

La inteligencia artificial en el ciclo de vida del producto

Una economía circular



DOI: 10.22201/fa.14058901p.2024.54.89982

por Andrés Fonseca
Mauricio Reyes
Vanessa Sattelle

RESUMEN La inteligencia artificial (IA) tiene un rol significativo en la gestión integral del ciclo de vida de los productos, permitiendo la promoción y la optimización de procesos sostenibles. Este artículo ofrece una perspectiva del ciclo de vida, mostrando sus diversas etapas y asociándose a los recursos de la IA. Además, se plantean desafíos y oportunidades destinados a establecer estrategias con el fin de intervenir en el diseño de productos alineados a los principios de la economía circular.

ABSTRACT Artificial Intelligence (AI) is pivotal in the holistic management of product life cycles, enhancing and refining sustainable processes. This article presents an overview of the life cycle, detailing its various phases and the integration of AI technologies. Furthermore, it highlights the challenges and opportunities that arise, proposing strategies to influence product design in harmony with circular economy principles.

1. Introducción

La inteligencia artificial (IA) es una tecnología capaz de analizar su entorno y tomar decisiones basadas en la información resultante. Esta disciplina nació en 1956 y ha evolucionado significativamente abarcando múltiples áreas de estudio que incluyen la simulación computacional del cerebro humano y el análisis de patrones sociales complejos en distintos escenarios.¹ La intervención de la IA en el desarrollo de nuevos productos está marcando de manera disruptiva a la innovación, la eficiencia, la sostenibilidad y la adecuación sociocultural. Esta tecnología tiene la capacidad de procesar y analizar grandes cantidades de datos permitiendo a las empresas ajustar sus productos para satisfacer las demandas actuales del mercado.

La implementación de la IA en el diseño industrial (DI) conlleva tanto beneficios como inconvenientes. Un beneficio es el procesamiento de datos para la identificación de patrones que pueden inspirar ideas creativas y soluciones de diseño óptimas. La IA contribuye al desarrollo de productos sostenibles, asistiendo durante el diseño y en la selección de materiales de bajo impacto ambiental, incluyendo la personalización de productos, ajustándose a las preferencias y necesidades específicas de los usuarios. En este artículo se presenta el concepto de «economía circular» y herramientas de IA que pueden apoyar en su implementación durante el ciclo de vida de un producto de diseño.

—

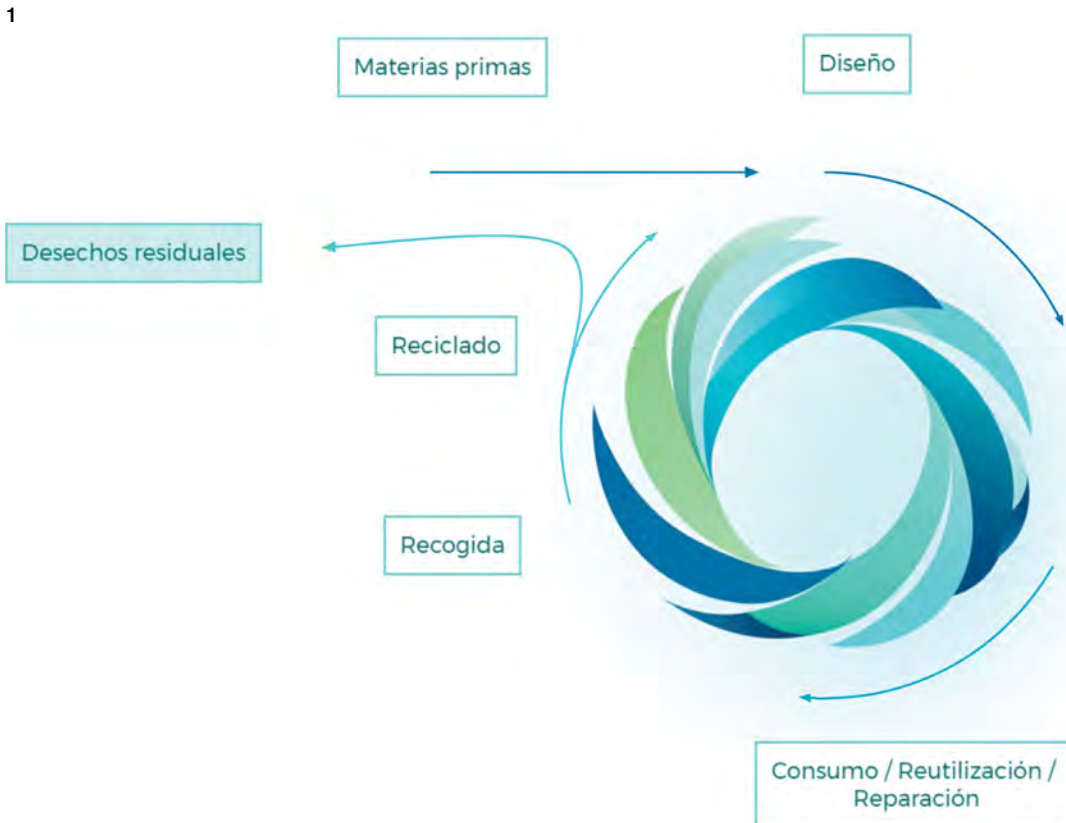
1.

Ciclo de la economía circular.

Fuente: Elaboración propia modificada de J. H. d. Faria, 2018.

2.

Actividades informales de reutilización. Imagen de los autores generada con inteligencia artificial (IA).





2. La economía circular y el ciclo de vida del producto

En la década de 1980, David W. Pearce y R. Kerry Turner desarrollaron un modelo económico del que surgió el concepto de economía circular.² Esta idea se introduce para describir un sistema en el que las interacciones entre la economía y el medio ambiente funcionan de manera similar a un ciclo cerrado, se trata de un enfoque que busca minimizar la pérdida de recursos y energía al fomentar la reutilización, el reciclaje y la regeneración de productos y materiales.

La economía lineal y la economía circular son modelos diferentes respecto de su enfoque sobre el uso de recursos y la gestión de residuos. Por un lado, en el modelo lineal, el paradigma residuos; por el otro, el circular se basa en los principios de «reducir, reutilizar, reciclar». Así, se busca minimizar la extracción de nuevos recursos naturales y promover la principal se basa en el concepto de «tomar, hacer, desechar», lo que implica una generación significativa de reutilización y el reciclaje de los materiales o productos. Los productos se diseñan para ser fácilmente reparados, reutilizados o reciclados, y los residuos se ven como recursos potenciales.

La economía circular tiene como meta incorporar mejoras en los procedimientos de producción y consumo con el fin de reducir la extracción

de recursos naturales y prevenir efectos negativos en los ecosistemas (véase la figura 1). Este modelo se enfoca en compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar, reciclar materiales y productos existentes durante el mayor tiempo posible. De esta forma, el ciclo de vida útil de los productos se extiende reduciendo al mínimo el desperdicio. Cuando un producto llega al final de su ciclo, sus materiales se reutilizan, remanufacturan o reciclan cuantas veces sea posible, otorgando así un valor adicional.

2

En países con ingresos per cápita bajos, los planteamientos de la economía circular han sido una práctica arraigada desde hace años. Esto se debe a que el valor inherente de los desechos y residuos ofrece oportunidades económicas en términos de recolección, separación y venta. En el contexto de México, la práctica de seleccionar, separar y vender diversos materiales es realizada por personas que se ocupan de buscar entre la basura: los llamados «pepenadores». También existen trabajadores informales que se dedican a la actividad de reciclaje, y asimismo reutilización, y se los puede encontrar en los mercados informales llamados «tianguis» (véase la figura 2). De esta manera, al desempeñar prácticas sostenibles, se reduce indirectamente la cantidad de residuos en los vertederos.

2.1 Economía circular en el diseño industrial

El diseño circular se basa en los principios de la economía circular: eliminar desperdicio y contaminación, circular productos y materiales, además de regenerar la naturaleza.³ Esto es representado en el diagrama «mariposa» (véase la figura 3) que divide el ciclo técnico y el biológico en niveles de bucles o cascadas.⁴ Los bucles de recuperación internos son los más valiosos porque requieren menos energía y recursos; mientras que los bucles externos requieren recuperación de piezas y reciclaje, lo cual representa un alto costo ambiental.

Existen estrategias para «estrechar, ralentizar y cerrar» los bucles dentro de la economía circular. Estrechar se refiere al uso económico de recursos y reducir el uso de los mismos en el diseño y producción; ralentizar pone el enfoque en diseñar productos de vida útil larga y en su reuso; cerrar el bucle se refiere a la fase de reciclaje que minimiza las pérdidas o fugas dentro del sistema.⁵ Mestre y Cooper⁶ proponen un «enfoque de diseño del ciclo de vida de múltiples bucles» que distingue entre el ciclo técnico y el biológico.

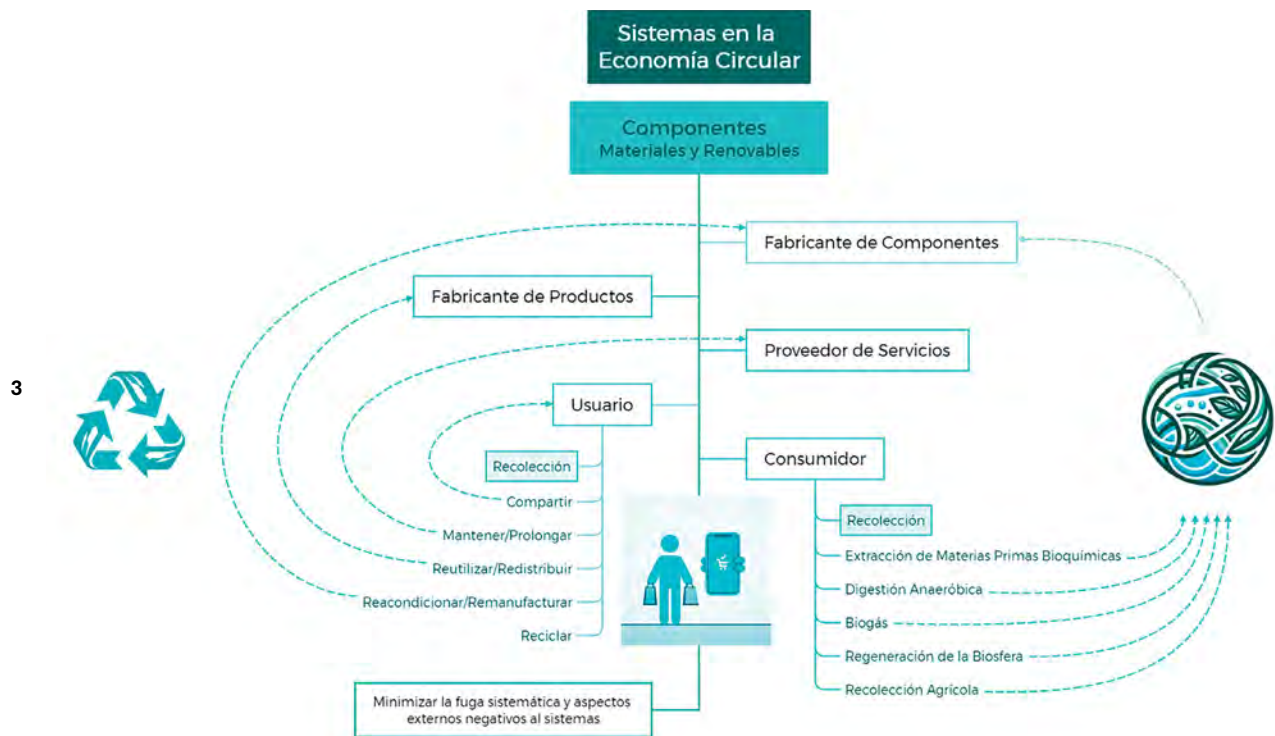
2. David W. Pearce y R. Kerry Turner, *Economics of Natural Resources and the Environment*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1990, pp. 29-42.

3. M. R. Berg y C.A Bakker, «A Product Design Framework for a Circular Economy», en *Product Lifetimes and the Environment. PLATE Conference*, Nottingham Trent University, 2015, pp. 365-379.

4. Ellen McArthur Foundation, <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>>.

5. Nancy M. P. Bocken et al., «Product Design and Business Model Strategies for a Circular Economy», *Journal of Industrial and Production Engineering*, vol. 33, núm. 5, 2016, pp. 308-320.

6. Ana Mestre y Tim Cooper, «Circular Product Design. A Multiple Loops Life Cycle Design Approach for the Circular Economy», *The Design Journal*, núm. 20, 2017, p. 1620.



3.

Diagrama Mariposa de sistemas de Economía Circular. Fuente: Elaboración propia modificada de EllenMcArthur Foundation, 2019.

4.

Concepto de ciclo de vida del producto. Fuente: Elaboración propia presentada anteriormente en el trabajo de Mauricio Reyes, Andrés Fonseca y Ricardo Cruz, con base en los trabajos de Paul H., Richard C. Fries, Arthur T. Johnson y en el trabajo de Ma, Junfeng, Gul E Okudan, Kremer, y Charles David, Ray.

Dentro del técnico plantean los enfoques de ralentizar y cerrar el ciclo, mientras que para el biológico se pueden usar estrategias de bucle bio-inspiradas (por ejemplo, a través de los principios de biomimesis) o bio-basadas (usando materiales naturales).

En el diseño existen distintos enfoques fundamentados en estas estrategias, como diseñar objetos para un uso prolongado, con su recirculación y su desmantelamiento⁷, o un diseño centrado en materiales biológicos. Hay un gran interés en estudiar el ciclo de vida del producto, así como en crear estrategias para optimizarlo. A continuación, se analiza tal ciclo a fin de considerar en qué aspectos puede la IA contribuir en su optimización.

2.2 El ciclo de vida del producto

A finales de la década de 1970, el ciclo de vida de un producto (CVP) se interpretó desde un punto de vista económico, descrito a partir de la introducción de un artefacto al mercado hasta su retiro, basado en el factor de ventas inicial, aumento de ganancias, madurez, estabilización, declive y retirada. Analizar cada etapa del ciclo de vida es crucial, ya que las decisiones tomadas en las primeras fases tienen un impacto directo en las etapas finales; además, su flujo debe ser gestionado con el menor número de variables. La fase final del CVP, que incluye el desmantelamiento y la

remoción de componentes, ofrece oportunidades para obtener múltiples beneficios, tanto económicos como ambientales.⁸

La fase de fin de vida útil (*end of life*, EOL) comienza después del desmontaje, entonces los componentes recuperados pueden ser reutilizados, remanufacturados, reciclados o desechados en vertederos especializados. El CVP, desde la perspectiva del DI, debe involucrar un conjunto de etapas interconectadas que van desde la investigación inicial y el desarrollo de conceptos hasta la fase de producción, comercialización, uso, mantenimiento y, finalmente, el retiro del producto.⁹ Los DI pueden integrar sus conocimientos en múltiples aspectos, incluyendo la viabilidad técnica, la calidad de la fabricación, la experiencia del usuario y la sostenibilidad ambiental, con el objetivo de garantizar la funcionalidad, la estética y la eficiencia en la fabricación.

Se muestra una versión de CVP que abarca diversas fases, comenzando con el diseño y finalizando en el desmantelamiento (véase la figura 4), se considera que el diseño del producto es la parte inicial, seguido de su desarrollo. Con el fin de garantizar su calidad y funcionalidad, el producto debe someterse a diversas pruebas. Posteriormente, el producto se fabrica físicamente y se prepara para ser transportado hasta el lugar donde se utilizará. Allí se realiza su instalación y se efectúan pruebas adicionales —en el mismo sitio— para confirmar su funcionamiento. Des-

7. Robert Bogue, «Design for Disassembly: a Critical Twenty-first Century Discipline», Gordon Lowe (ed.), *Assembly Automation*, vol. 27, núm. 4, 2007, pp. 285-289.

8. Ming-Chuan Chiu y Chih-Hsing Chu, «Review of sustainable product design from life cycle perspectives», *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, núm. 13, 2012, p. 1962.

9. Paul H. King, Richard C. Fries y Arthur T. Johnson, *Design of Biomedical Devices and Systems*, 4ª ed., CRC Press, 2018, p. 95.

pués de su preparación para venta y distribución, se plantea una fase de operación ya que, básicamente, el producto se utilizará hasta cumplir con su función. Durante este periodo, se llevan a cabo tareas de limpieza y mantenimiento a fin de conservar su rendimiento. Al final de su uso, el producto se retira del lugar de operación.

Finalmente, el desmantelamiento se subdivide en varias etapas: *a)* remanufactura, cuando el producto es renovado, *b)* reúso, el producto o sus componentes se ofrecen en calidad de usado, *c)* recuperación de piezas o materiales, *d)* reciclaje, implica la transformación de los materiales para su reutilización, *e)* disposición, consiste en eliminar de manera controlada los residuos, y *f)* relleno sanitario, se ocupa de aquellos residuos que no se pueden procesar, los cuales son acumulados y reciben un tratamiento específico que reduzca su impacto ambiental.

3. Implementación de la economía circular y la inteligencia artificial

La IA ofrece oportunidades para optimizar la eficiencia y la sostenibilidad, facilitando la transición hacia modelos circulares. En las siguientes décadas, se espera que la IA se integre formal-

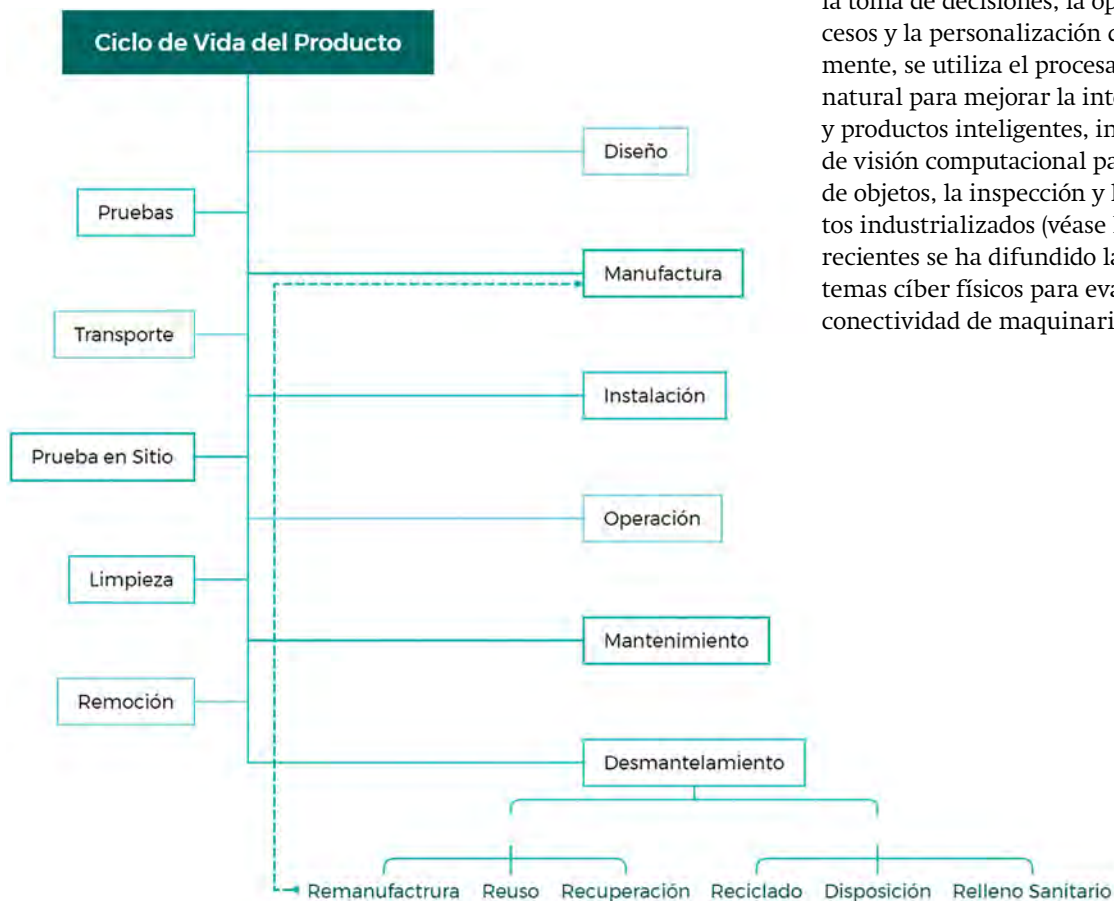
mente a los modelos circulares de producción, mejorando así la gestión de recursos y la sostenibilidad de las cadenas de suministro, y fomentando las economías locales y descentralizadas. Se prevé que este avance conlleve desafíos éticos además de regulatorios.¹⁰

3.1 Integración de la inteligencia artificial al ciclo de vida del producto

La industria 4.0 tiene una importante relevancia en el CVP al reestructurar los modos productivos y las cadenas de suministro actuales. La IA, junto con el aprendizaje automático integrado a los sistemas computacionales, tiene un impacto favorable en varios sectores dirigidos a perfeccionar los procesos de fabricación, los sistemas de control y el mantenimiento de los equipos (mantenimiento predictivo). También, la IA tiene un importante rol durante la toma de decisiones y análisis de datos. Los avances en robótica, en la integración de sistemas ciber físicos y computación ubicua [internet de las cosas (IoT)] han resultado esenciales para la transformación de la industria actual.¹¹

La IA implementada en el CVP está encauzada a la mejora, la eficiencia y la fabricación en las etapas de diseño, brindando apoyo también durante el servicio del producto. Además, ayuda en la toma de decisiones, la optimización de los procesos y la personalización de los objetos. Actualmente, se utiliza el procesamiento del lenguaje natural para mejorar la interacción entre personas y productos inteligentes, incluyendo tecnologías de visión computacional para el reconocimiento de objetos, la inspección y la calidad de los productos industrializados (véase la figura 5). En épocas recientes se ha difundido la incorporación de sistemas ciber físicos para evaluar el desempeño y la conectividad de maquinaria automatizada.

4



10. J. L. Akinode y S. A. Oloruntoba, «Artificial Intelligence in the Transition to Circular Economy», *American Journal of Engineering Research*, núm. 9, 2020, pp. 185-190.

11. Zohaib Jan, Farhad Ahamed, Wolfgang Mayer, Niki Patel, Georg Grossmann, Markus Stumtner y Ana Kuusk, «Artificial Intelligence for Industry 4.0: Systematic Review of Applications, Challenges, and Opportunities», *Expert Systems with Applications*, núm. 216, 2023.



5

ETAPA DE DISEÑO

El Autodesk Fusion 360 utiliza la IA para optimizar el proceso de diseño de productos, ofreciendo capacidades de simulación avanzada, evaluaciones de rendimiento y diseño generativo. Adobe Sensei incorpora herramientas de diseño para anticipar preferencias y automatizar procesos repetitivos. SolidWorks incluye elementos de IA para mejorar la creación de prototipos virtuales y el análisis estructural. La IA generativa de ChatGPT se emplea para generar ideas (*brainstorming*) y puede sugerir conceptos innovadores o mejoras a productos existentes; además, ayuda a entender las dinámicas del mercado y las preferencias de los consumidores, ya que proporciona descripciones detalladas y características potenciales. Onshape se destaca como un programa para la creación tridimensional, opera a través de la nube y ofrece la capacidad de colaboración en tiempo real durante el proceso de diseño, además de ser compatible con una amplia variedad de sistemas operativos y dispositivos. Genie Luma AI es una plataforma especializada en la producción de escenas y modelos 3D interactivos, permite a los usuarios generar modelos 3D a partir de descripciones textuales y videos; esta tecnología se encuentra en desarrollo.

ETAPA DE DESARROLLO

MATLAB y Simulink son herramientas que ofrecen entornos dedicados a la realización de simulaciones y análisis predictivos basados en IA. ANSYS brinda un software de simulación que se apoya en la IA para anticipar el comportamiento de los materiales y componentes bajo condiciones de uso reales.

ETAPA DE PRUEBAS

Una herramienta que facilita la automatización de pruebas de software es Selenium, pues incorpora la IA para optimizar la detección de fallas y defectos. Por otro lado, Testim.io emplea la IA en la creación, ejecución y mantenimiento de pruebas automatizadas destinadas a aplicaciones web.

5.

Visión computacional para separación de desechos. Imagen de los autores generada con IA.

6.

Fases del ciclo de vida del producto y la intervención de la inteligencia artificial. Fuente: Elaboración propia.

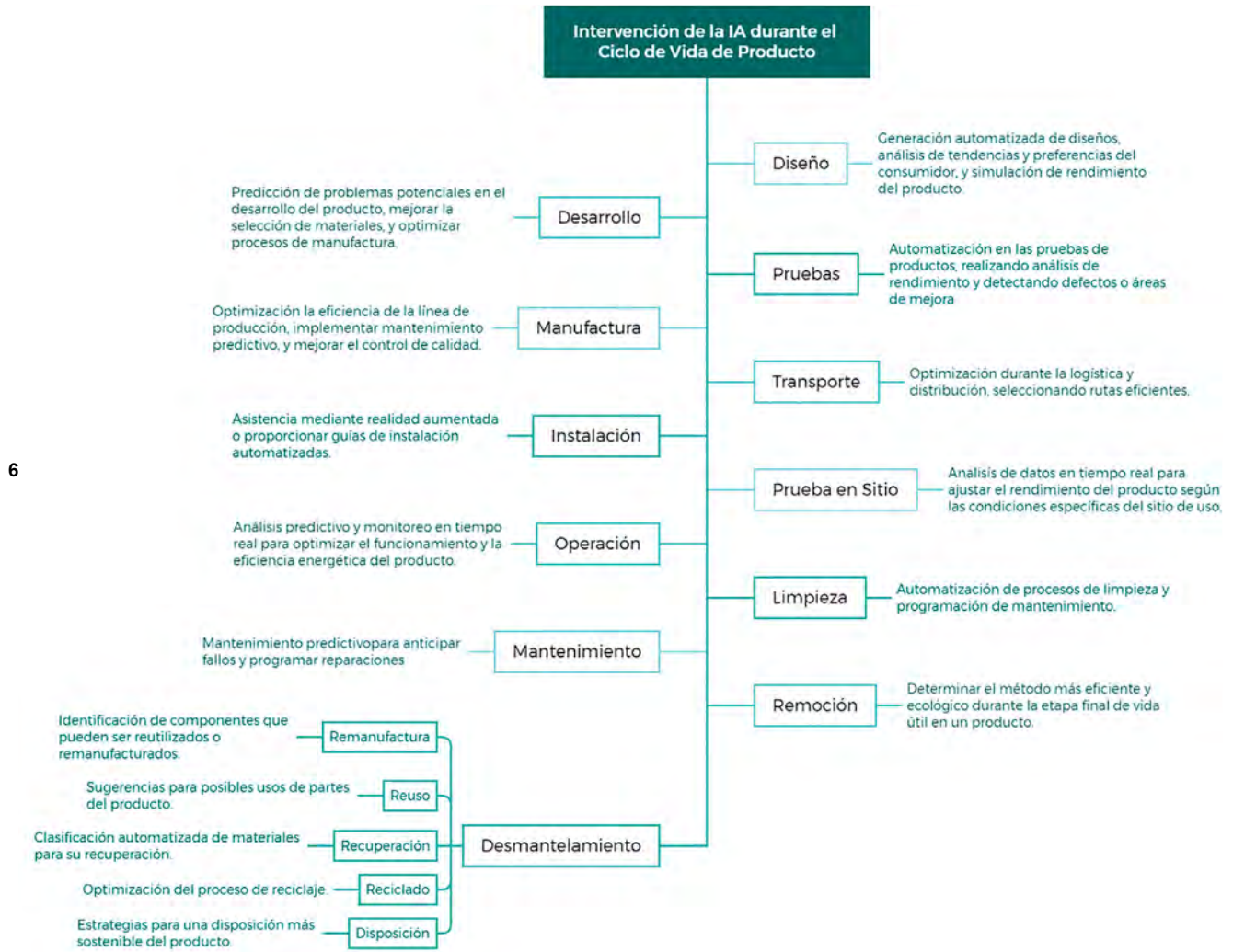
7.

Tecnologías relacionadas con la inteligencia artificial y su posible aplicación dentro ciclo de vida del producto. Fuente: Elaboración propia.

El diseño generativo es otra herramienta en el desarrollo de productos, se emplea para crear conceptos con necesidades específicas, tales como el tipo de material y los procesos de fabricación. Se aplican modelos computacionales para simular y optimizar el diseño, seguido de la generación automática de múltiples iteraciones del objeto digital mediante un software especializado. Los diseños seleccionados son susceptibles al prototipado para ejecutar pruebas y lograr su posterior optimización, previo a la fabricación. Durante los años venideros, se espera que la IA sea clave en la transición hacia una economía circular (véase la figura 6) basada en herramientas y análisis avanzados acordes con las necesidades locales (véase la figura 7).

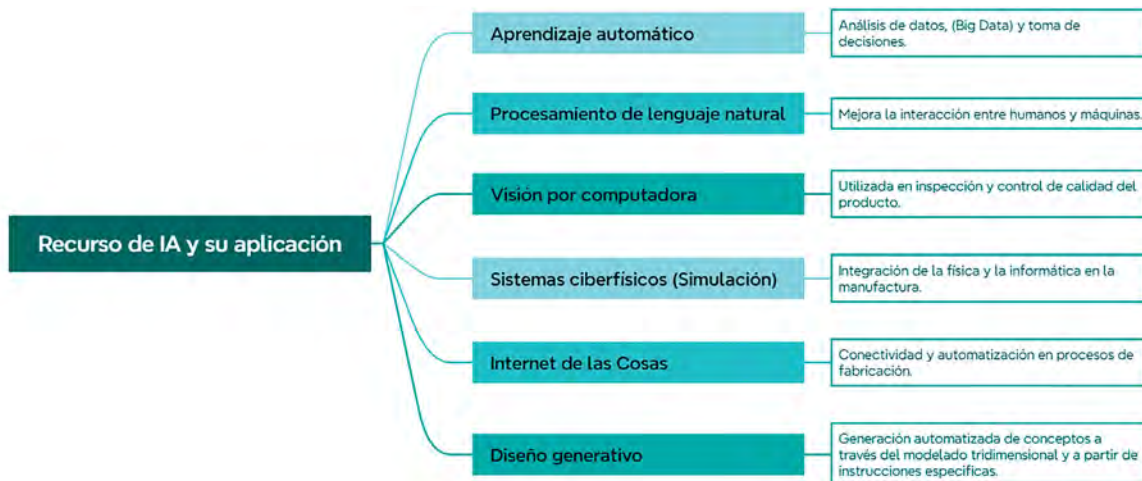
3.2 Programas y recursos computacionales

Actualmente, existe un notable incremento en el desarrollo de recursos computacionales para incorporar la IA en el CVP (véase la figura 8), aunque tales recursos varían respecto de los principios de la economía circular y no están interconectados. Algunos servicios relacionados con las diferentes fases del ciclo (como desarrollo, logística, mantenimiento, pruebas, certificación y desmantelamiento) son proporcionados por la iniciativa privada. Se presentan, a continuación, ejemplos de aplicaciones basadas en IA que pueden integrarse a las diferentes etapas (véase la figura 9).



6

«Los sistemas inteligentes son capaces de favorecer el trabajo colaborativo entre la IA y las personas».



7

8



8. Intervención de la IA en el ciclo de vida del producto. Fuente: Imagen de los autores generada con inteligencia artificial.

9. Programas computacionales basados en IA que pueden alinearse en el ciclo de vida del producto. Fuente: Elaboración propia.

ETAPA DE MANUFACTURA

Un sistema operativo orientado al internet de las cosas (IoT) es Siemens MindSphere, el cual aprovecha la IA para perfeccionar los procesos de fabricación mediante la evaluación de datos de producción. Por su parte, Predix de GE Digital es una plataforma que utiliza la IA con el propósito de aumentar la eficiencia en la producción y de habilitar el mantenimiento predictivo.

ETAPA DE TRANSPORTE

SAP IBP (Integrated Business Planning) es una aplicación informática que aprovecha la IA para mejorar la planificación logística y optimizar la cadena de suministro. Por otro lado, Oracle Transportation Management proporciona soluciones de gestión de transporte que están potenciadas por la IA, lo que permite la optimización de las rutas y la planificación de cargas.

ETAPA DE INSTALACIÓN

Augmentir es una plataforma que combina la realidad aumentada con la IA para brindar asistencia en operaciones de instalación complicadas y en la capacitación de los empleados. PTC Vuforia ofrece herramientas de realidad aumentada junto a las de la IA para ayudar en la instalación y el mantenimiento de los equipos.

ETAPA DE PRUEBA EN SITIO

IIOT ThingWorx de PTC es una plataforma de IoT que hace uso de la IA para llevar a cabo análisis de datos en tiempo real, con el fin de mejorar el rendimiento en el entorno. Fluke Connect es un software que combina herramientas de IoT y de análisis de IA para pruebas y diagnósticos en sitio.

ETAPA DE OPERACIÓN

IBM Watson IoT Platform posibilita la supervisión y el análisis de datos de las operaciones mediante el empleo de IA. Por otro lado, Google Cloud AI ofrece herramientas de análisis de datos y aprendizaje automático para potenciar la eficacia de las operaciones comerciales.

ETAPA DE LIMPIEZA

BrainOS Clean Suite de Braian Corp potencia los robots de limpieza autónomos mediante IA, en aras de mejorar la eficacia de la limpieza y optimizar las rutas en diversos tipos de ambientes.

ETAPA DE MANTENIMIENTO

El sistema de gestión de mantenimiento UpKeep Technologies, Inc. hace uso de la IA para anticipar posibles fallos y programar el mantenimiento preventivo. Fiix de Rockwell Automation es un software de mantenimiento que cuenta con la asistencia de IA, lo que facilita la planificación e incrementa la optimización de las tareas.

ETAPA DE REMOCIÓN

AMP Sortation es un sistema de selección de desechos que utiliza IA para perfeccionar la eficiencia del reciclaje y la eliminación de productos al final de su ciclo de vida.

ETAPA DE DESMANTELAMIENTO

Utilizando IA para operar robots que clasifican y reciclan desechos, ZenRobotics de Terex mejora el proceso de desmontaje y recuperación de materiales. Optoro emplea la IA para direccionar productos hacia canales de reventa, donación o reciclaje. Para cada una de las áreas de la etapa

de desmantelamiento, existen diferentes programas y recursos:

a) *Remanufactura*. Un sistema de clasificación impulsado por IA es OptoSort, que detecta y categoriza piezas susceptibles de ser reutilizadas o sometidas a remanufactura mediante tecnología de visión por computadora. Cognex Software VisionPro puede reconocer componentes específicos idóneos para el proceso de remanufactura.

b) *Reúso*. IBM Watson Assistant tiene la capacidad de examinar la información de los productos y proponer potenciales empleos adicionales basados en las características y el estado de las partes. El sistema Globalese aplica la IA para detectar oportunidades de reutilización de componentes en distintos sectores productivos.

c) *Recuperación*. ZenRobotics de Terex emplea la IA para automatizar el proceso de clasificación y separación de materiales reciclables en centros de recuperación. El sistema de reconocimiento de materiales AMP Sortation está diseñado para identificar y categorizar diversos tipos de materiales destinados a la recuperación.

d) *Reciclado*. Greyparrot se utiliza para la categorización de desechos. El sistema Recycleye integra la IA y la visión por computadora para re-

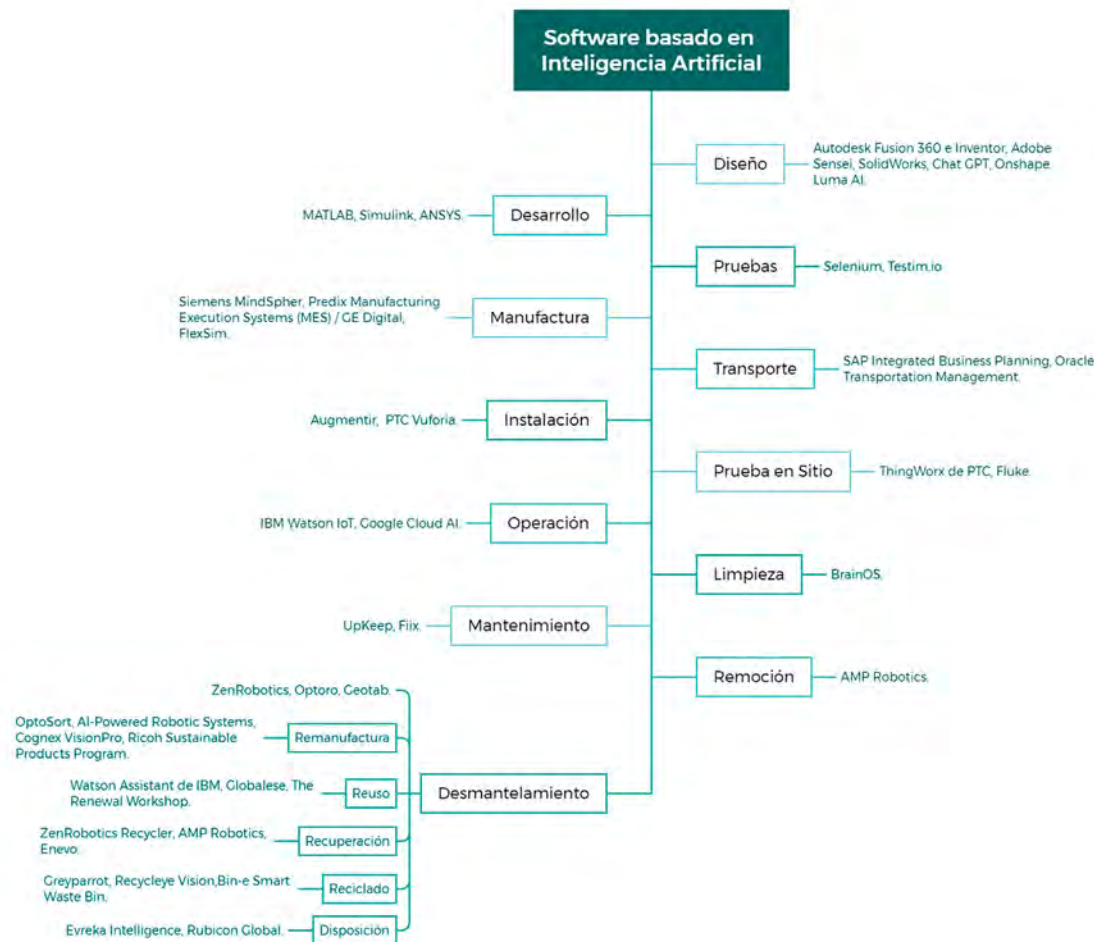
conocer y clasificar materiales reciclables en cintas transportadoras.

e) *Disposición*. Evreka Waste Dashboard emplea la IA con el fin de mejorar la administración de desechos y ofrecer recomendaciones sobre las estrategias de disposición. Por su parte, utilizando el análisis para la gestión de residuos, Rubicon Technologies proporciona sugerencias acerca de métodos de disposición.

4. Desafíos y oportunidades de la inteligencia artificial en la economía circular

El proceso de diseño está transformándose hacia la creación de sistemas de productos y servicios sostenibles. El rol del diseñador está cambiando y se requieren nuevos conocimientos especializados sobre materiales, ciclos y procesos (véase la figura 10). Sumter y sus colegas analizan el rol estratégico que pueden tener los diseñadores de producto en la economía circular y mencionan que las competencias a desarrollar son: 1) la habilidad para desarrollar simultáneamente tanto el producto como un modelo de negocio circular; y 2) la habilidad para anticipar la oferta circular y su evolución a lo largo de múltiples ciclos de vida.¹²

9



12. Deborah Sumter, Conny Bakker y Ruud Balkenende, «The Role of Product Design in Creating Circular Business Models: a Case Study on the Lease and Refurbishment of Baby Strollers», *Sustainability*, vol. 10, núm. 7, 2018, p. 2415.

La IA puede ayudar a resolver problemas complejos, a elegir componentes y materiales, a operar modelos de negocio y a optimizar la infraestructura para asegurar los flujos de materiales y productos.¹³ Además, se considera una herramienta útil para obtener retroalimentación, facilitando la realización de prototipos rápidos, diseño iterativo de ciclos y obtención de requerimientos para acelerar la transición hacia mejores modelos circulares.¹⁴ La IA puede ser una herramienta para cerrar los bucles, mejorando las cadenas de suministro y operaciones de logística, además de aportar datos a la fase de diseño e intervenir durante el desmantelamiento y el reciclaje. También puede usar múltiples datos con la finalidad de tomar decisiones sobre el inventario, el precio y la demanda. Ayuda en procesos de logística inversa, cuando los productos se recolectan del usuario y regresan al productor.¹⁵

En un futuro, la IA podría desarrollarse a un nivel donde los diseñadores definen las metas de optimización, entregando información a las bases de datos a fin de obtener productos más adecuados. Verganti y Vendraminelli mencionan que el desarrollo de un objeto de diseño debería modificarse a modo de bucle (*problem solving loop*) mediante la IA. Esto significaría un cambio en el enfoque del diseño y el proceso, pues el diseñador se movería de la resolución de problemas a la gestión de bucles.¹⁶ Sin embargo, existe el riesgo de cometer errores en la manipulación de los datos, de tener sesgos durante el entrenamiento de la IA y carecer de diversidad en el resultado. Deben existir regulaciones para asegurar los beneficios del empleo de estas tecnologías, incluyendo guías para el uso de los datos base.^{17 y 18}

El factor humano es crucial en la economía circular, pues la instrumentación de la IA puede generar el desplazamiento de la fuerza laboral encargada de la selección, separación y venta de residuos, además de otros actores que podrían ver afectada su contribución. No obstante, los sistemas inteligentes son capaces de favorecer el trabajo colaborativo entre la IA y las personas, ejemplo de esto es el efecto de la creatividad humana derivado de la IA generativa, la cual ha cambiado drásticamente el trabajo de artistas y diseñadores.¹⁹



La economía circular en sí misma es un desafío complejo, ya que a nivel social persiste tanto una falta de conciencia generalizada como una comprensión sobre su utilidad y principios. Los retos económicos son significativos, como las inversiones y la ausencia de apoyo financiero más evidente en países con bajo desarrollo. Otros elementos a considerar son los obstáculos ambientales, la ausencia de programas, la falta de tecnología, la capacidad de equipamiento y los aspectos legislativos. Ante tales escenarios, la IA puede ayudar a reducir las barreras en la implementación de la economía circular mediante tecnologías que faciliten estrategias y políticas de gobernanza.

13. Ellen MacArthur Foundation, «Artificial intelligence and the Circular Economy: AI as a Tool to Accelerate the Transition», Ellen MacArthur Foundation, 2019.

14. Malahat Ghoreishi y Ari Happonen, «New Promises AI Brings into Circular Economy Accelerated Product Design: a Review on Supporting Literature», E. Baltrėnaitė-Gedienė y C. Iticescu (eds.), *E3S Web of Conferences*, vol. 158, 2020a.

15. Matthew Wilson, Jeannette Paschen y Leyland Pitt, «The Circular Economy Meets Artificial Intelligence (AI): Understanding the Opportunities of AI for Reverse Logistics», *Management of Environmental Quality: an International Journal*, vol. 33, núm. 1, 2022, pp. 9-25.

16. Roberto Verganti, Luca Vendraminelli y Marco Iansiti, «Innovation and Design in the Age of Artificial Intelligence», *Journal of Product Innovation Management*, vol. 37, núm. 3, 2020, pp. 212-227.

17. Malahat Ghoreishi y Ari Happonen, *op. cit.*

18. Huw Roberts, *et al.*, «Artificial Intelligence in Support of the Circular Economy: Ethical Considerations and a Path Forward», *AI & Society*, 2022.

19. Vanessa Sattelle, Mauricio Reyes y Andrés Fonseca, «La inteligencia artificial generativa en el proceso creativo y en el desarrollo de conceptos de diseño», *UMÁTICA. Revista sobre Creación y Análisis de la Imagen*, núm. 6, diciembre, 2023.



10

«La IA puede ayudar a entender, ordenar y procurar la adecuada integración de todos los actores».

10.

Interacción IA. Diseñador en la economía circular. Fuente: Imagen propia generada con inteligencia artificial.

5. Conclusión

El estudio sobre el impacto de la IA en el CVP destaca resultados importantes para la sociedad y la industria. La necesidad de habilidades innovadoras y multidisciplinarias en el diseño industrial es fundamental para abordar los desafíos planteados, sobresaliendo la importancia de la economía circular. Este método mejora la eficiencia y la sostenibilidad, además de fomentar la creatividad al permitir la optimización de metas y la solución de problemas mediante bucles de resolución. La IA facilita la toma de decisiones, el desarrollo de productos y la realización de ajustes basados en retroalimentación, al promover la eficiencia sustentable. No obstante, es crucial que los diseñadores conozcan la procedencia y el procesamiento de los datos utilizados por la IA para evitar resultados no deseados.

En economías en desarrollo, la economía informal juega un papel importante en la ciclicidad y la IA puede ayudar a entender, ordenar y procurar la adecuada integración de todos los actores. La colaboración entre el diseño industrial y la IA es esencial para un futuro sostenible, donde se promueva la interconexión de tecnologías que satisfagan eficazmente las necesidades humanas. La investigación futura debe centrarse, entonces, en adaptar el diseño circular a contextos locales, es decir, desarrollar productos que sean tanto sostenibles como adecuados para necesidades específicas. Esta colaboración e integración debe sustentarse en una concepción ética cimentada en lo humano, ofreciendo un camino hacia una mayor eficiencia, basada en un desarrollo interdisciplinario con adaptaciones locales para maximizar sus beneficios a largo plazo.

REFERENCIAS

- Akinode, J. L., y S. A. Oloruntoba
2020 «Artificial Intelligence in the Transition to Circular Economy», *American Journal of Engineering Research*, núm. 9, pp. 185-190.
- Bocken, Nancy M. P., Ingrid de Pauw, Conny Bakker y Bram van der Grinten
2016 «Product Design and Business Model Strategies for a Circular Economy», *Journal of Industrial and Production Engineering*, vol. 33, núm. 5, pp. 308-320, <<https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>>.
- Bogue, Robert
2007 «Design for Disassembly: a Critical Twenty-first Century Discipline», Gordon Lowe (ed.), *Assembly Automation*, vol. 27, núm. 4, pp. 285-289, <<https://doi.org/10.1108/01445150710827069>>.
- Chiu, Ming-Chuan y Chih-Hsing Chu
2012 «Review of sustainable product design from life cycle perspectives», *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, núm. 13, pp. 1259-1272, <<https://doi.org/10.1007/s12541-012-0169-1>>.
- Ellen MacArthur Foundation
2019 «Artificial intelligence and the Circular Economy: AI as a Tool to Accelerate the Transition», Ellen MacArthur Foundation, <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>>.
- Ghoreishi, Malahat, y Ari Happonen
2020a «New Promises AI Brings into Circular Economy Accelerated Product Design: a Review on Supporting Literature», E. Baltrėnaitė-Gedienė y C. Iticescu (eds.), *E3S Web of Conferences*, vol. 158, <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015806002>>.
- 2020b «Key Enablers for Deploying Artificial Intelligence for Circular Economy Embracing Sustainable Product Design: Three Case Studies», Selangor (Darul Ehsan), Malasia, <<https://doi.org/10.1063/5.0001339>>.
- Jan, Zohaib, Farhad Ahamed, Wolfgang Mayer, Niki Patel, Georg Grossmann, Markus Stumptner y Ana Kuusk
2023 «Artificial Intelligence for Industry 4.0: Systematic Review of Applications, Challenges, and Opportunities», *Expert Systems with Applications*, núm. 216, abril, <<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119456>>.
- King, Paul H., Richard C. Fries y Arthur T. Johnson
2018 *Design of Biomedical Devices and Systems*, 4a ed., CRC Press.
- Mestre, Ana, y Tim Cooper
2017 «Circular Product Design. A Multiple Loops Life Cycle Design Approach for the Circular Economy», *The Design Journal*, núm. 20, <<https://doi.org/10.1080/14606925.2017.1352686>>.

- Nadimpalli, Meenakshi
2017 «Artificial Intelligence Risks and Benefits», *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, vol. 6, núm. 6.
- Pearce, David, y Kerry Turner
1990 *Economics of Natural Resources and the Environment*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- Reyes, Mauricio, Andrés Fonseca y Ricardo Cruz
2022 «Consideraciones en el diseño de robots para la atención médica en el mundo post COVID-19», *Cultura Científica y Tecnológica*, vol. 19, núm. 1, <<https://doi.org/10.20983/culcyt.2022.1.3.3>>.
- Roberts, Huw, *et al.*
2022 «Artificial Intelligence in Support of the Circular Economy: Ethical Considerations and a Path Forward», *AI & Society*.
- Russell, Stuart J., y Peter Norvig
2008 *Inteligencia artificial: un enfoque moderno*, 2a ed., Madrid, Pearson Educación.
- Sattele, Vanessa, Mauricio Reyes y Andrés Fonseca
2023 «La inteligencia artificial generativa en el proceso creativo y en el desarrollo de conceptos de diseño», *UMÁTICA. Revista sobre Creación y Análisis de la Imagen*, núm. 6, diciembre, <<https://doi.org/10.24310/umatica.2023.v5i6.17153>>.
- Sumter, Deborah, Conny Bakker y Ruud Balkenende
2018 «The Role of Product Design in Creating Circular Business Models: a Case Study on the Lease and Refurbishment of Baby Strollers», *Sustainability*, vol. 10, núm. 7, <<https://doi.org/10.3390/su10072415>>.
- Verganti, Roberto, Luca Vendraminelli y Marco Iansiti
2020 «Innovation and Design in the Age of Artificial Intelligence», *Journal of Product Innovation Management*, vol. 37, núm. 3, pp. 212-227, <<https://doi.org/10.1111/jpim.12523>>.
- Wilson, Matthew, Jeannette Paschen y Leyland Pitt
2022 «The Circular Economy Meets Artificial Intelligence (ai): Understanding the Opportunities of ai for Reverse Logistics», *Management of Environmental Quality: an International Journal*, vol. 33, núm. 1, pp. 9-25, <<https://doi.org/10.1108/MEQ-10-2020-0222>>.