



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## REVISIÓN SISTEMÁTICA

# Convergencia sostenible: inteligencia artificial y economía circular

## Sustainable convergence: artificial intelligence and circular economy

**Roberto Quispe<sup>1\*</sup>; Kathia Reyes<sup>2</sup>; Jimmy Cáceda<sup>2</sup>; Jeyson Vásquez<sup>2</sup>; Daniel Rodríguez<sup>2</sup>; Juan Chavez<sup>2</sup>**

1 Escuela de post grado, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

2 Facultad de Ciencias Económicas, Departamento de Administración, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

\*Autor correspondiente: [rquispe@unitru.edu.pe](mailto:rquispe@unitru.edu.pe) (R. Quispe).

Fecha de recepción: 14 03 2024. Fecha de aceptación: 11 12 2024

### RESUMEN

El artículo aborda la convergencia entre la inteligencia artificial (IA) y la economía circular (EC). La EC se plantea como un modelo sostenible que busca reducir, reutilizar y reciclar recursos, mientras que la IA se presenta como una herramienta clave para potenciar este modelo. Se hizo una revisión sistemática con un enfoque cualitativo aplicando el método PRISMA, empezando con la búsqueda de artículos científicos en bases de datos como Scopus, Springer, Base, Latindex, Zenty, Dialnet y Scielo, seleccionando 67 artículos científicos analizados a través de una matriz de registro. Los resultados revelan que la IA desempeña un papel crucial en varios aspectos de la EC. En la cadena de suministro, facilita la eficiencia y adaptabilidad; en el diseño y desarrollo de productos, optimiza procesos y colabora en la transición a modelos circulares; en la toma de decisiones, proporciona soluciones precisas y respaldadas por datos; en la gestión de residuos y logística inversa, contribuye a cerrar el ciclo de vida de productos de manera rentable y sostenible. En conclusión, la integración estratégica de la IA en la EC emerge como una poderosa sinergia para abordar desafíos ambientales y promover prácticas más sostenibles.

**Palabras clave:** Inteligencia artificial; Economía circular; Sostenibilidad; Recursos.

### ABSTRACT

The article addresses the convergence between artificial intelligence (AI) and the circular economy (CE). CE is presented as a sustainable model that seeks to reduce, reuse and recycle resources, while AI is introduced as a key tool to enhance this model. A systematic review was carried out with a qualitative approach applying the PRISMA method, beginning with the search for scientific articles in databases such as Scopus, Springer, Base, Latindex, Zenty, Dialnet and Scielo, selecting 67 scientific articles analyzed through a matrix . register. The results reveal that AI plays a crucial role in various aspects of CE. In the supply chain, facilitate efficiency and adaptability; in product design and development, optimizes processes and collaborates in the transition to circular models; in decision making, provides accurate, data-backed solutions; in waste management and reverse logistics, contributes to closing the product life cycle in a profitable and sustainable way. In conclusion, the strategic integration of AI in CE emerges as a powerful synergy to address environmental challenges and promote more sustainable practices.

**Keywords:** Artificial intelligence; Circular economy; Sustainability; Resources.

### INTRODUCCIÓN

La economía circular se enfoca en el diseño y la gestión de productos y procesos que reducen al mínimo la generación de residuos y maximizar la reutilización, la reparación y el

reciclaje de materiales. Por otro lado, la IA alude a la capacidad de las computadoras para imitar la inteligencia humana, aprender de manera empírica y realizar tareas de forma autónoma. La convergencia de estos

dos campos promete abordar los desafíos ambientales y económicos actuales, al tiempo que impulsa la eficiencia, la innovación y la sostenibilidad.

Actualmente ha nacido un nuevo modelo conocido como Economía Circular (EC), el cual ha tomado relevancia por el crecimiento acelerado en países desarrollados y la búsqueda de la sostenibilidad (Gene et al., 2022).

El modelo de EC se basa en principios como: Reducir, Reutilizar y Reciclar, los cuales son fundamentales para incrementar la circularidad (Laskurain-Iturbe et al., 2021). Estos aspiran a que el sistema reduzca el desperdicio de los recursos naturales que son usados en la fase productiva de un bien o servicio (Gene et al., 2022). El fin principal de la EC es cambiar la perspectiva de producción circular (Liu et al., 2023). Dicha perspectiva involucra un reto para poder frenar la gradual escasez de recursos de producción (Dongfang et al., 2022) y que disminuya las consecuencias de fabricación en el medioambiente por medio de la implementación de reciclaje, remanufactura y reutilización (Liu et al., 2023), promoviendo una utilización óptima y respetuosa de los recursos naturales limitados (Cherrafi et al., 2022).

Los métodos de producción más limpios son importantes para lograr el éxito en los enfoques de EC (Hilario da Silva y Sehnem, 2022), los cuales, son apoyados por la actual Industria 4.0 (I4.0). Cabe recalcar que la Inteligencia Artificial (IA) es considerada una de las tecnologías I4.0 que puede promover la realización de la EC (Lei et al., 2023). Además, la IA es un facilitador clave de la EC gracias a su potencial para generar beneficios (Roberts et al., 2022) permitiendo la aceleración y rentabilidad de la misma (Jose et al., 2020), haciendo más sencillo pasarse a este nuevo modelo económico que es clave para las empresas que quieren lograr un crecimiento sostenible.

La IA tiene técnicas fundamentales tales como el aprendizaje automático, redes neuronales artificiales, redes neuronales convolucionales y análisis de series temporales que tienen aplicaciones potenciales muy numerosas para la EC (Pathan et al., 2023), saber cuáles podrían ser esas aplicaciones motivan a la realización de esta investigación.

La EC es un modelo económico que tiene como objetivo maximizar la circularidad de los recursos limitando su consumo y el desperdicio de estos (Sahu et al., 2021; Bensassi et al., 2022). Se presenta como un nuevo modelo de producción y de consumo que garantiza un crecimiento sostenible con el tiempo (Wamba et al., 2023). De igual manera, la EC se define como una serie de

estrategias diseñadas para fomentar la reutilización, la eficiencia y la optimización de los recursos. Este nuevo concepto propone aprovechar los residuos como materias primas para generar beneficios económicos (Nafiz et al., 2023). Dicho concepto se originó en el actual sistema económico mundial para alcanzar un desarrollo más sostenible (Clauser et al., 2022).

Las prácticas de reciclaje, reducción, reutilización/fabricación y reparación se consideran los principios de una EC (Liu et al., 2022), y para su aplicación la logística inversa y el diseño de la red de la cadena de suministro desempeñan un papel muy importante (Bag et al., 2021). Estas prácticas se implementan en distintas disciplinas como la economía ambiental, la gestión de la innovación, el comportamiento organizacional y la gestión de operaciones (Liu et al., 2023).

La EC pretende cerrar los extremos de la economía lineal para ofrecer un ciclo de extracción, uso, eliminación y reinserción de los materiales (Medeiros, 2021). Dicho modelo implica aceptar un desafío con el fin de contrarrestar la creciente escasez gradual de recursos de producción, buscando optimizarla y hacerla sostenible, planteando modelos de consumo que sean restaurativos (Oluleye et al., 2023). Al mismo tiempo, aborda la crisis climática al disminuir las emisiones y contaminantes a lo largo de las cadenas de suministro (Amatucci, 2022), lo que en suma contribuye a la preservación del medio ambiente (Dongfang et al., 2022).

Estos modelos involucran el volver a diseñar actividades industriales y prácticas que son base para poder separar el crecimiento económico de los impactos ambientales negativos. (Golinska-Dawson et al., 2023). Dichas prácticas proponen que la mayoría de los materiales utilizados en la fabricación de productos de consumo puedan reincorporarse al ciclo de fabricación, hasta llegar a las partes que ya no son útiles para la función original transformándose en una nueva fuente de utilidad para otros propósitos (Wamba et al., 2023) y finalmente, volver a la naturaleza sin generar impactos negativos (Salinas et al., 2021). En ese aspecto, cada producto debe ser un insumo potencial para otra producción que necesite estos productos como recursos (Noman et al., 2022), y en caso la naturaleza del producto no lo permita, la idea sería fabricar productos duraderos, restauradores y reformadores para que los bienes puedan alquilarse, tomarse prestado o compartirse siempre que sea posible (Noman et al., 2022).

En relación con lo anterior, la EC tiene dos ciclos: el biológico y el técnico. En cuanto al ciclo biológico consiste en la renovación del

ecosistema, como la disminución de la extracción desmesurada de las materias primas, reutilización de energías o adoptar por fuentes de energía sostenibles.

Las tecnologías de IA todavía tienen un potencial considerable y amplio de aplicación, sobre todo en los negocios, donde puede llegar a optimizar múltiples áreas, la gestión de la sostenibilidad y EC de la empresa (Schöggl et al., 2023; Noman et al., 2022). Es por ello que la IA está ganando importancia en campos de investigación más amplios que a menudo se consideran fundamentales para la investigación sobre los negocios y emprendimientos (Wilson et al., 2021). La justificación para explorar la convergencia entre la IA y la economía circular radica en las oportunidades sin precedentes que esta sinergia puede brindar. La IA tiene la capacidad de examinar extensas cantidades de datos de forma efectiva, identificar patrones, pautas y tendencias, y a base de la información disponible tomar decisiones. Al aplicar la IA en el contexto de la economía circular, podemos mejorar la eficiencia en la gestión de residuos, optimizar los procesos de producción y logística, y diseñar productos y servicios más sostenibles.

A través de la revisión sistemática de la literatura, como objetivo se tiene buscar, explorar y analizar la convergencia entre la IA y la EC, identificando cómo la integración y aplicación de la IA en la EC desempeña un papel beneficioso.

**METODOLOGÍA**

Se ha realizado una revisión sistemática de la literatura de la Convergencia Sostenible: Inteligencia Artificial y Economía Circular, usando el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Diagrama 1).

Durante este proceso, se identificaron artículos que se abordarán y se aplicaron criterios de exclusión para descartar aquellos artículos que no cumplan con los elementos fundamentales y relevantes para el estudio. Seguidamente, se usó el criterio de idoneidad con los artículos para determinar su elegibilidad y excluyendo a los que no contribuyen al tema. Se quedó con 67 artículos, incluyendo tanto los artículos originales como los de revisión.

Los artículos están repartidos de la siguiente manera: 47 artículos Scopus, 7 de Springer, 5 de Base, 3 de Sciencedirect, 3 de Scielo, 1 de Zenty y 1 de Dialnet, de los cuales se tomó en consideración el nombre de la revista y el año de publicación. En la figura 1 se puede ver representado estos datos en forma relativa, siendo SCOPUS la fuente de donde se seleccionaron el 70% de los artículos para esta revisión.

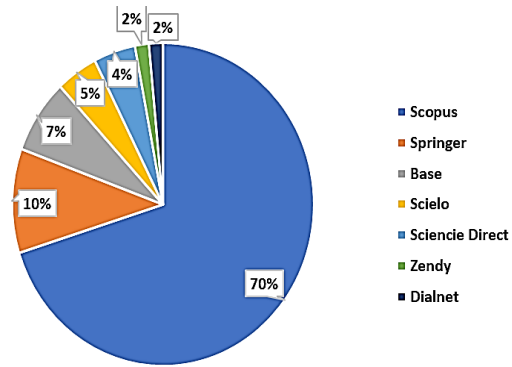


Figura 1. Estudios seleccionados por fuente

**Proceso de recolección de información**

Para respaldar el proceso de recolección de información, definimos los siguientes términos: "Circular Economy", "Artificial intelligence", "Sustainability". Hemos usado como base de datos a Scopus, Springer, Base, ScienceDirect, Scielo, Zenty, Dialnet, siendo Scopus el buscador más usado. En la tabla 1 se presentan los criterios empleados para este artículo.

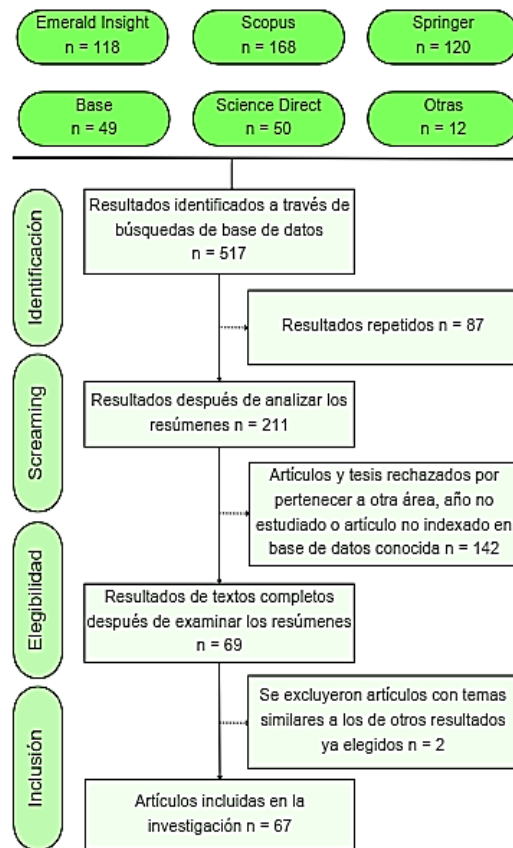


Figura 2. Diagrama de metodología PRISMA.

Nota: Las otras bases de datos en las que se consultaron artículos son: Scielo, Zenty, Dialnet, Latindex, Alicia Concytec y Google Académico.

Se han buscado en las bases mencionadas los artículos empleando términos en inglés, logrando un total de 517 artículos encontrados.





relacionado con la mayoría de las palabras. Seguidamente del concepto de "Inteligencia Artificial", debido a que este es un factor para apoyar a la CE. Por último, el término más usado en tercer lugar es el de "Machine Learning", relacionado con los anteriores términos, puesto que es un elemento de la IA para agilizar los procesos en una CE.

### **Nube de palabras**

En los estudios revisados, se observaron varios conceptos en los resúmenes de cada artículo. Con el fin de mostrar los términos más frecuentes utilizados por la mayoría de los autores de nuestros artículos, se ha presentado la figura 4, la cual representa a una nube de palabras. El tamaño de cada término plasma la frecuencia del uso de la palabra

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Cadena de suministro**

La administración de la cadena de suministro supervisa el flujo de bienes y servicios desde su origen hasta el punto de consumo, abarcando el transporte y almacenamiento de materias primas, inventarios de procesos de trabajo y productos terminados (Noman et al., 2022), actualmente, la IA se utiliza para abordar problemas complejos como la gestión de desechos sólidos, la energía, las instalaciones, el transporte y otras áreas de la cadena de suministros, logrando hacer una mejora en su funcionamiento y de sus capacidades de circularidad (Onyeaka et al., 2023; Bag et al., 2021).

**Diseño de la Cadena de Suministro:** El uso de la IA puede ayudar a fortalecer la cadena de suministro sostenible, al evaluar rutas de valor potenciales para materiales secundarios, optimizar la planificación en tiempo real de las líneas de montaje y al realizar un análisis exhaustivo de los datos de producción y consumo (Sahu et al., 2021), por ejemplo, la IA ayuda en los procesos de refinación como; la revisión de la literatura, caracterización de la biomasa, diseños de procesos, gestión de flujo de materiales y gestión estratégica (Clauser et al., 2022; Langley et al., 2023).

**Producción:** En la mayoría de las industrias, la seguridad, la eficacia y el calibre de los procesos de producción pueden mejorarse con IA, pues esta ayuda a optimizar sus procesos de fabricación con errores mínimos (Onyeaka et al., 2023; Liu et al., 2022), por ejemplo, se puede utilizar el reconocimiento de imágenes por IA en el control de calidad de productos alimenticios durante la fabricación y el envasado, garantizando la venta de productos de calidad, lo que reduce las tasas de devolución y el desperdicio posterior (Onyeaka et al., 2023),

también permite un mejor intercambio y análisis de datos energéticos en tiempo real para lograr un mejor rendimiento, que debe estar bajo control durante todo el proceso de fabricación, mejora la integración y coordinación de la cadena de suministros y permite lograr un desarrollo sostenible (Hilario da Silva y Sehnem, 2022; Han et al., 2023; Dongfang et al. 2022). Además, en la agricultura, la IA mejora las oportunidades en el cultivo y procesamiento, la logística, la optimización del riego y la aplicación de pesticidas y herbicidas mejorando la producción (Amatucci, 2022).

La introducción de la IA contribuye a aumentar la eficiencia mediante una optimización mejorada, un análisis de datos en tiempo real y un diseño mejorado, aspectos que facilitan el logro de la circularidad (Chauhan et al., 2022), así lo sustenta Agrawal et al., (2022a), ya que la IA implementada en la maquinaria de producción ayuda a recopilar datos de fabricación y esto le permitirá mejorar los procesos de fabricación haciéndola más eficiente.

**Gestión de Inventario:** La IA mediante el análisis de datos sobre la condición de almacenamiento de los alimentos ayuda a evitar su deterioro y mejorar la vida útil de los productos alimenticios (Onyeaka et al., 2023).

**Planificación de la Demanda:** La IA analiza datos masivos de consumidores en tiempo real, esto le permite ayudar a establecer adecuadamente los precios de los productos y las predicciones de la demanda (Pathan et al., 2023). Además, en la agricultura, se puede utilizar para predecir el momento adecuado para sembrar cultivos mediante el uso de datos como la calidad del suelo, el clima y las posibles condiciones futuras del mercado para la producción de cultivos (Pathan et al., 2023).

**Planificación de la Producción:** La IA puede mejorar los métodos agrícolas, la selección de cultivos y las predicciones de rendimiento, aumentando la eficiencia y eficacia (Onyeaka et al., 2023) Además, mediante modelos de IA como la máquina de vectores de soporte y una red neuronal artificial, ayudan a predecir los resultados de la biolixiviación de metales realizada por enzimas, esto debido a la complejidad de manejar los datos (Trivedi y Hait, 2023).

**Logística:** Los sistemas de IA pueden optimizar la logística optimizando las rutas y tiempos de entrega para garantizar productos frescos y de calidad ayudando a evitar su devolución (Onyeaka et al., 2023). Además, la implantación de vehículos automatizados por IA promete limitar el costo de envío, reducir la cantidad de accidentes, el gasto en combustible, el costo de mano de obra, la disminución del tiempo de entrega y

disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (Akbari y Hopkins, 2022; Liu et al., 2023).

**Tecnología y Sistemas de Información:** La IA sirve de apoyo para el mantenimiento predictivo lo que alarga la vida útil de los equipos minimizando costos y el uso de repuestos (Pathan et al., 2023).

**Colaboración y Comunicación:** La IA puede fomentar la creación de herramientas visuales que proporcionan una descripción general comprensible de los flujos de datos relacionados con productos, recursos y procesos (Onyeaka et al., 2023).

**Gestión de Devoluciones y Servicio al Cliente:** Las funciones de IA aumentan la facilidad de seguimiento de los datos de cantidad, calidad y tiempo de los productos devueltos, lo que permite enfrentar barreras para una gestión adecuada de la cadena de suministro de circuito cerrado (Acerbi et al., 2021).

### **Diseño y desarrollo de productos e infraestructura**

El modelo de EC origina un efecto equilibrado entre el crecimiento económico y el medio ambiente. La EC asegura que siempre se haga un uso eficaz de todos los recursos para la implementación de mejores métodos de diseño y fabricación (K et al., 2023).

La IA se inserta como acelerador en la transición de una economía lineal a una circular debido a que da mejoras de resultados en la infraestructura de reciclaje y áreas como el diseño de productos, las operaciones y la optimización de la infraestructura (Roberts et al., 2022; Pinheiro et al., 2022). Para así, poner en marcha modelos de negocios circulares (Talla y McIlwaine, 2022).

Ahora bien, siendo aplicado a la tecnología de fabricación inteligente, se ejecuta en todas las etapas de la elaboración de un bien o servicio, como por ejemplo en las etapas de diseño de productos, métodos de medición, administración, aumento de eficiencia y eficacia, así como la mejora de la calidad de los productos (Chen et al., 2020).

En cuanto al diseño, este debe estar basado en criterios de circularidad, considerando tanto el uso de materias primas en la producción como la naturaleza del objeto y el ciclo de vida completo (Amatucci, 2022).

La IA destaca en el área de mantenimiento predictivo porque actúa como instrumento que sirve de soporte para la sostenibilidad, ya que brinda el análisis de datos del transcurso del ciclo y vida del producto (Roberts et al., 2022), lo que ayuda a prolongar su vida útil y generar nuevos conocimientos sobre su desarrollo con probabilidad de relevancia en las empresas de manufactura que avanzan hacia una producción sostenible y

circular (Schöggl et al. 2023). También, según Akram et al., (2022), sirve para la predicción de tendencias futuras tales como: la moda, pronósticos de salud, etc.

Del mismo modo, la IA sugiere diseños iniciales para productos ecológicos, colabora en el diseño de nuevos materiales para sustituir recursos insostenibles, inclusive ajusta los diseños en función de los parámetros ambientales (Roberts et al., 2022).

Para los diseñadores de productos, la IA es una herramienta útil que les permite gestionar esta complejidad mediante procesos iterativos de diseño asistido. Estos procesos permiten la creación rápida de prototipos y pruebas, lo que conduce a mejores resultados de diseño en un período de tiempo más corto (Pathan et al., 2023).

En concreto, la IA ha dado resultados en este apartado. Por ejemplo, puede ayudar a los agricultores desde el principio diseñando y construyendo sistemas que minimicen el desperdicio de alimentos. Y, mediante la Programación Neuro Lingüística (PNL) permite desarrollar alimentos más saludables analizando los comentarios de los clientes para identificar la demanda de opciones más saludables o mejoras a los artículos existentes (Onyeaka et al., 2023). A su vez, es utilizado para acelerar el proceso de recertificación, específicamente en el proceso de detección de grietas en el acero lo que les ayuda a reducir el tiempo de inspección. Este sistema también se le puede emplear desde la perspectiva de daños al acero reutilizado (Kanyilmaz et al., 2023).

### **Análisis de datos y toma de decisiones.**

Las tecnologías de procesamiento, como la IA, destacan por aumentar la eficiencia mediante análisis predictivos y el apoyo en la toma de decisiones (Medeiros, 2021), utilizando computadoras y máquinas que imitan las capacidades de la mente humana (Akram et al., 2022) reduciendo los esfuerzos de operadores humanos, contribuyendo al proceso de recertificación (Kanyilmaz et al., 2023). La IA colabora con la CE al generar y gestionar datos, brindando información precisa en tiempo real (Hennemann y Sehnem, 2022) y en circunstancias complejas donde las decisiones derivan de cambios dinámicos en variables y parámetros, (Evangelista et al., 2023) con el fin de anticipar, detectar y resolver problemas, optimizando los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (Ertz y Gasteau, 2023).

**IA en la industria:** La IA puede ayudar a trazar el camino circular más conveniente que puede realizar la empresa (Acerbi et al., 2021). Las personas en el ámbito industrial deberían usar la IA para mejorar estrategias empresariales circulares, utilizando datos tanto históricos como actuales, con el fin de

perfeccionar procesos industriales y la mecanización de la toma de decisiones (Agrawal et al., 2022b); debido a que esta inteligencia permite que los elementos conectados respondan según la situación de manera automática, lo que resulta una alternativa eficiente para una producción adaptativa y autónoma (Liu et al., 2023). De la misma forma, la IA sirve para la toma estratégica de decisiones en términos de diseño del producto, del modelo de negocio (Fallahi et al., 2022) y modelos de negocio predictivos esenciales para proporcionar a los ejecutivos y líderes, información más precisa y detallada (Amatucci, 2022).

IA para determinar costos y precios: Existe la forma de convertir la información recopilada en análisis útiles mediante la IA (Medeiros, 2021) como el análisis profundo, que ayuda a tomadores de decisiones determinar el valor monetario de los materiales que deben recuperarse (Elghaish et al., 2022), así también en la fijación de precios dinámicos basados en múltiples variables (Roberts et al., 2022), analizar la demanda y desarrollar plataformas comerciales para diversos recursos, productos y componentes (Oluleye et al., 2023). El modelado de valor residual de los productos por IA se puede utilizar tanto para la evaluación financiera como para la calidad de la producción y los materiales utilizados en el producto ofrecido para la venta o como servicio (Fallahi et al., 2022).

IA en el transcurso operativo: La IA puede realizar un seguimiento y pronóstico del rendimiento circular de la empresa (Acerbi et al., 2021), siendo un soporte en el sistema de EC durante el transcurso operativo, donde enlaza los datos operativos con los datos de fallos (Agrawal et al., 2022b). Del mismo modo, la IA apoya en la vigilancia, seguimiento, inspección de la producción y recuperación de productos (Ertz y Gasteau, 2023). En este contexto, la IA se convierte en una herramienta valiosa capaz de establecer sistemas de apoyo a la toma de decisiones que evalúen la calidad de un producto, la necesidad de reprocesamiento y utilización de métodos regenerativos (Onyeaka et al., 2023) al mismo tiempo que evalúa el consumo de energía, agua y otros servicios durante el proceso de producción (Acerbi et al., 2021) mediante una medición inteligente, mantenimiento con detección y monitoreo en tiempo real (Matheri et al., 2022). Aprendizaje por refuerzo profundo y automático: La IA utiliza el aprendizaje por refuerzo y aprendizaje profundo para proporcionar previsiones y perspectivas útiles para los gestores (Medeiros, 2021). El aprendizaje por profundo facilita la toma de decisiones de manera computarizada, es capaz de aprender de sus experiencias y formarse

para tomar una decisión, como la de saber qué hacer con los materiales al término de su vida útil, por ejemplo, cuáles de los materiales cuáles deben ser reutilizados y reciclados (Oluleye et al., 2023). En la etapa de entrenamiento del aprendizaje por refuerzo se recopilan grandes volúmenes de datos para adentrar un algoritmo a aprender de la información procesada y luego del adiestramiento el algoritmo puede inferir sobre nuevos datos (Fraga-Lamas et al., 2021).

En cambio, el aprendizaje automático ayuda a las organizaciones analizando los escenarios en tiempo real, mejorando la precisión de pronósticos y las estrategias de asignación y reabastecimiento. (Cherrafi et al., 2022). Además, analiza patrones de comportamiento de los consumidores para predecir las compras de alimentos y reducir la sobreproducción (Onyeaka et al., 2023).

IA para el análisis de datos: El uso de las tecnologías se volverá cada vez más indispensable para la toma de decisiones, esto implicaría el uso de sistemas de IA para el análisis de grandes volúmenes de datos (Scipioni et al., 2023). El empleo de la IA en la gestión de datos proporciona una velocidad notablemente superior a la que cualquier ser humano (Ertz y Gasteau, 2023). Para abordar adecuadamente el pilar ambiental de la sostenibilidad, se requiere una gestión de datos efectiva, por lo cual las técnicas y herramientas de big data son esenciales (Colla et al., 2021) para brindar una mejor visualización de datos y ayudar a los tomadores de decisiones a comprender información abundante y compleja (Bag et al., 2021). Por lo tanto, la IA brinda estimaciones detalladas por medio de algoritmos de búsqueda de gran velocidad como algoritmos heurísticos (Liu et al., 2023). Por otra parte, la IA permite rastrear en tiempo real enormes cantidades de datos complejos (Acerbi et al., 2021) y obtener información de datos históricos con el fin de respaldar los sistemas de apoyo para la toma de decisiones (Liu et al., 2023). Por otro lado, el uso de parámetros para establecer conexiones entre varios factores o variables, ayudan a integrar abundantes conjuntos de datos en un único modelo que recomiendan a tomar una decisión (Hoyng, 2023). De acuerdo con las últimas investigaciones (Mboli et al., 2023) se propone en las industrias los llamados "DSS AI-Power", Sistemas de apoyo a las decisiones impulsados por la IA como negocio circular con la misión de ayudar a industrias a tomar decisiones en una EC, basado en datos para lograr una mayor eficiencia de los recursos, productividad y rentabilidad.

#### **Gestión de Residuos y Reciclaje**

La IA es uno de los principales mecanismos para la reducción y el reciclaje (Lei et al.,

2023). La producción constante de desechos demanda una administración eficaz con el fin de salvaguardar la seguridad ambiental y la salud pública, por lo que las últimas tendencias en EC han reformado la industria de gestión de residuos al encontrar valor en los residuos generados (Kumar et al., 2021). La EC se enfoca en reducir la generación de residuos al repensar, rediseñar y reutilizar productos y materiales, promoviendo la producción limpia; esta idea resalta la importancia de transformar la mentalidad de la sociedad, llevándola desde la eliminación de residuos hasta la valorización de los materiales y la minimización de los impactos ambientales (Geywitz Bernal, 2020); Rajput y Singh, 2019). En cierto sentido, la EC es una manera de organizarse económicamente, teniendo como dirección la minimización de la generación de residuos, ya que va a velar por el sustento de ciertos insumos o productos estén dentro del mayor tiempo posible dentro del ciclo económico, gracias a este sistema y sus enfoques; tales como el reúso, reparación, ecodiseño, entre otros; da paso a que se creen nuevos modelos de negocio (Hernández y Céspedes, 2020).

La gestión de residuos es el cimiento para optimizar la gestión de los medios y la reducción de residuos generados (Agrawal et al., 2022b). Una forma de mejorar la clasificación de residuos consiste en la implementación de la IA, lo que asegura la toma de decisiones respaldadas por datos en el contexto de la EC además de ayudar en la clasificación de residuos y reprocesamiento de materiales (Kumar et al., 2021; Uçar et al., 2020). Hay diversos equipos efectivos para clasificar y reciclar residuos sólidos mediante la aplicación de la IA en la EC, lo que se ha comprobado que agiliza la optimización de selección y clasificación de materiales reciclables de manera fácil y segura, a través del desarrollo de contenedores y clasificados inteligentes (Salinas et al., 2021). La digitalización de la gestión de residuos debe alinearse con objetivos de sostenibilidad más amplios como a un nivel global y desarrollo social, como el uso responsable de recursos y energía; con el fin de poder conseguir la sostenibilidad por medio de la digitalización (Kurniawan et al., 2023).

La IA también puede ayudar a predecir cómo cambian los materiales con el tiempo, como su durabilidad general y sus posibles toxicidades, este tipo de información puede ayudar a avanzar en la logística inversa y el mantenimiento de los productos (Pathan et al., 2023) Los productos al final de su vida útil son difíciles de desmontar, clasificar y separar automáticamente. Los sensores robóticos apoyados en IA reconocen y clasifican diferentes productos de desecho para su

reciclaje (Amatucci, 2022). Esto se debe a que el progreso en electrónica y software ha desarrollado sistemas muy precisos que tienen como función el reconocimiento de imágenes y tomar decisiones de forma automatizada (Cheah et al., 2022). Es necesario el uso de clasificadores equipados con IA para optimizar la eficiencia en la clasificación de residuos (Lubongo y Alexandridis, 2022). Lo cual reemplaza la clasificación manual por una clasificación robótica multisensorial que hace uso de la IA (Bernat, 2023). El aprendizaje automático obtiene la capacidad de identificar objetos y patrones, es de utilidad en la clasificación y separación de residuos sin la necesidad de interferencia humana (Cheah et al., 2022) y el aprendizaje profundo permite obtener información detallada sobre los componentes de los productos reciclados (Cefin. S. et al., 2021). En muchos locales de recuperación de materiales depende de la clasificación manual para alcanzar buenos niveles de pureza. La clasificación manual suele ser cara y demora demasiado para enormes cantidades de desechos, además de ser un peligro para la salud de los trabajadores; caso contrario, con la clasificación automatizada se es más rentable y eficiente (Lubongo y Alexandridis, 2022). Además, la IA ha contribuido a reducir casi un 100% el consumo de papel, con el uso de tecnología de reconocimiento de voz para que los operadores busquen o escriban lo que necesitan digitalmente, sustituyendo el papel por pán s, a su vez, el consumo de energía ha disminuido en proyectos de construcción, pues el seguimiento de mediante satélite libre imagen ha reducido el consumo de energía fósil y el impacto en la biodiversidad al disminuir el envío de trabajadores, helicópteros o drones a parques eólicos y zonas de fracking que se controlan vía satélite (Laskurain-Iturbe et al., 2021). La aplicación de la IA en el reciclaje químico puede reducir el dinero y tiempo para precisar y mejorar la efectividad de procesos de reciclaje (Xayachak et al., 2022) obteniendo importantes beneficios ecológicos que aumentan la valorización de los residuos (Wilts et al., 2021). También, la IA en conjunto con los ChatBots ayudan a informar a la población a obtener información de cómo apoyar a la EC, información clave como puntos de arroj de desechos y sobre la importancia de la EC, además, ayuda a determinar qué desechos son reciclables mediante reconocimiento de imágenes (Zota et al., 2023). De igual manera, las herramientas de la IA, que son impulsadas por sensores múltiples y herramientas blockchain, mejoran los procesos de segregación y reciclaje de residuos plásticos (Ding et al., 2022).



### Logística Inversa

La logística inversa es el proceso de devolver productos defectuosos o cualquier parte del producto al fabricante utilizando un sistema de cadena de suministro inversa para su re-fabricación o reciclaje (Noman et al., 2022). Esta logística tiene como fin ocuparse de asuntos como la disminución de residuos, la contaminación, muerte de la biodiversidad y el calentamiento global (Oluleye et al., 2023). En la EC, la logística inversa es probablemente la forma más corta y rentable de completar el ciclo de vida de un producto (Noman et al., 2022). La IA puede contribuir a impulsar la infraestructura de logística inversa para crear un sistema de circuito cerrado, mediante el desarrollo de métodos para identificar productos defectuosos, re-manufacturar y reutilizar materiales (Noman et al., 2022) además, la IA ayuda en todas las funciones del proceso de logística inversa (Wilson et al., 2021). La logística inversa es un sistema de reutilización de desechos que son devueltos al que lo produce mediante un plan de cadena de abastecimiento inverso (Oluleye et al., 2023). Asimismo, tenemos que, desde un enfoque gerencial, este tipo de logística integra la planificación, implementación y control del flujo de material y productos terminados desde la producción, distribución o empleo hasta el punto de recuperación o eliminación favorable (Golinska-Dawson et al., 2023).

### CONCLUSIONES

La IA tiene muchas aplicaciones y beneficios en la EC. En la cadena de suministro aborda problemas complejos en diversas áreas. En el proceso del diseño de la cadena de suministro, la IA contribuye a la mejora de la sostenibilidad al evaluar rutas de valor, optimizar la planificación en tiempo real y analizar datos de producción y consumo. En la producción, la IA mejora la seguridad, eficacia y calidad, aplicándose en el control de calidad de productos alimenticios. En la gestión de inventario, la IA analiza datos para prevenir el deterioro de alimentos y mejorar su vida útil. En la planificación de la demanda, utiliza datos masivos para establecer precios y realizar predicciones en tiempo real. En la planificación de la producción, mejora métodos agrícolas y predice rendimientos. En logística, optimiza rutas y tiempos de entrega. En tecnología y sistemas de información, la IA respalda el mantenimiento predictivo, prolongando la vida útil de equipos y reduciendo costos. En colaboración y comunicación, la IA facilita la creación de herramientas visuales para comprender flujos de datos relacionados con productos, recursos y procesos.

La gestión de residuos y reciclaje en el contexto de la EC se beneficia sustancialmente de la implementación de IA. Esta tecnología contribuye a optimizar la identificación y clasificación de materiales reciclables mediante el desarrollo de tecnologías como contenedores y clasificadores automáticos. La digitalización de la gestión de residuos, respaldada por la IA, no solo aumenta la eficiencia en la clasificación, sino que también promueve la sostenibilidad al prever cambios en los materiales a largo tiempo y facilitar la logística inversa. La IA, con sus capacidades de aprendizaje automático, reconocimiento de imágenes y toma de decisiones automatizada, emerge como una herramienta esencial para avanzar hacia la minimización de residuos y la creación de modelos de negocio sostenibles en la EC.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acerbi, F., Forterre, D. A., y 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., y 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., y 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>
- Akram, S. V., Malik, P. K., Singh, R., Gehlot, A., Juyal, A., Ghafoor, K. Z., y Shrestha, S. (2022). Implementation of Digitalized Technologies for Fashion Industry 4.0: Opportunities and Challenges. *Scientific Programming*, 2022, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2022/7523246>
- Alonso, S. L. N., Forradellas, R. F. R., Morell, O. P., y 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. Scopus. <https://doi.org/10.3390/su13042092>
- Amatucci, C. (2022). Sustainable growth and the role of artificial intelligence in improving the circular economy. *Law yamp; Digital Technologies*, 2(1), 7. <https://doi.org/10.18254/S278229070019620-8>
- Bag, S., Pretorius, J. H. C., Gupta, S., y 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>
- Bensassi, N., Rezzai, M., Wafaa, D., y Medromi, H. (2022). Sustainable Manufacturing in Industry 4.0 Context: Theoretical Background and Multi-Agent Architecture. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 70(12), 179-193. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V70I12P219>
- 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>
- Çetin, S., De Wolf, C., y Bocken, N. (2021). Circular digital built environment: An emerging framework.

- Sustainability* (Switzerland), 13(11). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su13116348>
- Chauhan, C., Parida, V., y 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. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121508>
- Cheah, C. G., Chia, W. Y., Lai, S. F., Chew, K. W., Chia, S. R., y Show, P. L. (2022). Innovation designs of industry 4.0 based solid waste management: Machinery and digital circular economy. *Environmental Research*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113619>
- Chen, M., Liu, Q., Huang, S., y 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., y Chaouini 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>
- Clauser, N. M., Felissia, F. E., Area, M. C., y Vallejos, M. E. (2022). Integrating the new age of bioeconomy and Industry 4.0 into biorefinery process design. *BioResources*, 17(3), 5510-5531. <https://doi.org/10.15376/biores.17.3.Clauser>
- Ding, Z., Chen, Z., Liu, J., Evrendilek, F., He, Y., 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>
- COVID-19 pandemic. *Operations Management Research*, 15(1-2), 342-356. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00220-0>
- Elghaish, F., Matarneh, S. T., Edwards, D. J., Rahimian, F. P., El-Gohary, H., y Ejowomu, O. (2022). Applications of Industry 4.0 digital technologies towards a construction circular economy: gap analysis and conceptual framework. *Construction Innovation*, 22(3), 647-670. [https://www.open-access.bcu.ac.uk/13593/1/Circular\\_Economy\\_Revision.pdf](https://www.open-access.bcu.ac.uk/13593/1/Circular_Economy_Revision.pdf)
- Ertz, M., y Gasteau, F. (2023). Role of smart technologies for implementing industry 4.0 environment in product lifetime extension towards circular economy: A qualitative research. *Heliyon*, 9(6). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023039695/pdf?md5=1d7d4cd4bb9f96f447825f462100f469ypid=1-s2.0-S2405844023039695-main.pdf>
- Evangelista, S. S., Aro, J. L., Selerio, E., Maturan, F., Atibing, N. M., Ocampo, L., y Pamucar, D. (2023). An Integrated Fermatean Fuzzy Multi-attribute Evaluation of Digital Technologies for Circular Public Sector Supply Chains. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 16(1), 122. <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00294-7>
- Fallahi, S., Mellquist, A., Mogren, O., Listo Zec, E., Algurén, P., y 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>
- Fraga-Lamas, P., Lopes, S. I., y 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). Scopus. <https://doi.org/10.3390/s21175745>
- Geywitz Bernal, S. (2020). Economía Circular. Implantación en Ingeniería, Fabricación y Diseño Industrial. *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 87. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi87.3772>
- Golinska-Dawson, P., Mrugalska, B., Lai, K. K., y Weber, G.-W. (2023). Editorial: Smart and sustainable supply chain and logistics - trends, challenges, methods and best practices. *Annals of Operations Research*, 324(1-2), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05304-7>
- Han, Y., Shevchenko, T., Yannou, B., Ranjbari, M., Shams Esfandabadi, Z., Saidani, M., Bouillass, G., Blumskadanko, K., y Li, G. (2023). Exploring How Digital Technologies Enable a Circular Economy of Products. *Sustainability*, 15(3), 2067. <https://doi.org/10.3390/su15032067>
- Hennemann Hilario Da Silva, T., y Sehnem, S. (2022). The circular economy and industry 4.0: Synergies and challenges. *Revista de Gestão*, 29(3), 300-313. <https://doi.org/10.1108/REG-07-2021-0121>
- Hernández, R. E., y Céspedes, J. (2020). Bioeconomía: una estrategia de sostenibilidad en la cuarta revolución industrial. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 7(2), 126-133. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182020000200015script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182020000200015script=sci_arttext)
- Hoyng, R. (2023). Ecological ethics and the smart circular economy. *Big Data and Society*, 10(1). Scopus. <https://doi.org/10.1177/20539517231158996>
- Jose, R., Panigrahi, S. K., Patil, R. A., Fernando, Y., 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>
- Kanyilmaz, A., Birhane, M., Fishwick, R., y Del Castillo, C. (2023). Reuse of Steel in the Construction Industry: Challenges and Opportunities. *International Journal of Steel Structures*, 23(5), 1399-1416. <https://doi.org/10.1007/s13296-023-00778-4>
- Kumar, N. M., Mohammed, M. A., Abdulkareem, K. H., Damasevicius, R., Mostafa, S. A., Maashi, M. S., y Chopra, S. S. (2021). Artificial intelligence-based solution for sorting COVID related medical waste streams and supporting data-driven decisions for smart circular economy practice. *Process Safety and Environmental Protection*, 152, 482-494. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582021003177>
- Kurniawan, T. A., Othman, M. H. D., Liang, X., Goh, H. H., Gikas, P., Kusworo, T. D., Anouzla, A., y 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. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117765>
- Langley, D. J., Rosco, E., Angelopoulos, M., Kamminga, O., y Hooijer, C. (2023). Orchestrating a smart circular economy: Guiding principles for digital product passports. *Journal of Business Research*, 169. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.114259>
- Laskurain-Isturbe, I., Arana-Landín, G., Landeta-Manzano, B., y 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>
- Lei, Z., Cai, S., Cui, L., Wu, L., y Liu, Y. (2023). How do different Industry 4.0 technologies support certain Circular Economy practices?. *Industrial Management y Data Systems*, 123(4), 1220-1251. <https://nottingham-repository.worktribe.com/preview/14306981/18411.pdf>
- Liu, Z., Han, S., Yao, M., Gupta, S., y 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>
- Lubongo, C., y Alexandridis, P. (2022). Assessment of Performance and Challenges in Use of Commercial Automated Sorting Technology for Plastic Waste. *Recycling*, 7(2), 11. <https://doi.org/10.3390/recycling7020011>
- Matheri, A. N., Mohamed, B., Ntuli, F., Nabadda, E., y 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., y 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>
- Medeiros, L. (2021). Tecnologias da Informação e Proposição de Valor para a Economia Circular: estudo com empresas do setor de gestão de resíduos. *GESTÃO. Org.*, 19(2), 250-270. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8239219>
- Nafiz, Md. S., Das, S. S., Morol, Md. K., Juabir, A. A., y Nandi, D. (2023). *ConvoWaste: An Automatic Waste Segregation Machine Using Deep Learning*. <https://doi.org/10.48550/ARXIV.2302.02976>
- Pinheiro, M. A. P., Jugend, D., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Chiappetta Jabbour, C. J., y Latan, H. (2022). Circular economy-based new products and company performance: The role of stakeholders and Industry 4.0 technologies. *Business Strategy and the Environment*, 31(1), 483-499. Scopus. <https://doi.org/10.1002/bse.2905>
- Rajput, S., y Singh, S. P. (2019). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, 49, 98-113. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.002>
- Sahu, A., Agrawal, S., y Kumar, G. (2021). Integrating Industry 4.0 and circular economy: a review. *Journal of Enterprise Information Management*, 35(3), 885-917. <https://www.proquest.com/barcode?accountid=200235ygroupid=1358927>
- Salinas E. Y., Anaconda, J. D., Patiño Perdomo, O. F., y Millán Rojas, E. E. (2021). Desarrollo de un contenedor y clasificador automático de material reciclable como estrategia de economía circular en el contexto educativo. *Ingeniería y Desarrollo*, 39(01), 156-174. <https://doi.org/10.14482/inde.39.1.006.38>
- Schöggel, J.-P., Rusch, M., Stumpf, L., y 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>
- Scipioni, S., Dini, G., y Niccolini, F. (2023). Exploring circular shipbuilding: A systematic review on circular economy business models and supporting technologies. *Journal of Cleaner Production*, 422. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138470>
- Trivedi, A., y 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. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116797>
- Uçar, E., Le Dain, M.-A., y Joly, I. (2020). Digital technologies in circular economy transition: Evidence from case studies. 90, 133-136. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.01.058>
- Wamba, S. F., Foisso, M., Mosconi, E., y 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>
- Wilson, M., Paschen, J., y Pitt, L. (2021). The circular economy meets artificial intelligence (AI): understanding the opportunities of AI for reverse logistics. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3802829>
- Wilts, H., Garcia, B. R., Garlito, R. G., Gómez, L. S., y Prieto, E. G. (2021). Artificial intelligence in the sorting of municipal waste as an enabler of the circular economy. *Resources*, 10(4). Scopus. <https://doi.org/10.3390/resources10040028>
- Xayachak, T., Haque, N., Parthasarathy, R., King, S., Emami, N., Lau, D., y Pramanik, B. K. (2022). Pyrolysis for plastic waste management: An engineering perspective. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6). Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108865>
- Zota, R. D., Cîmpeanu, I. A., y Dragomir, D. A. (2023). Use and Design of Chatbots for the Circular Economy †. *Sensors*, 23(11). Scopus. <https://doi.org/10.3390/s23114990>