

Artificial Intelligence in the Circular Economy: A Systematic Review of Applications and Benefits

Lucerito Katherine Ortiz García¹ 

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c25072@utp.edu.pe

Abstract– *This article presents a systematic review of the literature on artificial intelligence (AI) in the context of the circular economy, aiming to analyze its applications and benefits. A structured search methodology is used in scientific databases, applying inclusion and exclusion criteria to select relevant and up-to-date research., computer vision, and intelligent decision-making systems. Furthermore, significant benefits are identified in terms of environmental sustainability, cost reduction, and improved product traceability. However, significant barriers to its implementation are also identified, such as the lack of digital infrastructure, limited access to quality data, and limited technical training.*

Keywords-- *Artificial intelligence, circular economy, digital twins, computer vision, predictive maintenance, reserve logistics.*

Inteligencia artificial en la economía circular: Una revisión sistemática de aplicaciones y Beneficios

Lucerito Katherine Ortiz García¹ 

¹Universidad Tecnológica del Perú, Perú, c25072@utp.edu.pe

Resumen– Este artículo presenta una revisión sistemática de la literatura sobre la inteligencia artificial (IA) en el contexto de la economía circular, con el fin de analizar sus aplicaciones y beneficios. Se realizó una búsqueda sistemática en una base de datos científicas específica como scopus, usando criterios específicos, se tomó en cuenta el pico estacional del alto índice donde se publicaron mayor cantidad de artículos y el acceso abierto para así seleccionar investigaciones relevantes y actualizadas. La revisión muestra que la inteligencia artificial se está usando en distintos procesos de las industrias para mejorar la eficiencia, optimizar recursos y hacer los procesos sean más productivos. Entre las tecnologías más comunes están el aprendizaje automático, la visión computacional y los sistemas inteligentes para la toma de decisiones las cuales van a servir para darle un buen uso a la IA. Finalmente se observaron los beneficios importantes en áreas como el cuidado del medio ambiente, la reducción de costos y la mejora en la trazabilidad de los productos. Sin embargo, también se tomaron en cuenta los obstáculos que dificultan la implementación de esta inteligencia humana, la falta de infraestructura digital, el acceso limitado a datos de calidad y la escasa capacitación técnica sobre el uso de esta tecnología.

Palabras clave– Inteligencia artificial, economía circular, gemelos digitales, visión artificial, mantenimiento predictivo, logística de reservas.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los sectores productivos responsables están adoptando con mayor frecuencia la tecnología y los principios de economía circular como parte de sus estrategias fundamentales para alcanzar un desarrollo más equilibrado en los ámbitos económicos, social y ambiental [1], [2]. Esta integración está redefiniendo las formas en que las empresas abordan los retos medioambientales, promoviendo modelos que maximizan el uso de los recursos disponibles y reducen la generación de residuos a nivel mundial [3].

Además, la economía circular busca crear un equilibrio entre el avance económico y la conservación del medio ambiente, promoviendo así el uso responsable y sostenible de los recursos [2]. Este modelo es de carácter económico, ya que proporciona una transformación de los sistemas industriales hacia esquemas regenerativos, en los cuales los materiales preservan su valor dentro del ciclo productivo y no se transforman en desechos. Por otro lado se fundamenta en principios como el creciente interés académico evidenciado en el notable aumento de las publicaciones de artículos en la nube de Scopus en el año 2016 [4].

Según Sheikh et al. [5], nos menciona que la implementación de este enfoque se emplea mayormente en el rubro del embalaje, donde ciertas compañías como Loop Industries han creado sistemas de envases reutilizables que

una vez devueltos por los consumidores, son lavados con un sistema automatizado donde le quitan la mayoría de microorganismos que tiene dicho objeto y este a su vez pasa por un severo control de calidad donde la inocuidad es el factor clave para ser reincorporados al mercado para ser nuevamente utilizados. Asimismo, esta estrategia facilita una reducción considerable en el desperdicio de plásticos como en el uso de materias primas vírgenes, contribuyendo de esta buena manera a cerrar el ciclo de los materiales [6].

Por otra parte, la inteligencia artificial (IA) no se limita a ser una herramienta tecnológica avanzada, sino que actúa como un agente de transformación organizacional profunda en sectores donde se adoptan modelos de economía circular [7]. Además su implementación en procesos de remanufacturado donde se requieren actividades sumamente manuales como la inspección, el desensamble y la categorización de componentes usados en procedimientos complejos, ha generado nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia operativa y la colaboración en la toma de decisiones entre los seres humanos y los sistemas inteligentes debido a que el sistema reacciona con el pensar del ser humano [8]. Estas interacciones no solo mejoran la calidad del producto final, sino que también transforman los roles laborales, demandando nuevas habilidades cognitivas, emocionales y sociales en los trabajadores [9]. No obstante, la Inteligencia Artificial (IA) no solo optimiza el rendimiento productivo de las empresas, sino que también fortalece la capacidad de las organizaciones para ajustarse a modelos más sostenibles donde los sistemas inteligentes se presentan como un elemento fundamental en dentro de las industrias [10].

Por lo tanto, el objetivo principal de este documento es analizar de manera bibliográfica la contribución de la inteligencia artificial en la economía circular, enfocándose en las aplicaciones para la optimización de recursos y la disminución de residuos, debido a que este tipo de problemas suele suceder regularmente en las empresas donde se realizan procesos de manera tradicional. Para lograr este objetivo primero, se busca identificar las tecnologías clave de inteligencia artificial que se puedan aplicar en la economía circular. En segundo lugar, se pretende abarcar los beneficios ambientales, económicos y operativos que surgen de la implementación de soluciones inteligentes en procesos circulares. Así mismo se propone identificar las brechas que reducen el conocimiento de investigación que limitan una adopción más amplia de la inteligencia artificial en modelos de economía circular. Finalmente, se abarcará algunas recomendaciones que pueden servir en este estudio como medio estratégico para promover iniciativas que apunten a la sostenibilidad.

II. METODOLOGÍA

Con el objetivo de alcanzar resultados relevantes para el tema, esta investigación se realizó con los artículos originales más reciente, trabajados de acuerdo al Diagrama PRISMA (Fig. 1).

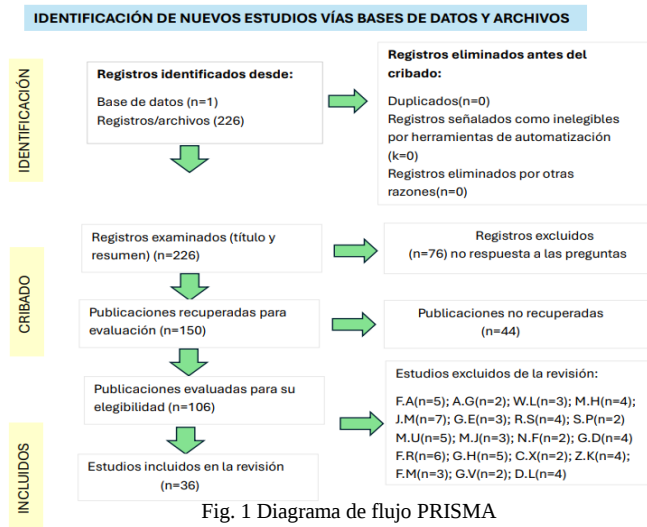


Fig. 1 Diagrama de flujo PRISMA

Para llevar a cabo esta revisión sistemática, se realizó una búsqueda en la base académica: SCOPUS, seleccionada por su calidad y fiabilidad de mostrar una recopilación de artículos de diferentes fuentes académicas. Se empleó la siguiente ecuación de búsqueda: (“circular economy”) AND (“artificial Intelligence” OR “AI”) AND (“industrial processes” OR “manufacturing”) AND (“optimization” OR “process improvement”) AND (advances OR challenges OR applications) para reducir la mayor cantidad de artículos que nos puede dar esta base de datos.

En los criterios de inclusión, se consideraron publicaciones de artículos entre los años 2018 y 2025, aceptando documentos en inglés y español siempre que fuera de acceso abierto y estuvieran vinculados directamente al uso de las tecnologías de Inteligencia artificial en modelos circulares o también que tuvieran una información cercana a la que se requería. De la misma manera se contemplaron estudios cuyos conceptos estuvieran estrechamente relacionados con las temáticas de interés, sino cumplían con este requisito eran descartados.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La Fig. 2 detalla el número de documentos por año, diferenciados por fuente, se ve un crecimiento muy leve en el año 2018, seguido de un aumento progresivo a partir de 2019. Además se observa que una de las fuentes, en este caso la curva morada contribuye de manera muy destacada al pico de publicaciones en 2024, mientras que el resto de las fuentes

tienen una contribución mucho más baja y estable, con valores por debajo que la línea morada.

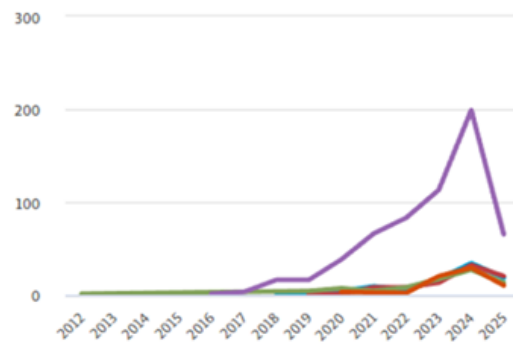


Fig. 2 Gráfica de las fuentes consultadas

La Fig. 3 representa el tipo de documento, se observa que la gran mayoría corresponde a artículos científicos, representando el 67.9% del total. Este dato evidencia que la principal divulgación del conocimiento sigue siendo la publicación de investigaciones originales en revistas académicas. En segundo lugar, los documentos de revisión representan un 20.1%, lo que indica un interés considerable en la recopilación y síntesis de información existente. Los documentos presentados en conferencia constituyen un 9.6%, mostrando la relevancia de estos eventos como espacios de socialización de resultados preliminares. El resto de los documentos, como capítulos de libros, editoriales, notas, libros completos o artículos redactados, tienen una participación marginal.

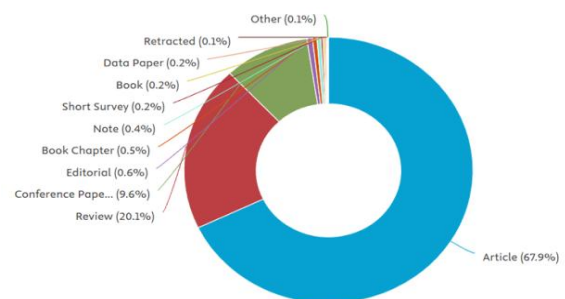


Fig. 3 Gráfica de tipo de documentos

La Fig. 4 muestra, el análisis por área temática muestra que los documentos se concentran principalmente en ciencias de computación que representa el 16.5% seguidos por ciencias Ambientales 14.4% y la Ingeniería con 11.1%. También se evidencia una participación importante en Ciencias Sociales con 11.2% y Energía con 11.1%, lo que refleja un enfoque interdisciplinario donde convergen la tecnología, el medio ambiente, los aspectos sociales y la transición energética. Otras áreas como las ciencias agrícolas, los materiales, los negocios, las matemáticas y las ciencias de la tierra. también están presentes, aunque en menor proporción. Un 17.5%

corresponde a otras áreas no especificadas, lo que indica diversidad en las temáticas tratadas.

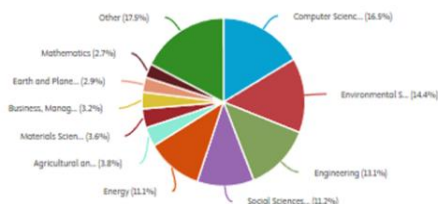


Fig. 4 Gráfica de las Áreas temáticas

En cuanto a la Fig. 5 se representa la afiliación de los documentos, revelan que los documentos provienen principalmente de la de organismos y universidades de prestigio internacional. Destacan el Ministry of Education, La Chinese Academy of sciences y la King Abdulaziz University, seguidos por instituciones reconocidas como la University of Oxford, el CNRS Centre National de Recherche Scientifique y universidades como la Universidad Politécnica de Cataluña, King Saud University College London, University of Johannesburg y Wageningen University. Esto refleja una participación activa tanto de instituciones europeas como de Asia y Oriente Medio en la generación de conocimiento científico.

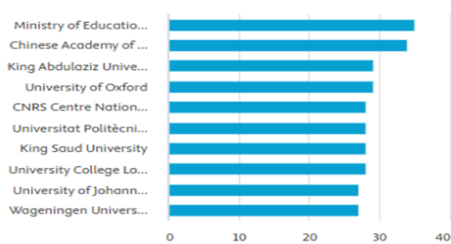


Fig. 5 Gráfica de documentos afiliados

1. Tecnologías clave de la inteligencia artificial en la economía circular a nivel global

La inteligencia (IA) está revolucionando la forma en que las economías gestionan sus recursos, particularmente dentro del marco de la economía circular [11]. A nivel mundial, se estima que el uso de tecnologías de inteligencia Artificial (IA) podría generar hasta 45 billones de dólares anuales en beneficios económicos y ambientales si se aplica eficazmente en sectores clave con alta producción de residuos como la alimentación, la electrónica, la moda y la construcción [12]. La economía circular y la Inteligencia artificial (IA) su uso principalmente es para optimizar flujos de materiales (35%), mejorar el diseño de productos sostenibles (25%), automatizar el reciclaje y clasificación de residuos (20%) y predecir patrones de consumo o fallas de productos (20%) [2].

Entre las tecnologías relevantes se encuentra el machine learning, el procesamiento de lenguaje natural (PLN), la visión computacional, los sistemas expertos y los gemelos digitales.

Cada una cumple un papel específico en la transformación de los modelos lineales [13].

1.1 Machine learning

Es una herramienta fundamental para mejorar la eficiencia en los procesos circulares en la industria de manufactura. Esto ayuda a que las máquinas y productos tengan una vida útil más larga [14].

Gracias a esta técnica, se pueden reducir hasta un 40% los tiempos de inactividad no planificados y disminuir un 25% los costos de mantenimiento, alineándose con la idea de extender la vida útil [15].

En logística inversa, se usa para optimizar rutas de recolección de productos usados o defectuosos, identificando patrones de devolución y áreas con mayor cantidad de residuos que se pueden valorizar [16]. Un estudio de Gassola [2], señala que las empresas que aplican algoritmos de predicción en logística circular han logrado reducir sus costos y tiempos de transporte hasta en un 60%. También, estos modelos ayudan a prever cuándo un lote de productos recuperados alcanza un volumen suficiente para ser reprocesado.

1.2. Procesamiento del lenguaje natural (PLN)

Esta tecnología ha cobrado relevancia al facilitar la extracción de conocimiento útil desde grandes volúmenes de datos no estructurados como manuales técnicos y reportes de mantenimiento. Según Bortz et al [17], el PLN ha logrado automatizar la lectura y clasificación de documentos técnicos con una precisión superior al 90%, lo cual ahorra tiempo operativo y permite tomar decisiones en tiempo real.

Además uno de los usos más innovadores del PLN es la creación de asistentes virtuales y chatbots inteligentes en plataformas de mantenimiento y reutilización de productos. Estas herramientas permiten guiar a los usuarios paso a paso en procesos de autoreparación reduciendo la tasa de reemplazo en productos funcionales, estudios recientes como el de Oluleye et al. [18], muestran que estas plataformas gracias al PLN han logrado aumentar la vida útil de productos hasta un 35% disminuyendo significativamente la demanda de recursos.

1.3 La visión computacional

Una rama aplicada del procesamiento de imágenes, ha demostrado ser una herramienta de alto valor para los sistemas de reciclaje en el marco de la economía circular. Su capacidad para identificar, clasificar y separar materiales en tiempo real ha mejorado sustancialmente la eficiencia de los centros de recuperación, especialmente en contextos urbanos donde los volúmenes y la complejidad de los residuos aumentan constantemente [19]. Esta tecnología utiliza cámaras de alta resolución y algoritmos de reconocimiento entrenados para detectar formas, colores, texturas y patrones que diferencian materiales como plásticos, metales, papel y vidrio, incluido cuando estos se encuentran mezclados o parcialmente contaminados [20].

Asimismo se han reportado mejoras del 8% al 20% tasas de recuperación de materiales gracias al uso de sistemas basados en redes neuronales convolucionales (CNN), estas redes son capaces de alcanzar precisiones de clasificación al 95% en condiciones controladas lo que se traduce en una disminución significativa de la contaminación de flujos [21], un caso son las plantas automatizadas de reciclaje de envases estos sistemas permiten separar con exactitud botellas PET, latas de aluminio y envases multicapa, facilitando su integración de visión computacional con sistemas robóticos permite acelerar la velocidad del proceso de selección y disminuir riesgos laborales [22].

1.4 Los sistemas expertos y los gemelos digitales

Son componentes estratégicos para la planificación y gestión dentro de modelos circulares; al permitir representación compleja de realidades dinámicas y la toma de decisiones asistida por conocimiento estructurado [23]. Los sistemas expertos, diseñados para emular el razonamiento humano, integran bases de conocimiento, reglas lógicas y motores de inferencia que permitan diagnosticar situaciones, recomendaciones soluciones y optimizar acciones en distintos escenarios [24].

Por otro lado, los gemelos digitales son réplicas virtuales de objetos, sistemas o territorios reales que permitan simular, visualizar y predecir el comportamiento del entorno físico en función de diferentes variables [25]. Su aplicación no se limita a procesos industriales; también se utilizan para modelos de barrios sostenibles, sistemas de gestión urbana de residuos, flujos de agua o energía e incluso dinámicas del consumismo local. Al representar digitalmente estos sistemas tomadores de decisiones que pueden anticipar efectos y probar estrategias sin riesgo [26].

2. Beneficios Ambientales, económicos y operativos derivados de la implementación de la Inteligencia artificial en procesos circulares

2.1 Optimización de la gestión de recursos

Es una estrategia fundamental dentro del marco de la economía, lo que busca maximizar los residuos generados a lo largo de los procesos productivos. Con la incorporación de la inteligencia artificial (IA), estas estrategias se potencian significativamente, permitiendo una toma de decisiones en tiempo real [27].

Asimismo, la inteligencia artificial mayormente es aplicada al diseño y la producción en procesos donde se generan gran cantidad de residuos, es posible detectar ciertos patrones en el consumo de materiales, prever posibles fallos en la cadena de suministro y hacer ajustes para mantener ciclos de producción cerrados [28]. Esto ayuda a crear productos mucho más eficientes y sostenibles. Asimismo, Aprovechar nuestros recursos de manera eficiente no implica solo de usar menos materias primas, sino también se requiere priorizar aquellas que sean más sostenibles, como los materiales reciclados o biodegradables, es decir tecnologías

como la impresión 3D y la inteligencia artificial, que permitan fabricar productos con mayor precisión, lo que ayuda a reducir el desperdicio y a tener un mejor control sobre el uso de los recursos [20] [29].

2.2 Reducción de gases de efecto invernadero

Esta reducción se da debido a que las herramientas llevan a cabo un análisis de datos complejos que identifican patrones de emisión de gases y anticipan el comportamiento que generan contaminación para el medioambiente y apoya a la sostenibilidad de los procesos [30].

2.3 Reducción de costos operativos

La automatización de tareas repetitivas, la capacidad de anticipar sucesos y la optimización en la distribución de recursos han permitido reducir errores, eliminar tiempos innecesarios y mejorar la eficiencia financiera [31]. Estas herramientas digitales han probado ser esenciales para simplificar las estructuras operativas, reducir costos fijos y elevar la rentabilidad sin sacrificar la calidad en el servicio [32].

2.4 Creación de nuevos modelos de negocio

El desarrollo de sistemas automatizados y el procesamiento inteligente de datos ha dado origen a nuevas maneras de crear valor. La flexibilidad, la habilidad para adaptarse a solicitudes cambiantes y la visión de la información como un recurso estratégico permiten la elaboración de modelos más adaptables y sostenibles. Estas modificaciones permiten avanzar hacia enfoques enfocados en la experiencia del usuario, la decisión autónoma y la entrega de servicios digitales [33].

2.5 Mayor eficiencia y productividad

Por un lado, las soluciones fundamentadas en algoritmos avanzados han optimizado un rendimiento general de las actividades administrativas, operativas y logísticas. Además, la habilidad para detectar irregularidades, anticipar resultados y aprender de manera continua permite que se mantengan niveles de rendimiento estables para mejorar la utilización del tiempo y los recursos disponibles. Asimismo, estas plataformas tecnológicas refuerzan la capacidad de respuesta ante circunstancias imprevistas, favoreciendo una ejecución más rápida y efectiva [34].

3. Brechas y desafíos actuales de la Inteligencia artificial en modelos circulares sostenibles

Una de las principales barreras en el avance hacia modelos circulares sostenibles es la escasez y la calidad de los datos disponibles. Para mejorar procesos como la clasificación de residuos, el mantenimiento proactivo o la logística inversa, es fundamental contar con datos precisos, fiables y actualizados sobre el ciclo de vida de los productos, los movimientos de los materiales y las conductas de los consumidores. No obstante, esta información a menudo se encuentra dispersa, desactualizada o simplemente no disponible, lo que impide una toma de decisiones eficientes y dificulta la implementación de soluciones [35], [33].

Surge un desafío relacionado con la interoperabilidad y la estandarización. La economía circular requiere una colaboración eficiente entre fabricantes, consumidores y responsables de la gestión de residuos. Para alcanzar este objetivo, es fundamental establecer estándares comunes que faciliten la recolección de datos de manera consistente. También es crucial señalar que la carencia de infraestructura tecnológica representa un desafío significativo, especialmente en naciones en desarrollo [36].

Para reforzar la evidencia, en estudios [37] analizaron la aplicación de la IA en la industria de la construcción circular, dando a conocer que el uso de algoritmos de aprendizaje automático para optimizar el uso de residuos de demolición redujeron en un 25% la demanda de materias primas vírgenes.

Finalmente, la propia complejidad de los sistemas circulares representa un reto considerable. A diferencia de procesos lineales más predecibles, los modelos circulares y variables que cambian constantemente al gestionar los flujos de forma integral y predecir escenarios con distintos objetivos como la reducción de residuos [2], [20].

4. Recomendaciones para fomentar el uso estratégico de la inteligencia artificial tomando en cuenta modelos circulares

4.1. Impulsar políticas públicas que integren Inteligencia Artificial con principios circulares

En primer lugar, al impulsar los principios en políticas públicas es esencial ya que los gobiernos circulares elaboran normativas y estrategias nacionales que vinculan directamente la inteligencia artificial con objetivos de sostenibilidad y economía circular. Por otro lado, esto implica diseñar marcos regulatorios que promuevan el uso responsable de la IA en el ciclo de vida de productos y materiales, garantizando un equilibrio entre la innovación y cuidado ambiental. Además, estas políticas deben considerar aspectos éticos que ayuden a disminuir la huella de carbono dentro de las industrias [10],[29].

4.2. Desarrollar Infraestructuras de datos abiertos y accesibles

El uso estratégico de la Inteligencia artificial depende de la disponibilidad de datos confiables y en tiempo real. Se recomienda establecer plataformas de datos abiertos sobre flujos de materiales, residuos, emisiones y consumo energético, lo cual permite alimentar algoritmos de predicción, trazabilidad y optimización. Además, es necesario garantizar estándares de interoperabilidad y seguridad en la gestión de dicha formación [33],[8].

4.3. Aplicar Inteligencia Artificial en todas las fases de ciclo de vida de los productos

La Inteligencia artificial puede optimizar cada etapa desde el diseño hasta la disposición final. La mayoría de aplicación donde se puede dar en algoritmos de machine learning pueden mejorar el los residuos en la manufactura o prever fallas en productos para su mantenimiento o remanufactura. Así facilita

la extensión del ciclo de vida del uso de los recursos vírgenes [38],[1].

4.4. Evaluar el impacto ambiental de las propias soluciones de la Inteligencia Artificial

Aunque la Inteligencia Artificial ofrece herramientas poderosas para la sostenibilidad su desarrollo también tiene implicancias ecológicas. El entrenamiento de grandes modelos que consume grandes cantidades de energía, por lo que se recomienda aplicar el análisis de ciclo de vida a los desarrollos tecnológicos adoptados. Esto permite asegurar que los beneficios superen los costos energéticos [27],[21].

V. CONCLUSIONES

Integrar tecnologías avanzadas en la economía circular es una oportunidad real para transformar los modelos tradicionales en esquemas más sostenibles, resistentes y eficientes.

Los datos analizados muestran que estas herramientas permiten gestionar mejor los materiales, reducir mucho el desperdicio y mejorar la trazabilidad a lo largo de toda la vida útil de los productos. Además de los beneficios para el medio ambiente y la economía, también se detectaron varias dificultades que dificultan su implementación.

La falta de infraestructura digital, la poca compatibilidad entre diferentes plataformas y la escasez de datos confiables en formatos estándar son obstáculos comunes que la inteligencia artificial necesita superar. También, las brechas en capacitación técnica siguen siendo uno de los mayores desafíos en muchas organizaciones.

En conclusión, para aprovechar realmente el potencial de estas tecnologías, es clave contar con una estrategia clara que incluya leyes y regulaciones, acceso a datos abiertos, formación de profesionales y un seguimiento constante del impacto ambiental de las soluciones basadas en inteligencia artificial.

REFERENCIAS

- [1] M. Al-Raei, «Artificial intelligence for climate resilience: advancing sustainable goals in SDGs 11 and 13 and its relationship to pandemics», *Discov. Sustain.*, vol. 5, n.º 1, p. 513, dic. 2024, doi: 10.1007/s43621-024-00775-5.
- [2] P. Gazzola, E. Pavione, R. Hillebrand, V. Vota, y R. Rosa, «The Circular Economy and the Role of Technology in the Fashion Industry: A Comparison of Empirical Evidence», *Sustainability*, vol. 17, n.º 7, Art. n.º 7, ene. 2025, doi: 10.3390/su17073104.
- [3] N. T. Machado y C. M. T. Rodriguez, «A Logistics 5.0 maturity model: a human-centric and sustainable approach for the supply chain of the future», *ITEGAM-JETIA*, vol. 11, n.º 51, Art. n.º 51, feb. 2025, doi: 10.5935/jetia.v11i51.1407.
- [4] Z. Hong y K. Xiao, «Digital economy structuring for sustainable development: the role of blockchain and artificial intelligence in improving supply chain and reducing negative environmental impacts», *Sci. Rep.*, vol. 14, n.º 1, p. 3912, feb. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-53760-3.
- [5] A. (Arif) Sheikh, S. J. Simske, y E. K. P. Chong, «Evaluating Artificial Intelligence Models for Resource Allocation in Circular

- Economy Digital Marketplace», *Sustainability*, vol. 16, n.º 23, Art. n.º 23, ene. 2024, doi: 10.3390/su162310601.
- [6] N. Almtireen *et al.*, «PLC-Controlled Intelligent Conveyor System with AI-Enhanced Vision for Efficient Waste Sorting», *Appl. Sci.*, vol. 15, n.º 3, Art. n.º 3, ene. 2025, doi: 10.3390/app15031550.
- [7] B. Martini, N. Koutsoupias, y M. Nosios, «Artificial intelligence and machine learning in production efficiency enhancement and sustainable development: a comprehensive bibliometric review», *Front. Sustain.*, vol. 5, ene. 2025, doi: 10.3389/frsus.2024.1508647.
- [8] B. Martini, «Human-Centered and Sustainable Artificial Intelligence in Industry 5.0: Challenges and Perspectives», jun. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/su16135448>.
- [9] Y. Zhang, «Full article: Circular Economy Model for Elderly Tourism Operation Based on Multi-source Heterogeneous Data Integration», abr. 2023, doi: 10.1080/08839514.2023.2205228.
- [10] F. Acerbi, D. A. Forterre, y M. Taisch, «Role of Artificial Intelligence in Circular Manufacturing: A Systematic Literature Review», *IFAC-Pap.*, vol. 54, n.º 1, pp. 367-372, ene. 2021, doi: 10.1016/j.ifacol.2021.08.040.
- [11] J. Su, Ng, Wei Long, An, Jia, Yeong, Wai Yee, Chua, Chee Kai, y S. L. and Sing, «Achieving sustainability by additive manufacturing: a state-of-the-art review and perspectives», *Virtual Phys. Prototyp.*, vol. 19, n.º 1, p. e2438899, dic. 2024, doi: 10.1080/17452759.2024.2438899.
- [12] T. Süße, Kobert, Maria, y C. and Kries, «Human-AI interaction in remanufacturing: exploring shop floor workers' behavioural patterns within a specific human-AI system», *Labour Ind.*, vol. 33, n.º 3, pp. 344-363, jul. 2023, doi: 10.1080/10301763.2023.2251103.
- [13] S. Correia Loureiro, «Shaping a View on the Influence of Technologies on Sustainable Tourism», nov. 2019, doi: 10.3390/su132212691.
- [14] T. Sakao y A. K. Nordholm, «Requirements for a Product Lifecycle Management System Using Internet of Things and Big Data Analytics for Product-as-a-Service», *Front. Sustain.*, vol. 2, ago. 2021, doi: 10.3389/frsus.2021.735550.
- [15] G. Galluccio, «TOWARDS AN INFORMATIONAL UPCYCLING: LEVERAGING COMPUTATION TO (RE)DESIGN BIOMATERIALS' LIFE CYCLES», *Detritus*, vol. 28, pp. 28-40, 2024, doi: 10.31025/2611-4135/2024.19410.
- [16] S. Raut, N. U. I. Hossain, M. Kouhizadeh, y S. A. Fazio, «Application of artificial intelligence in circular economy: A critical analysis of the current research», *Sustain. Futur.*, vol. 9, p. 100784, jun. 2025, doi: 10.1016/j.sftr.2025.100784.
- [17] M. Bortz *et al.*, «AI in Process Industries – Current Status and Future Prospects», *Chem. Ing. Tech.*, vol. 95, n.º 7, pp. 975-988, 2023, doi: 10.1002/cite.202200247.
- [18] B. I. Oluleye, D. W. M. Chan, y P. Antwi-Afari, «Adopting Artificial Intelligence for enhancing the implementation of systemic circularity in the construction industry: A critical review», *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 35, pp. 509-524, ene. 2023, doi: 10.1016/j.spc.2022.12.002.
- [19] C. Delcea, Nica, Lonescu, Cibu, Tibrea, Lonut, Stefan, Bianca, Horatiu, «Mapping the Frontier: A Bibliometric Analysis of Artificial Intelligence Applications in Local and Regional Studies», ago. 2024, doi: 10.3390/a17090418.
- [20] A. Bianchini, Ross, Pellegrini, «Overcoming the Main Barriers of Circular Economy Implementation through a New Visualization Tool for Circular Business Models», nov. 2019, doi: 10.3390/su11236614.
- [21] A. Corallo, A. Di Prizio, M. Lazoi, y C. Pascarelli, «Economic Sustainability of Scrapping Electric and Internal Combustion Vehicles: A Comparative Multiple Italian Case Study», *World Electr. Veh. J.*, vol. 16, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2025, doi: 10.3390/wevj16010032.
- [22] M. Rusch, «Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review - Rusch - 2023 - Business Strategy and the Environment - Wiley Online Library», may 2022, doi: 10.1002/bse.3099.
- [23] M. S. Pathan, E. Richardson, E. Galvan, y P. Mooney, «The Role of Artificial Intelligence within Circular Economy Activities—A View from Ireland», *Sustainability*, vol. 15, n.º 12, Art. n.º 12, ene. 2023, doi: 10.3390/su15129451.
- [24] G. Ginda, «How to help the choice of waterproof insulation to be sustainable?», presentado en The 13th international scientific conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques”, Vilnius Gediminas Technical University, dic. 2019, doi: 10.3846/mbmst.2019.059.
- [25] C. ; Sandra; Ryan ; Frank; Owen; Laura; Neal; James; Graeme; Graeme; Mark D. Messina; van Eeuwijk; Tang; K. Truong., F. McCormick, Technow, Powell, Mayor, Gutterson, W. Jones, L. Hammer, Cooper, «Crop Improvement for Circular Bioeconomy Systems», Accedido: 1 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.13031/ja.14912>
- [26] T. Sakao y A. K. Nordholm, «Requirements for a Product Lifecycle Management System Using Internet of Things and Big Data Analytics for Product-as-a-Service», *Front. Sustain.*, vol. 2, ago. 2021, doi: 10.3389/frsus.2021.735550.
- [27] P. N. Kio, C. J. Anumba, y A. K. Ali, «Circular Economy Trends – Potential Role of Emerging Technologies», *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1101, n.º 6, p. 062005, nov. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1101/6/062005.
- [28] Z. Lei, S. Cai, L. Cui, L. Wu, y Y. Liu, «How do different Industry 4.0 technologies support certain Circular Economy practices?», *Ind. Manag. Data Syst.*, vol. 123, n.º 4, pp. 1220-1251, abr. 2023, doi: 10.1108/IMDS-05-2022-0270.
- [29] S. M. Correia; Nascimento, «Shaping a View on the Influence of Technologies on Sustainable Tourism», 2021, doi: 10.3390/su132212691.
- [30] P. Santos *et al.*, «Circular Material Usage Strategies and Principles in Buildings: A Review», *Buildings*, vol. 14, n.º 1, p. 281, ene. 2024, doi: 10.3390/buildings14010281.
- [31] Y. K. Dwivedi, A. Sharma, N. P. Rana, M. Giannakis, P. Goel, y V. Dutot, «Evolution of artificial intelligence research in *Technological Forecasting and Social Change*: Research topics, trends, and future directions», *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 192, p. 122579, jul. 2023, doi: 10.1016/j.techfore.2023.122579.
- [32] D. J. Langley, E. Rosca, M. Angelopoulos, O. Kamminga, y C. Hooijer, «Orchestrating a smart circular economy: Guiding principles for digital product passports», *J. Bus. Res.*, vol. 169, p. 114259, dic. 2023, doi: 10.1016/j.jbusres.2023.114259.
- [33] M. A. Reuter, «Digitalizing the Circular Economy: Circular», 2016, doi: 10.1007/s11663-016-0735-5.
- [34] M. Pallot, S. Fleury, B. Poussard, y S. Richir, «What are the Challenges and Enabling Technologies to Implement the Do-It-Together Approach Enhanced by Social Media, its Benefits and Drawbacks?», *J. Innov. Econ.*, n.º 40, pp. 39-80, ene. 2023.
- [35] A. D. Zisopoulos, G. K. Broni, N. D. Kartalis, y K. G. Panitsidis, «Research Articles - Invention Patents Equilibrium; Research Integration, Spatiotemporal Development Strategy, and Circular Economy», *WSEAS Trans. Bus. Econ.*, vol. 19, pp. 1956-1966, 2022, doi: 10.37394/23207.2022.19.175.
- [36] R. Agrawal, V. A. Wankhede, A. Kumar, S. Luthra, y D. Huisingh, «Progress and trends in integrating Industry 4.0 within Circular Economy: A comprehensive literature review and future research propositions», *Bus. Strategy Environ.*, vol. 31, n.º 1, pp. 559-579, 2022, doi: 10.1002/bse.2910.
- [37] B. I. Oluleye, D. W. M. Chan, y P. Antwi-Afari, «Adopting Artificial Intelligence for enhancing the implementation of systemic circularity in the construction industry: A critical review», *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 35, pp. 509-524, 2023, doi: 10.1016/j.spc.2022.12.002.
- [38] C. Delcea, Nica, Lonescu, Cibu, Tibrea, Lonut, Stefan, Bianca, Horatiu, «Mapping the Frontier: A Bibliometric Analysis of Artificial Intelligence Applications in Local and Regional Studies», ago. 2024, doi: 10.3390/a17090418.