la empresa Saica con la aplicación de la IA en la economía circular y logística inversa:

La implementación de la IA en Saica ha transformado significativamente su enfoque hacia la economía circular y la logística inversa. Los algoritmos de aprendizaje automático optimizan en tiempo real la separación y clasificación de residuos, mejorando la eficiencia del reciclaje y maximizando el uso energético al reducir inactividad. Modelos predictivos permiten anticipar la demanda de cartón y embalajes, ajustando la producción para minimizar residuos, alineándose con el objetivo de Cero Residuos a Vertedero. Además, el análisis geoespacial optimiza rutas de recolección, reduciendo costos y emisiones. La IA también facilita la valorización energética de residuos no reciclables, diversificando ingresos y apoyando la sostenibilidad, mientras que la segmentación avanzada del mercado permite diseñar productos más sostenibles.



NESTLÉ (Iglesia González & Oricain, 2020; Nestle, 2023; Pérez, 2021; Rendón-Trejo, Morales-Rendón, & Guillén-Mondragón, 2021)

El grupo Nestlé es una multinacional dedicada a la producción de alimentos y bebidas con 323 mil empleados en todo el mundo y 413 fábricas. Nestlé es la empresa alimentaria más grande del mundo y cuenta con diversos proyectos medioambientales, todos ellos enfocados a tener una cadena de suministro más eficiente y aumentar su circularidad, la mayor parte de ellos resumidos en su “Plan Estratégico De Nestlé Hacia Cero Emisiones Netas al 2050”.

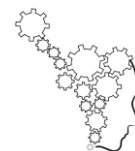
Se identificó que Nestlé emitió 92 millones de toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero en 2018, por ello, aplicando la logística inversa y siguiendo estrategias circulares que actúen sobre toda su cadena de valor se trazó metas a corto, mediano y largo plazo con el fin llegar a cero emisiones netas para 2050.

Con la introducción de estrategias circulares y la logística inversa al cierre del 2020 Nestlé obtuvo los siguientes logros:

- Se redujo los residuos a vertedero al 100 %
- Se disminuyó el uso de agua en un 64 %
- Se redujo los gases de efecto invernadero en un 35 %
- Durante el año 2020 Saica Natur recuperó los residuos de plástico generados en ocho de las 10 fábricas de Nestlé en España, tras un exhaustivo proceso de selección, lavado y procesado, es transformado en granza reciclada y posteriormente reintroducido en un 50 % en el envasado secundario que utiliza Nestlé en algunas de sus marcas más célebres
- La utilización de granza reciclada en lugar de virgen permite reducir en un 73 % la huella de carbono de la materia prima, mientras que el consumo de agua para su fabricación se reduce en un 78 %

Algunos ejemplos de la integración de la IA por parte de la empresa:

- Nestlé Wellness Ambassador: Programa de IA de reconocimiento de imágenes que analiza las fotos del menú que envía cada usuario a través de la aplicación de comunicación Line. Detecta qué carencias nutricionales puede tener para hacerle recomendaciones nutricionales y ofrecerle recetas y suplementos



alimenticios para recomendar los productos más adecuados para cada consumidor.

- Los cobots (robot colaborativo), el blockchain que es una tecnología de registro descentralizados que permite almacenar datos de manera segura implementada desde 2017 junto con IBM Food Trust que es una plataforma que mejora la eficiencia en la cadena de suministros de alimentos se utilizan para el paletizado de cajas de té, productos con sabores exóticos y efectos antioxidantes cuya demanda ha crecido para la identificación y eliminación de alimentos retirados. La IA se aplica para la optimización de la logística, planificación de rutas eficientes, detección de errores en el proceso de paletizado y análisis de datos
- Nestlé no solo ha aprovechado la robótica y los sensores para optimizar la producción, sino que también utiliza las tecnologías digitales de ADN y la genómica de datos masivos donde la IA coopera en la interpretación de datos genómicos, identificación de patrones en la modificación de materias primas y optimización de procesos de desarrollo de productos basados en información genética para modificar materias primas, como el cacao y el café

Beneficios obtenidos en la empresa Nestlé al incorporar la IA en la economía circular y logística inversa:

La IA potencia la economía circular y la logística inversa en Nestlé mediante diversas estrategias innovadoras. La integración de blockchain permite rastrear el ciclo de vida de los productos, facilitando la identificación rápida durante retiros y optimizando procesos logísticos para reducir emisiones. El uso de cobots en el paletizado minimiza errores humanos y asegura que los envases sean reciclables, mientras que el análisis predictivo ajusta la producción a la demanda, disminuyendo residuos. La colaboración con Saica Natur mejora la calidad del material reciclado, y el seguimiento eficiente del uso de recursos como agua y energía reduce costos operativos. Además, la aplicación de tecnologías digitales en materias primas fomenta una cadena de suministro más sostenible y circular.

NIKE (Díaz del Río & Díaz Carrillo, 2024; Fernández, 2023; Nava & Daniel Naspleda, 2020; Nike, 2019; Pérez, 2021; Rodríguez Gutiérrez, Fernández, & Hoyo, 2020; Sánchez, 2023)

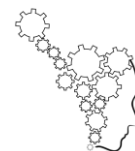


Nike es líder a nivel mundial del sector de ropa y calzado deportivo tanto en volumen de ventas como en valor de marca, cuenta con 270 000 trabajadores de 45 fábricas contratadas en 11 países. Se destaca por su enfoque en la innovación y la sostenibilidad implementando programas de logística inversa como “Nike Grind” el cual tiene como objetivo reciclar zapatos usados para crear superficies deportivas y otros productos.

Nike promueve el desarrollo de estrategias circulares como el diseño de productos que puedan ser reutilizados, reciclados o compostados al final de su vida útil, así como fomenta la reducción del uso de materiales vírgenes para reducir el impacto ambiental.

- Con el empleo de estrategias circulares y la logística inversa al cierre de 2019 se obtuvieron los siguientes resultados:
- 7 500 millones botellas de plástico recicladas transformadas en ropa y calzado desde 2010
- 53 500 millones de litros de agua ahorrados
- 200 000 kg menos de pesticidas al cambiar a algodón sostenible
- El 76 % de productos comercializados por la marca llevan algún material reciclado
- El 75 % de la carga global de electricidad proviene de fuentes renovables
- El 99,9 % de los residuos de fabricación de calzado se ha reciclado o convertido a energía
- 23 millones de pares de zapatos Flyknit fabricados a partir de contenido de plástico reciclado equivalente a más de 31 millones de botellas de plástico.
- El 50 % de residuos de fabricación reciclados son incluidos en la tecnología Air-Sole de Nike, que consiste en una cámara de aire encapsulada en la entresuela del zapato para absorber y distribuir el impacto generado al caminar
- 7,33 kg de CO₂ eq/unidad es el promedio de la huella de carbono de los productos de NIKE.

Nike comenzó a aplicar la IA a través de diversos proyectos:



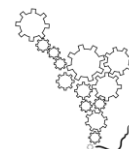
- Nike contrató a Grabbit Inc, una empresa que mediante el aprendizaje automático permite a través de la IA un mejor manejo de materiales con la ayuda de electro adhesión, aumentando la productividad
- La aplicación Nike Fit recomienda el zapato perfecto para cada persona utilizando tecnología de realidad aumentada para escanear los pies de los clientes y capturar datos de medición, morfología y anatomía y la IA para personaliza la experiencia de compra y asegura un ajuste óptimo.
- Nike lanzó en 2018 un proyecto llamado Nike Maker Experience basado en IA que facilita la selección de colores, materiales y diseños, guiando al usuario en la creación de un producto único y personalizado.
- Nike By You, una plataforma de personalización basada en IA la cual permite al cliente personalizar completamente los productos, recibir tus zapatos en 2 a 5 semanas y compartir tu creación con el mundo.
- En 2019 Nike anuncia la compra de Celect, una empresa emergente de IA dedicada a la predicción del comportamiento del consumidor

Beneficios obtenidos en la empresa Nike al emplear la IA en la economía circular y la logística inversa:

La IA ofrece múltiples beneficios a la economía circular y la logística inversa, como se evidencia en los proyectos de Nike con Grabbit Inc. y Celect. La implementación de electroadhesión mediante aprendizaje automático permite una gestión más eficiente de materiales, aumentando la productividad y minimizando el desperdicio. Además, la IA mejora la precisión en la predicción de la demanda, reduciendo errores de producción y exceso de inventario, lo que optimiza costos operativos. Herramientas como Nike Fit y Nike Maker Experience personalizan recomendaciones, disminuyendo las devoluciones y su impacto ambiental. Asimismo, la optimización de rutas para la logística inversa reduce emisiones de carbono, alineando las operaciones con principios sostenibles.

4 DISCUSIÓN

En el presente artículo se investigó acerca de las potencialidades que ofrece la IA como enfoque innovador a las estrategias de economía circular en el marco de la logística inversa. En



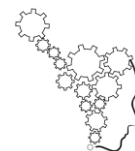
toda la literatura consultada se muestra que el modelo circular junto a la logística inversa no solo es viable, sino esencial para garantizar la sostenibilidad a largo plazo ofreciendo ventajas significativas en términos ambientales, sociales y económicos.

A partir del CUADRO 1, podemos observar que la logística inversa y la economía circular son conceptos interrelacionados en el ámbito de la sostenibilidad, pero presentan diferencias significativas en sus enfoques y actividades.

CUADRO 1 – COMPARACIÓN ENTRE LAS ACTIVIDADES DE LA LOGÍSTICA INVERSA Y LA ECONOMÍA CIRCULAR

ACTIVIDADES	ECONOMÍA CIRCULAR	LOGÍSTICA INVERSA
FUENTE	(Abondano et al., 2022)	(Marisa Chávez-Gallegos, Francisco Ortiz-Paniagua, & Bonales-Valencia, 2024)
Reutilización	Reintroducir un producto para el mismo propósito inicial, con mínimo mantenimiento y limpieza.	Consiste en darle una segunda vida a los productos antes de desecharlos
Canibalización y Refabricación	Se toman las partes funcionales de un producto que ha fallado para fabricar un producto nuevo de alta calidad y con posibles mejoras y cambios en sus componentes	Desmontaje selectivo de productos usados y la inspección de piezas potencialmente reutilizables con el objetivo de devolverle al producto usado su rendimiento original equivalente al de un producto nuevo
Restauración	Retornar un producto en buenas condiciones reemplazando principales componentes que pueden fallar y realizando cambios para mejorar la apariencia	Devolver el valor al producto aplicando nuevas tecnologías que permitan ampliar su vida útil
Reciclado	Recuperación de materiales para el propósito original o para otros propósitos, estos materiales se reintegran al proceso de producción como materias primas	Reutilización de materiales de productos y componentes usados
Reparación	El producto usado se somete a una reparación para ponerlo de nuevo en funcionamiento	El producto usado se somete a una reparación para ponerlo de nuevo en funcionamiento

FUENTE: Elaboración propia

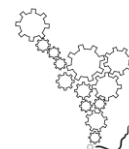


Mientras que la logística inversa se enfoca en el retorno de productos y su gestión posconsumo, la economía circular abarca todo el ciclo de vida del producto, desde su diseño hasta su disposición final.

La logística inversa busca optimizar el retorno y la reutilización de productos, centrándose en operaciones específicas relacionadas con la recuperación de estos, mientras que, la economía circular tiene como objetivo general la sostenibilidad y la reducción del uso de recursos a través de un modelo regenerativo. Aunque ambas incluyen actividades como la refabricación y el reciclaje, la economía circular adopta un enfoque más amplio sobre la reducción del desperdicio y la maximización del uso de recursos.

Se realizó el análisis de la implementación de la IA en empresas como Saica, Nike y Nestlé, evaluando cómo estas tecnologías pueden contribuir a prácticas circulares y a la logística inversa. Los resultados indican que, aunque estas empresas han adoptado la IA en diversas áreas operativas, su aplicación no ha estado orientada mayormente hacia prácticas circulares y de logística inversa. Sin embargo, se evidencian beneficios significativos al integrar estas prácticas circulares y de logística inversa en sus modelos de negocio. En primer lugar, el uso de IA en estas empresas ha demostrado ser efectivo para optimizar procesos internos, mejorar la eficiencia y reducir costos operativos. Por ejemplo, Saica se ha destacado como líder en embalaje sostenible basada en la innovación, sostenibilidad y reducción de residuos. Su enfoque en la logística inversa ha permitido una notable reducción de la huella de carbono y ha llevado a varias de sus empresas a alcanzar el objetivo de "cero residuos al vertedero". Por otro lado, Nike ha implementado sistemas de análisis predictivo que permiten anticipar demandas y ajustar la producción en consecuencia. De este modo, Nike reorienta los flujos de residuos como elementos de valor, y reduce el impacto ambiental utilizando materiales renovables. Las empresas mencionadas (no son las únicas obviamente) son un ejemplo de que al producir bajo modelos de responsabilidad social y ambiental se logra maximizar beneficios económicos, impactar positivamente en la esfera social y apoyar en la disminución de la emisión de residuos.

Es importante señalar que este estudio tiene limitaciones. La investigación se basó en un análisis cualitativo de casos específicos y no proporciona datos cuantitativos sobre el impacto directo de la IA en la logística inversa y económica circular. Además, el contexto temporal y geográfico puede influir en la aplicabilidad de los resultados a otras industrias o



regiones. Por lo tanto, se recomienda realizar estudios adicionales que utilicen enfoques cuantitativos para evaluar el impacto a largo plazo de la IA en las prácticas circulares

CONCLUSIONES

La Economía Circular es un modelo económico no lineal que permite que los productos, materiales y recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, reduciendo al mínimo la generación de residuos

La logística inversa es la etapa de la cadena de suministro en la cual se utiliza sistemas de recogida selectiva y tratamientos de alta calidad para recoger, reutilizar, reelaborar y reciclar los residuos que se espera que no salgan del círculo de la economía

Tanto la economía circular como la logística inversa aplican las actividades de reutilización, restauración, reciclado, reparación, canibalización y refabricación

La IA, es un sistema de autoaprendizaje con capacidad de replicar habilidades humanas, siendo usado generalmente para tareas que requieren movimientos repetitivos, reemplazando la labor humana por máquinas que operan solas.

La economía circular y la logística inversa potenciadas por la IA permite la automatización de procesos y la toma de decisiones basada en datos, ofrece nuevas oportunidades para optimizar los ciclos de vida de los productos y reducir el impacto ambiental

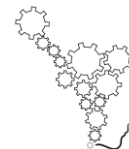
A partir de los casos de estudio se corroboró que un modelo de desempeño social y económico basado en los principios de la economía circular en el marco de la logística inversa con apoyo de la IA, representa, sin lugar a dudas, el mejor camino para corregir parte de los errores y agresiones cometidos

REFERENCIAS

- ABONDANO, J. M. R., et.al. (2022). **Una forma diferente de hacer negocios sostenibles**. Aldrey, L. P. (2021). **Economía Circular: Fundamentos teóricos y un análisis del informe ARDÁN**. Universidad de Santiago de Compostela.
- ARAGÓN, J. A. S. (2024). **Modelo inteligente de economía circular para el turismo de naturaleza: desarrollo de un modelo de arquitectura de software para la ecoeficiencia en el cierre del ciclo de materiales a través de tecnologías de**



- inteligencia artificial, Big data e inteligencia de negocios.** Maestría en Gestión de Tecnología de Información - Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Retrieved from: < Maestría en Gestión de Tecnología de Información>
- BANCHIO, P. R. (2022). **LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO AGREGADO DE VALOR EN LA ECONOMÍA CIRCULAR**
- BEATRIZ, P. F. M. (2021). **La Economía Circular como Factor del Desarrollo Local Sostenible en el Recinto San Carlos Del Cantón Jipijapa.** Tesis - Carrera de Gestión Empresarial - Universidad Estatal del Sur de Manabí “UNESUM”, Manabí - Ecuador. Retrieved from: < <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3456>>
- DÍAZ DEL RÍO, J.; DÍAZ CARRILLO, M. J. (2024). **LA REVOLUCIÓN DE LA IA EN EL MUNDO DEL MARKETING.** Independently published.
- ELIANA P. B. C.; GABRIEL P. J. SÁNCHEZ. (2019). **La revolución industrial 4.0 y el advenimiento de una logística 4.0.** CEPAL. Retrieved from: < <https://hdl.handle.net/11362/45454>>
- ESIC, I. d. i. d. (2024). **La Revolución de la IA en la Logística- Innovaciones y Tendencias**
- FELIPE V. S., D. (2022). **Metodología para la aplicación de economía circular y logística inversa en el algodón para la industria textil en Bogotá.** Tesis de Grado - Fundación Universidad de América, Bogotá D.C. Retrieved from: < <https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/d68e1315-bd3b-49c9-9bd5-076c83311b74/content>>
- FERNÁNDEZ, J. A. M. (2023). **Estrategias sem y seo para la optimización de exposición de una marca en la búsqueda mediante la utilización de inteligencia artificial.** Tesis de Grado - Universidad del Azuay. Retrieved from: < <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13182>>
- GUTIÉRREZ, G. J. (2019). **Un modelo de economía circular en el sector textil - Estudio y comparativa de las políticas utilizadas por Inditex y Patagonia.** Tesis de Grado - Universidade Pontificia Comillas. Retrieved from: < <http://hdl.handle.net/11531/32709>>
- IGLESIA G. G.; ORICAIN, N. D. (2020). **De la economía lineal a la circular: la logística inversa y la sostenibilidad de la cadena de suministro como elementos fundamentales del cambio.** Tesis de Grado - Universidad de Zaragoza. Retrieved from: < <https://zaguan.unizar.es/record/90097/files/TAZ-TFG-2020-273.pdf>>
- JOSÉ, J.; PARDO, M. (2014). **Modelo de logística inversa para la recuperación y aprovechamiento de residuos plásticos abs en Cali.** Tesis de Maestría - Universidad autónoma de occidente, Santiago de Cali. Retrieved from: < <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/c6d6487f-9d5d-4e39-a5e3-e2f24293b486/content>>
- LUCIA DA S. E. (2023). **A influência da logística reversa para a gestão na sustentabilidade.** Tesis de Grado - UNINTER. Retrieved from: < <https://repositorio.uninter.com/handle/1/1532>>
- MARISA C. G. G.; FRANCISCO O. P. C.; BONALES-VALENCIA, J. (2024). **Desafíos de la logística inversa y la economía circular en México a escala sectorial**
- MAYORGA, S. R. (2022). **El impacto de la inteligencia artificial en la sostenibilidad de la cadena de suministro: una revisión de literatura.** Universidad El Bosque, Bogotá. Retrieved from: < <https://hdl.handle.net/20.500.12495/11381>>



- NAVA, A.; DANIEL N. F. (2020). **Inteligencia artificial, automatización, reestructuración capitalista y el futuro del trabajo: un estado de la cuestión**. ITSI Echeri, V. 2 N. 4. Retrieved from: < <https://doi.org/10.33110/itsiecheri.v2i4.26>>
- NESTLE. (2023). **Accelerate, Transform, Regenerate: Nestlé's Net Zero Roadmap**. Retrieved from: < <https://www.nestle.com/sites/default/files/2023-12/nestle-net-zero-roadmap-en.pdf>>
- NIKE. (2019). **Informe de Impacto de Nike**. Retrieved from: < <https://about.nike.com/en/impact>>
- PÉREZ, M. A. (2021). **La Economía Circular en la Cadena de Suministro**. Tesis de Grado - Universidad Zaragoza - EINA. Retrieved from: < <https://zguan.unizar.es/record/112313>>
- REINOSO, A.; et.al. 2023. **La innovación tecnológica En La transformación Hacia Modelos De Negocios Socio Productivos Y Sostenibles**. Journal of Science and Research 8 (CIID-EQ-2023):46-64. Retrieved from: <<https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2981>>.
- RENDÓN T.; A.; MORALES R.Y.; GUILLÉN M.; I. J. (2022). **Digitalización y competitividad. La industria de alimentos procesados en la pandemia**. Repositorio De La Red Internacional De Investigadores En Competitividad, 15(15). Retrieved from: <<https://www.riico.net/index.php/riico/article/view/1995>>
- RODRÍGUEZ G. C.; FERNÁNDEZ, A. P.; HOYO, D. (2020). **La Inteligencia Artificial en el retail. Optimización y mejora de Experiencia de cliente**. Tesis de Grado - Universidade Pontificia Comillas. Retrieved from: < <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/42887>>
- RUEDA-MARTÍNEZ, J. S. (2021). **Identificación de los beneficios de la inteligencia artificial en una empresa logística**. Tesis de Grado - Tecnológico de Antioquia. Retrieved from: < <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/3012>>
- SAICA, G. (2021). **Memoria de Sostenibilidad 2021**. Retrieved from: < https://www.saica.com/filemanager/userfiles/memorias/Saica_Memoria_Sostenibilid_d_2021_en_FINAL.pdf>
- SÁNCHEZ, D. C. P. (2023). **La inteligencia artificial una oportunidad para la gerencia organizacional en el sector textil de Bogotá**. Facultad de Estudios a Distancia, Universidad Militar Nueva Granada. Retrieved from: < <https://repository.unimilitar.edu.co/server/api/core/bitstreams/215e759e-37c7-45b9-98d6-9edf73aad125/content>>
- ZHANG, A. (2019). **Logística inversa en la industria china del automóvil. Master en Ingeniería Ambiental** - Universidad de Sevilla. Retrieved from: < <https://hdl.handle.net/11441/94680>>