



SOSTENIBILIDAD INTELIGENTE:
CÓMO LA IA CONVIERTE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN

RENTABILIDAD EMPRESARIAL

Autor: Rodrigo Ramírez-Pisco. PHD.

• • •



Autor

Rodrigo Ramírez Pisco, PhD

Director de Investigación e Innovación en la Universitat Carlemany | Coordinador de Redes Iberoamericanas | Especialista en Sostenibilidad, Energía e Inteligencia Artificial Aplicada

Investigador con más de dos décadas de experiencia internacional en sostenibilidad, eficiencia energética, inteligencia artificial aplicada y desarrollo territorial. Ha liderado redes de cooperación científica como TRAPICIO y RITMUS (CYTED), promoviendo la integración de tecnologías habilitadoras, educación ética y desarrollo sostenible en Iberoamérica.

Cuenta con una sólida trayectoria como directivo y consultor en el sector energético y en proyectos de sostenibilidad en diversos países de Iberoamérica. Ha sido profesor invitado en instituciones de prestigio y es reconocido por su labor como conferencista y divulgador en temáticas tecnológicas, ambientales y de desarrollo sostenible.

Su carrera combina la dirección académica de programas de máster y grado, la coordinación de proyectos en instituciones como la Universitat Politècnica de Catalunya y la Universitat Carlemany, y la implementación de soluciones innovadoras en sectores estratégicos como la energía, la economía circular y la educación superior.

Comprometido con la articulación entre ciencia, industria y sociedad, impulsa modelos de gestión orientados al bien común, la formación en competencias del siglo XXI y la transformación digital sostenible.



Resumen

La economía circular no es solo una idea moderna: es una necesidad urgente. En un mundo donde los recursos naturales se agotan cada vez más rápido y el planeta enfrenta crisis climáticas cada vez más severas, este modelo económico nos ofrece una alternativa real. Se trata de diseñar sistemas donde nada se desperdicie, donde los productos tengan una vida útil más larga, y donde los materiales puedan reincorporarse al ciclo productivo una y otra vez.

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) emerge como un aliado poderoso. No solo mejora procesos industriales, sino que también ayuda a las empresas a reducir costos, mejorar eficiencia energética y construir modelos de negocio responsables y sostenibles.

Este artículo explora cómo la IA puede aplicarse en cada etapa del ciclo de vida de los productos dentro de la economía circular. Mostramos ejemplos reales, analizamos costos y beneficios, y demostramos cómo esta combinación tecnológica no solo cumple objetivos ambientales, sino que también impulsa la rentabilidad de las organizaciones.

Finalmente, se presentan métodos avanzados de evaluación económica, casos prácticos y recomendaciones estratégicas para que las empresas puedan adoptar este nuevo paradigma sin sacrificar su competitividad.





Índice

Resumen	02
Introducción:	
Definición de economía circular y su importancia en el desarrollo sostenible.	04
Una visión gráfica del modelo de economía circular	06
Inteligencia artificial como catalizador de eficiencia y optimización de recursos.	08
Una visión gráfica de la economía Circular	12
Aplicación de la IA en las Etapas de la Economía Circular	15
Modelos de Evaluación Económica del Costo de la IA en Proyectos de Economía Circular	28
Conclusiones Técnicas y Recomendaciones Estratégicas	32
Hagamos un análisis concreto: Hacia un nuevo paradigma en la industria móvil: del modelo lineal a la sinergia entre economía circular e inteligencia artificial	37
Reflexión Final:	
Economía Circular como Núcleo Estratégico y la IA como Multiplicador de Valor Empresarial	47
Anexo 1. Aplicación IA para la Economía Circular. Ejemplos en Empresa.	48
Referencias	50





Introducción

Definición de economía circular y su importancia en el desarrollo sostenible

Imagina un mundo donde nada se desperdicia, donde los productos no acaban en un vertedero después de usarse una sola vez, sino que vuelven a la vida útil una y otra vez. Ese es el corazón de la economía circular.

No es algo nuevo, pero sí es urgente. Con los recursos naturales agotándose cada vez más rápido, el planeta necesita urgentemente dejar atrás el modelo tradicional de “tomar, hacer, tirar”. En lugar de eso, debemos construir sistemas donde todo tenga un propósito, incluso después de cumplir su función inicial. Y aquí entra en juego un aliado inesperado... pero poderoso: la inteligencia artificial (IA) .

La IA no solo está cambiando la forma en que vivimos, también puede ayudarnos a cuidar el planeta mientras las empresas ganan dinero. Suena contradictorio, ¿no? Pero en este artículo vamos a ver cómo funciona esta conexión entre tecnología, medio ambiente y negocio. Pero antes de seguir, hablemos un poco más sobre qué es exactamente la economía circular.

¿Qué significa economía circular?

La economía circular no es simplemente una moda o un concepto abstracto. Es un modelo económico que busca transformar la forma en que producimos, consumimos y gestionamos los recursos. Se basa en tres principios fundamentales:

- Preservar y mejorar el capital natural: esto quiere decir usar menos materiales vírgenes, regenerar ecosistemas y evitar el agotamiento de recursos.
- Optimizar el uso de los recursos: lograr que los productos duren más, se reutilicen, reparen y reciclen antes de considerarlos como desechos.
- Mejorar la efectividad del sistema: diseñar desde el principio productos y procesos que minimicen residuos, contaminación y emisiones.

Este modelo contrasta directamente con el modelo lineal tradicional, que sigue la lógica de “extraer – fabricar – usar – desechar”. Un modelo que, aunque ha impulsado décadas de crecimiento económico, también ha llevado al planeta al límite en términos de contaminación, cambio climático y pérdida de biodiversidad.





Origen y evolución del concepto

Aunque el término "economía circular" ha cobrado popularidad en la última década, sus raíces están profundamente arraigadas en ideas del siglo XX relacionadas con el pensamiento sistémico y la ecología industrial.

Algunos hitos importantes en su evolución son:

- La economía del desempeño, propuesta por Walter Stahel, que destacaba la importancia de mantener los productos en uso tanto tiempo como sea posible.
- El concepto de ecología industrial, desarrollado por Frosch y Gallopoulos, que introdujo la idea de que los residuos de una industria pueden convertirse en insumos para otra.
- El diseño Cradle to Cradle (del vientre a la cuna), ideado por Michael Braungart y William McDonough, que promueve productos diseñados desde el inicio para ser completamente reciclables o biodegradables.

Estos enfoques han ido conformando lo que hoy entendemos como economía circular: un modelo que no solo busca reducir daños, sino crear valor a partir de ellos.



Una visión gráfica del modelo de economía circular

Figura 1.

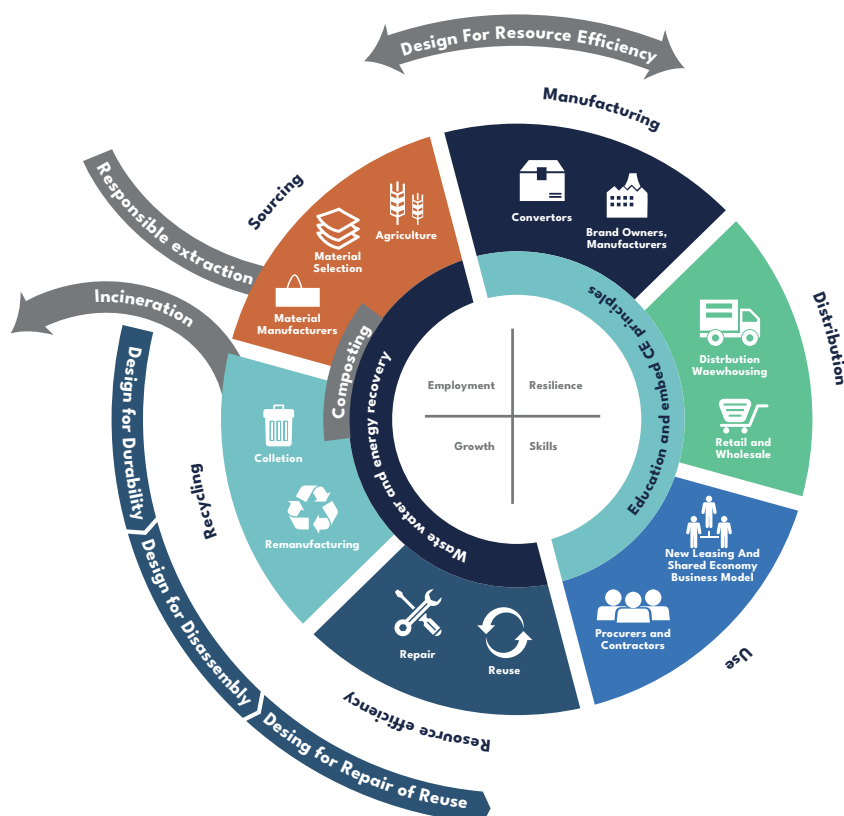


Figura 1. Modelo de Economía Circular. Fuente: aitex.es

El modelo representado en la Figura 1 ilustra esta lógica circular mediante una secuencia articulada de fases y principios, en cuyo centro se sitúan los efectos sociales y económicos esperados: empleo, resiliencia, crecimiento y desarrollo de habilidades.

Estos impactos no son subproductos casuales, sino resultados deliberadamente diseñados desde una perspectiva que entrelaza sostenibilidad, innovación y equidad.

El ciclo comienza con la extracción responsable de materias primas, pasando por etapas de selección de materiales, agricultura sostenible y fabricación primaria, donde el diseño juega un papel esencial.

El diseño para la eficiencia de recursos, la durabilidad, la reparabilidad y la desmontabilidad no solo determinan la viabilidad técnica del producto, sino que condicionan su capacidad para permanecer en uso y reintroducirse en el sistema.

En otras palabras: si un producto está mal diseñado desde el principio, difícilmente podrá ser reparado, reutilizado o reciclado al final de su vida útil.

Las fases clave de la economía circular

Veamos brevemente cuáles son las principales fases del modelo de economía circular y cómo funcionan:

Extracción responsable de materias primas: se priorizan recursos renovables y se minimiza el impacto ambiental de la extracción.

Diseño y manufactura: se integran criterios de sostenibilidad, eficiencia energética y modularidad.

Distribución y logística: se optimizan cadenas de suministro, se reduce desperdicio y se mejora la trazabilidad.

Uso del producto: se fomentan modelos de consumo colaborativo, funcional y prolongado.

Reparación, reutilización y remanufactura: se extiende la vida útil del producto.

Reciclaje y valorización energética: se recuperan materiales y energía al final del ciclo de vida.

Cada una de estas fases está interconectada, y el objetivo es claro: minimizar pérdidas, conservar valor y reducir al máximo el impacto ambiental.

¿Por qué es importante ahora?

Hoy en día, los desafíos como el agotamiento de recursos naturales, la degradación ambiental y el cambio climático son más urgentes que nunca. Frente a ello, la economía circular se presenta como una alternativa viable y necesaria.

Además, está siendo impulsada por actores clave como la Fundación Ellen MacArthur, que ha liderado su difusión global, y por políticas públicas como las iniciativas de la Unión Europea, que buscan incentivar la transición hacia modelos más circulares.

Pero, como veremos más adelante, para que esta transición sea efectiva y escalable, necesitamos herramientas tecnológicas capaces de optimizar estos ciclos complejos. Y ahí es donde entra en juego la inteligencia artificial.





Inteligencia artificial como **catalizador** de eficiencia y optimización **de recursos**

Cuando pensamos en inteligencia artificial (IA), lo primero que nos viene a la mente suelen ser robots, asistentes virtuales o coches autónomos. Pero la IA va mucho más allá. Es una herramienta poderosa que está transformando industrias enteras, incluyendo la manera en que gestionamos los recursos naturales, producimos bienes y optimizamos procesos industriales.

Y aunque pueda sonar complejo, la esencia de la IA es bastante simple: aprende patrones, toma decisiones informadas y mejora continuamente. Esto la convierte en un aliado perfecto para impulsar modelos de negocio más sostenibles y responsables.

¿Por qué decimos que la IA actúa como un catalizador?

La palabra “catalizador” viene del mundo de la química. Un catalizador no cambia la reacción en sí, pero acelera y facilita los cambios necesarios para que ocurra más rápido y mejor. Aplicando esta idea al mundo empresarial, podemos decir que la IA no cambia por completo la forma en que funciona una empresa, pero sí impulsa cambios importantes que antes eran difíciles de lograr. Ayuda a las empresas a:

- Detectar ineficiencias en tiempo real.
- Automatizar tareas repetitivas para ahorrar tiempo y reducir errores.
- Predecir comportamientos futuros basándose en datos históricos.
- Mejorar la calidad de productos y servicios con ajustes precisos.
- Optimizar el uso de recursos: desde energía hasta materiales.





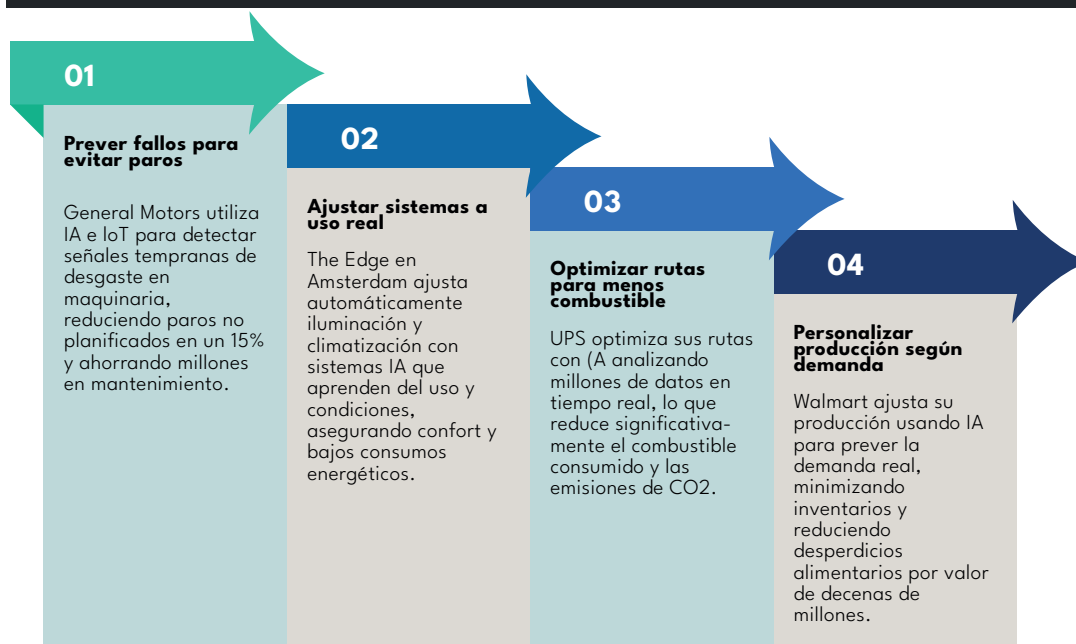
En otras palabras, la inteligencia artificial no solo mejora los procesos existentes, también los hace más rápidos, más eficientes y más sostenibles. Y esto es especialmente importante cuando hablamos de la economía circular.

Eficiencia: hacer más con menos

Uno de los grandes retos de cualquier empresa es hacer más con menos. No se trata solo de ahorrar dinero, sino de usar menos recursos —como agua, energía o materias primas— y lograr mejores resultados.

Aquí es donde la IA brilla. Gracias a su capacidad para analizar millones de datos en cuestión de segundos, puede identificar oportunidades de mejora que antes pasaban desapercibidas.

Ejemplos de IA e IoT para optimizar operaciones industriales y comerciales



Estos ejemplos demuestran cómo la IA y el IoT mejoran la eficiencia: desde General Motors que reduce paros en un 15%, pasando por The Edge en Amsterdam que optimiza iluminación y climatización, hasta UPS y Walmart que minimizan emisiones y desperdicios. Adaptar estas tecnologías cumple normativas y genera ahorros significativos.

Estas acciones, aparentemente pequeñas, tienen un impacto enorme a largo plazo. En conjunto, permiten a las empresas reducir costos, mejorar la productividad y disminuir su huella ambiental.

Optimización: aprovechar al máximo lo que ya tenemos

Otra ventaja clave de la inteligencia artificial es que permite optimizar recursos. En lugar de buscar siempre nuevos insumos, la IA ayuda a sacar más provecho a los que ya están disponibles.

Por ejemplo:

- Analiza cómo se usan los materiales en la producción y propone formas de minimizar desperdicios.
- Ajusta los procesos para que consuman menos energía sin afectar la calidad final.
- Recomienda cuándo es mejor reparar o reutilizar un producto, en lugar de fabricar uno nuevo.





Gracias a esto, las empresas pueden operar de forma más limpia y responsable, sin sacrificar la competitividad.

La IA como puente entre tecnología y sostenibilidad

Lo interesante de la inteligencia artificial es que no solo es una herramienta técnica. Es también un puente entre la innovación tecnológica y la sostenibilidad: Muchas empresas han visto cómo la adopción de soluciones basadas en IA les ha permitido avanzar hacia modelos de negocio más circulares. Modelos donde:

- Los productos duran más
- Los materiales se reutilizan o reciclan
- Las decisiones se toman con información precisa y en tiempo real

Es decir, la IA no solo impulsa la transformación digital, también impulsa la transformación verde.

Caso práctico: cómo una empresa usa IA para mejorar sus procesos

Imagina una fábrica que produce componentes electrónicos. Tradicionalmente, este tipo de industria consume mucha energía y genera residuos difíciles de manejar.

Pero ahora imagina que esa misma fábrica ha implementado un sistema de inteligencia artificial conectado a sensores en toda la planta. Este sistema monitorea constantemente:

- El estado de las máquinas
- El consumo energético
- La calidad de los productos fabricados
- El volumen de residuos generados

Con esta información, el sistema puede:

- Detectar cuando una máquina empieza a funcionar mal y programar mantenimiento antes de que se rompa
- Reducir el consumo de electricidad durante horas de menor actividad
- Identificar qué lotes de producción tienen más defectos y ajustar los procesos para corregirlos
- Sugerir alternativas de diseño que requieran menos material y sean más fáciles de reparar
- Todo esto reduce costos, mejora la calidad y minimiza el impacto ambiental. Y lo mejor de todo: se logra sin cambiar por completo los procesos, sino mejorándolos paso a paso.

Caso Práctico Real:

La Fábrica "ElectroPro"

Impulsa la Eficiencia con IA

ElectroPro, un fabricante de componentes electrónicos de alta complejidad, implementó un sistema integral de IA que interconecta miles de sensores en sus líneas de producción. Este sistema monitorea y analiza continuamente datos en tiempo real sobre el estado de las máquinas, el consumo energético, la calidad de los productos en cada etapa de fabricación y el volumen de residuos generados.



Calidad Personalizada y Reducción de Desperdicios

Problema: Lotes con defectos y alto volumen de residuos. Solución IA: Sistemas de visión artificial con IA inspeccionan componentes en tiempo real, detectando defectos minúsculos y analizando datos para identificar causas raíz. Dato Real: Lasas de detección de defectos del 99.97%, una mejora del 13% sobre métodos tradicionales. Además, la IA en la cadena de suministro ha reducido los costos de materiales en un 18.7% al optimizar la gestión de inventario.



Optimización del Diseño y Uso de Materiales

Problema: Procesos con excesivo uso de material. Solución IA: Análisis de patrones de desperdicio de material en procesos específicos, identificando áreas donde se puede usar menos material o donde el diseño actual genera ineficiencias. Dato Real: Reducción del 45% en los costos de transporte y almacenamiento al predecir la demanda con mayor precisión y optimizar los niveles de inventario, lo que indirectamente apoya el uso eficiente de materiales.



Previsión de Fallos y Mantenimiento Inteligente

Problema: Mantenimiento reactivo y paros no planificados. Solución IA: El sistema analiza patrones de vibración, temperatura y rendimiento de la maquinaria, prediciendo con antelación cuándo un componente está en riesgo de fallar. Dato Real: Reducción del 52.3% en tiempo de inactividad no planificado y extensión del 41% en la vida útil de equipos en comparación con los calendarios de mantenimiento tradicionales.



Optimización del Consumo Energético

Problema: Alto consumo de electricidad y derroche energético. Solución IA: La inteligencia artificial aprende los patrones de uso energético de cada máquina y línea de producción, ajustando automáticamente la potencia durante períodos de baja actividad o según la demanda productiva. Dato Real: Mejora sustancial en la eficiencia operativa que en casos similares se traduce en ahorros energéticos de hasta 20-25% en costos operativos.

La experiencia de ElectroPro (nombre ficticio, basado en casos reales y métricas consolidadas) demuestra que la implementación de la IA en la manufactura no es solo una promesa, sino una realidad con beneficios cuantificables. La fábrica ha logrado una operación más eficiente, sostenible y con calidad superior mediante una mejora continua basada en datos.

Una visión gráfica de la economía Circular

Figura 2.

Esquema de una Economía Circular

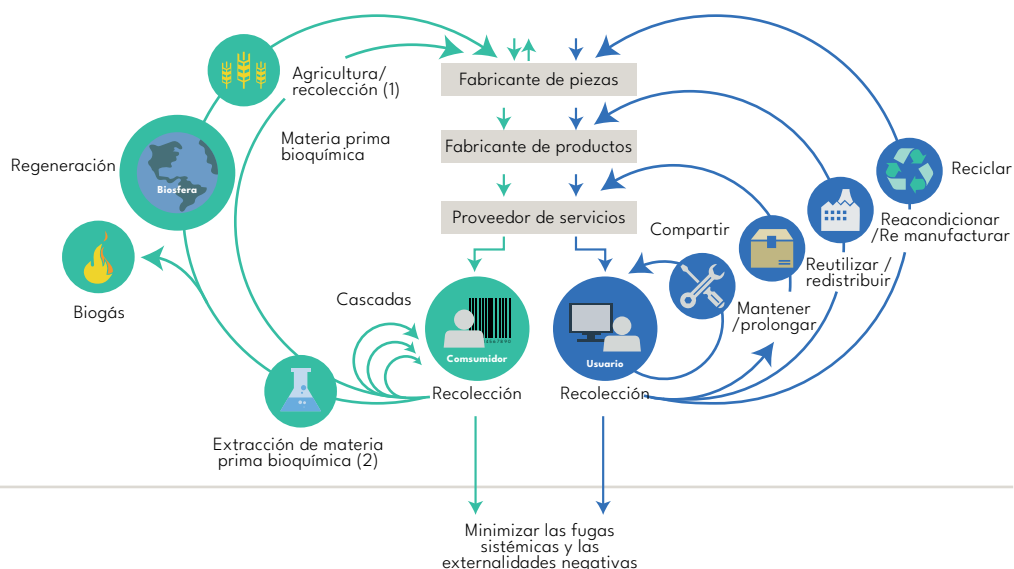
Principio 1

Preservar y mejorar el capital natural controlando las existencias finitas y equilibrando los flujos de recursos renovables. Palancas del modelo: regenerar, virtualizar, intercambiar



Principio 2

Optimizar el rendimiento de los recursos haciendo circular productos, componentes y materiales en uso al máximo nivel de utilidad en todo momento, tanto en ciclos técnicos como biológicos. Palancas regenerar, compartir, optimizar, hacer circular.



Principio 3

Fomentar la eficacia del sistema revelando y rediseñando las externalidades negativas. Todas las palancas.

Figura 2. Economía Circular. Fuente: Ellen MacArthur Foundation

Imagina por un momento cómo se ve la economía circular en acción. No es algo abstracto ni complicado: es un modelo visual que muestra cómo los recursos pueden circular una y otra vez, sin agotar el planeta ni generar residuos innecesarios.

La Figura 2, creada por la Fundación Ellen MacArthur, representa esta idea con claridad. Es como un mapa que nos ayuda a entender cómo funciona una economía verdaderamente sostenible. A diferencia del sistema tradicional —ese que extrae recursos, los transforma en productos y luego los tira—, la economía circular propone un modelo donde todo tiene valor, incluso después de cumplir su función inicial.

Este modelo no solo busca reducir daños, sino construir un sistema donde lo natural y lo artificial puedan coexistir sin contaminar ni explotar al máximo los recursos del planeta.



Los tres principios fundamentales

El modelo se basa en tres ideas clave que guían toda la forma de producir y consumir:

•**Preservar y mejorar el capital natural:** Esto significa cuidar los recursos naturales, especialmente los que se renuevan lentamente o no se renuevan nunca. Se trata de usar menos materiales vírgenes, proteger ecosistemas y asegurarnos de que los recursos renovables —como la biomasa o la energía solar— se usen de manera equilibrada.

En la figura, esto se representa con las flechas verdes que comienzan en actividades como la agricultura, la pesca o la extracción responsable de madera. Estas actividades alimentan el llamado ciclo biológico, uno de los dos grandes flujos de materiales que veremos más adelante.

•**Optimizar el uso de los recursos:** Aquí entramos en juego todos: empresas, gobiernos y consumidores. El objetivo es mantener los productos, componentes y materiales en uso durante el mayor tiempo posible. Eso se logra mediante estrategias como:
Compartir productos (por ejemplo, compartir herramientas o vehículos)

- Reutilizar y redistribuir
- Reparar y prolongar la vida útil
- Remanufacturar o reacondicionar
- Reciclar al final de su vida útil

En el diagrama, estas acciones aparecen representadas con flechas azules que conectan a los usuarios con los fabricantes. Cuanto más cerca esté una flecha del usuario, más valor se conserva. Por ejemplo, reparar un producto es más eficiente que reciclarlo, porque requiere menos energía y menos intervención técnica.

•**Mejorar la efectividad del sistema:** Este principio es crucial: diseñar desde el principio sistemas que eviten los daños antes de que ocurran. Esto incluye prevenir la contaminación, reducir emisiones y proteger la biodiversidad.

Para lograrlo, se utilizan herramientas como el enfoque ReSOLVE, que propone:

- Regenerar: devolver nutrientes al suelo, limpiar ríos, regenerar bosques
- Compartir: fomentar modelos colaborativos de uso
- Optimizar: aprovechar al máximo cada recurso
- Cerrar ciclos: evitar que los materiales se pierdan como residuos
- Virtualizar: ofrecer servicios sin necesidad de tener objetos físicos
- Intercambiar: usar materiales menos contaminantes o más reciclables

El resultado final, como se muestra en la base del gráfico, es minimizar las fugas sistémicas. En otras palabras: evitar que los materiales terminen en vertederos o causando daño al medio ambiente.





Dos ciclos, un mismo propósito

Dentro de la economía circular, hay dos tipos principales de materiales que siguen caminos diferentes, pero igualmente importantes:

El ciclo biológico (en verde)

Incluye productos que pueden reintegrarse de forma segura a la naturaleza, como alimentos, fibras naturales o materia orgánica. Estos materiales pueden convertirse en compost, biogás o nutrientes para nuevos cultivos. Aquí se habla de consumo, porque estos materiales desaparecen o se transforman completamente en nutrientes que vuelven a ser útiles.

El ciclo técnico (en azul)

Se refiere a materiales que no se biodegradan fácilmente, como metales, plásticos o componentes electrónicos. La clave está en diseñarlos para que puedan mantenerse en circulación: reparándolos, actualizándolos, desmontándolos y reciclando sus partes una y otra vez.

En este caso, hablamos de uso, ya que el producto permanece útil si se gestiona correctamente. Aunque son dos ciclos distintos, comparten el mismo objetivo: reducir al máximo los residuos y maximizar el valor de los recursos.

¿Por qué importa este modelo?

La economía circular no solo reduce el impacto ambiental, también genera muchos beneficios económicos y sociales. Algunos ejemplos, con los documentos donde se pueden ver algunos ejemplos o resultados:

Valor económico: permite ahorrar costos, crear nuevos mercados y generar ingresos a partir de materiales que antes eran considerados desperdicio.

Towards the Circular Economy, Vol. 2: Opportunities for the consumer goods sector. (2013).

<https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/50c85a620a58955/original/Towards-the-circular-economy-Vol-2.pdf>

Innovación: impulsa nuevas formas de diseñar, producir y comercializar productos.

World Economic Forum (en colaboración con la African Circular Economy Alliance). Five Big Bets for the Circular Economy in Africa. (2021).

https://www3.weforum.org/docs/WEF_Five_Big_Bets_for_the_Circular_Economy_in_Africa_2021.pdf

Resiliencia: ayuda a las empresas a adaptarse mejor a crisis de suministro o cambios en los precios de las materias primas.

UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Critical Transitions: Circularity, Equity, and Responsibility in the Quest for Energy Transition Minerals. (2024).

https://capacity4dev.europa.eu/library/critical-transitions-circularity-equity-and-responsibility-quest-energy-transition-minerals_en

Desarrollo sostenible: promueve un crecimiento más justo y compatible con los límites del planeta.

Comisión Europea. A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe. COM/2020/98 final. (2020).

https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF

En pocas palabras, la economía circular no solo es buena para el medio ambiente: también es inteligente desde el punto de vista económico y social.

Aplicación de la IA en las Etapas de **la Economía Circular**

Diseño y Producción Sostenible

El diseño es el primer paso en la vida útil de cualquier producto. Y no solo define cómo se ve o cómo funciona: también decide cuánto durará, si será fácil de reparar, si podrá reciclarse y cómo afectará al medio ambiente durante su ciclo de vida.

De hecho, en el documento “Economía circular: definición, importancia y beneficios” del Parlamento Europeo (2023), y en varios artículos especializados, se establece que hasta el 80% del impacto ambiental de un producto está determinado en esta fase. Por eso, diseñar bien desde el principio no solo mejora el producto, sino que también reduce costos, ahorra recursos y minimiza residuos.

Aquí es donde entra en juego la inteligencia artificial (IA). Gracias a su capacidad para procesar grandes cantidades de información, aprender patrones y ofrecer soluciones optimizadas, la IA se convierte en una herramienta clave para transformar el diseño hacia modelos verdaderamente circulares.

En lugar de depender únicamente de la creatividad humana, los diseñadores e ingenieros pueden contar con algoritmos que generan miles de opciones en cuestión de minutos, seleccionando aquellas que maximizan el rendimiento con el menor uso posible de materiales.

Esto no solo amplía la eficiencia y la creatividad del proceso de diseño, sino que también permite construir productos que están pensados desde el inicio para durar más, repararse fácilmente y reintegrarse al sistema después de cumplir su función.



1. Diseño generativo con IA para minimizar residuos

Una de las aplicaciones más avanzadas de la inteligencia artificial en el diseño es el llamado diseño generativo. Este método utiliza algoritmos de aprendizaje automático para crear múltiples alternativas de diseño basadas en unos pocos parámetros definidos por el diseñador o ingeniero: tipo de material, funcionalidad requerida, resistencia estructural, peso máximo permitido, coste ambiental, entre otros.

Imagina que necesitas diseñar una pieza industrial. En lugar de dibujarla manualmente o probar una o dos versiones, puedes introducir estas condiciones en un sistema de diseño generativo y dejar que la IA explore miles de posibilidades diferentes. Luego, el sistema selecciona las mejores opciones según los criterios establecidos.

Este enfoque tiene varias ventajas:

•**Aumenta la creatividad:** se exploran diseños que tal vez nunca habríamos considerado.

•**Mejora la eficiencia:** se usan menos materiales y se evitan cortes innecesarios.

•**Reduce residuos desde el origen:** se priorizan configuraciones que optimizan el uso del material.

•**Permite simulaciones previas:** se puede predecir cómo se comportará el producto antes de fabricarlo, lo cual ayuda a ajustar detalles sin generar desperdicio físico.

Un ejemplo real es el trabajo que ha desarrollado Autodesk con su tecnología de diseño generativo. Han rediseñado piezas industriales usando IA, logrando estructuras más ligeras, más resistentes y que consumen menos materiales. Esto no solo beneficia a la economía circular, sino que también mejora la eficiencia energética y reduce costos de producción.

2. Uso de materiales inteligentes y optimización con IA

Elegir los materiales adecuados desde el comienzo es fundamental para garantizar que un producto sea sostenible. Pero esto no siempre es sencillo.

Hay que tener en cuenta muchos factores: su disponibilidad, su toxicidad, su capacidad de reciclaje, su huella de carbono...

Aquí también puede ayudar la IA. Gracias al machine learning, los sistemas pueden analizar bases de datos completas sobre materiales y sus propiedades. A partir de ahí, son capaces de recomendar cuáles serían las mejores opciones en cada caso, teniendo en cuenta tanto la funcionalidad técnica como el impacto ambiental.

Pero va aún más lejos: la IA puede incluso sugerir el uso de materiales inteligentes, aquellos que cambian sus características según las condiciones del entorno —por ejemplo, adaptándose a cambios de temperatura o humedad—. Estos materiales pueden hacer que los productos sean más duraderos, más eficientes y más fáciles de mantener a lo largo del tiempo.

Además, la IA ayuda a planificar cómo se van a desarmar estos productos al final de su vida útil. Esto es clave para facilitar la reparación, la reutilización o el reciclaje. Si ya se piensa en cómo desmontar algo desde el principio, es mucho más probable que pueda volver a usarse.





3. Simulación avanzada para reducir prototipos físicos

Antes de fabricar un producto nuevo, normalmente se hacen varios prototipos para probarlo. Pero este proceso consume tiempo, dinero... y muchos recursos.

La inteligencia artificial permite cambiar esta dinámica. Puede simular virtualmente cómo se comportará un producto bajo distintas condiciones, sin necesidad de fabricarlo físicamente.

¿Qué significa esto en la práctica?

Se pueden evaluar el rendimiento estructural, el consumo energético o el impacto medioambiental de forma temprana.

Se evitan errores costosos, se acelera el desarrollo y se reduce el número de pruebas físicas necesarias.

Se disminuye el uso de energía, materiales y transporte asociado a la creación de prototipos.

Todo esto contribuye a un modelo de producción más limpio, eficiente y alineado con los principios de la economía circular.

4. Caso destacado: SxD Zero Waste

Un buen ejemplo de cómo la IA puede integrarse en el diseño sostenible es el caso de SxD Zero Waste, una marca textil que apuesta por el concepto de “cero residuos”.

Usando algoritmos avanzados, SxD rediseña patrones de corte, analiza tendencias y optimiza el uso de telas para minimizar el desperdicio. El resultado es una colección de prendas hechas con un impacto mínimo en el medio ambiente.

Pero no solo se trata de evitar residuos. También se busca diseñar ropa que sea fácil de reciclar o transformar al final de su vida útil. Además, gracias a técnicas de predicción basadas en IA, la empresa puede ajustar su producción a la demanda real, evitando el exceso de inventario y las emisiones asociadas al almacenamiento y transporte innecesario.

Este tipo de enfoque no solo reduce drásticamente los residuos textiles, sino que también introduce circularidad desde el mismo diseño, algo que tradicionalmente era muy difícil de lograr.



Optimización del Uso de Recursos
en Producción:

La Inteligencia

Artificial como catalizadora
de eficiencia y

sostenibilidad

Imagina una fábrica moderna donde cada máquina funciona perfectamente, sin paradas innecesarias, usando solo la energía necesaria y produciendo menos residuos. Donde los procesos están tan bien ajustados que no hay errores, desperdicio o sobreproducción.

Este es el tipo de futuro al que apunta la economía circular aplicada a la producción industrial, y la inteligencia artificial (IA) es una de las herramientas clave para lograrlo.

La producción siempre ha sido uno de los pilares centrales de cualquier modelo económico. Pero también es una de las etapas que consume más recursos y genera mayor impacto ambiental. Tradicionalmente, se ha enfocado en maximizar la cantidad de productos fabricados, sin considerar si esa forma de operar era realmente eficiente o sostenible.

En cambio, en una economía circular, el objetivo ya no es solo producir más, sino producir mejor: con menos materiales, menor consumo energético, y sistemas que permitan reincorporar los residuos al proceso productivo. Y esto no es un sueño lejano. Es algo que ya está ocurriendo gracias a la inteligencia artificial.



1. Monitoreo en tiempo real y optimización de procesos industriales

Hoy en día, las fábricas pueden estar llenas de sensores conectados a Internet, capaces de enviar millones de datos por segundo. Y aunque antes esta información era difícil de procesar, ahora tenemos una herramienta poderosa que sí puede hacerlo: la IA.

Con sistemas basados en IA, las empresas pueden monitorear en tiempo real aspectos críticos de sus procesos productivos, como:

- Temperatura, presión y humedad de las máquinas
- Niveles de consumo de agua y electricidad
- Tiempos de inactividad
- Calidad del producto final
- Emisiones generadas durante el proceso

Esto permite detectar problemas antes de que ocurran, ajustar automáticamente parámetros para mejorar el rendimiento y reducir tiempos muertos. En otras palabras, la IA convierte la información en acción inteligente.

Por ejemplo, una planta de fabricación puede usar modelos predictivos para anticiparse a fallos mecánicos, evitar paros costosos y planificar mantenimientos justo cuando son necesarios. Esto reduce costos, mejora la eficiencia y evita el uso excesivo de insumos.

Además, la IA ayuda a alinear la producción con la demanda real, lo cual evita sobreproducción, minimiza inventarios innecesarios y reduce el impacto medioambiental asociado al almacenamiento y transporte.

Todo esto no solo mejora la rentabilidad de las empresas, sino que también refuerza su compromiso con un modelo de negocio más responsable.

2. Algoritmos de optimización de consumo energético

Uno de los mayores desafíos de la industria es el consumo energético. Muchas plantas usan grandes cantidades de electricidad, calor o combustibles fósiles, lo que no solo encarece los procesos, sino que también aumenta la huella de carbono.

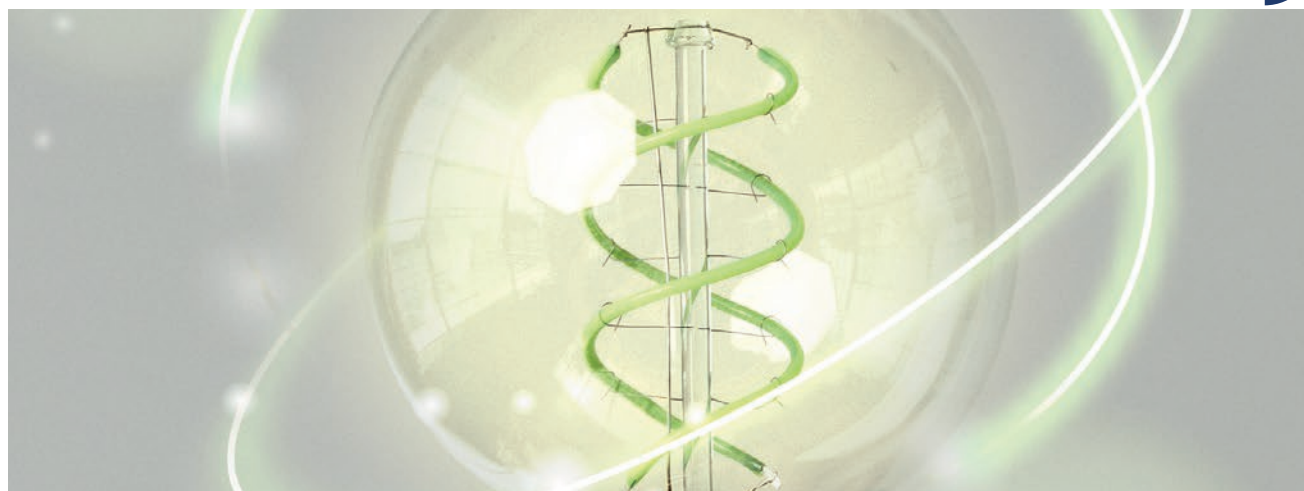
Aquí es donde entra en juego la IA, con algoritmos avanzados que analizan cómo se usa la energía y proponen maneras de reducirla sin afectar la calidad ni la cantidad de producción.

Algunos ejemplos de cómo la IA puede optimizar el consumo energético son:

- Aprender patrones de consumo para identificar momentos de ineficiencia
- Simular escenarios alternativos y recomendar ajustes precisos
- Automatizar decisiones que reduzcan el gasto energético, especialmente en procesos térmicos, eléctricos y logísticos

Gracias a esto, muchas empresas han logrado reducir significativamente su consumo energético, disminuyendo tanto costos operativos como emisiones de CO₂.

Un sistema de IA bien entrenado puede incluso aprender a partir de datos históricos y adaptarse a nuevas condiciones, mejorando continuamente el desempeño de las instalaciones. Eso significa que cuanto más tiempo esté en funcionamiento, más eficiente será.





3. Ejemplo destacado: Global Omnium y su uso de IA en plantas de tratamiento de agua

Un buen ejemplo de cómo la IA puede transformar procesos industriales es el caso de Global Ómnium, una empresa española especializada en el ciclo integral del agua.

Esta empresa ha incorporado modelos de machine learning para optimizar el funcionamiento de sus plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales.

¿Qué han conseguido?

- Reducción del consumo energético en un 15%
- Mejora de la calidad del agua entregada
- Optimización del uso de productos químicos y otros insumos
- Mayor control de emisiones asociadas al tratamiento de aguas
- Mejor capacidad de respuesta ante cambios estacionales o emergencias

El sistema funciona así: millones de datos recopilados por sensores se analizan en tiempo real, y el sistema ajusta automáticamente las operaciones según factores como la demanda, la calidad del agua cruda, las condiciones climáticas o las previsiones de consumo.

Este tipo de tecnología no solo mejora la eficiencia técnica, sino que también hace que los procesos sean más inteligentes, responsables y alineados con objetivos de sostenibilidad.

4. ¿Por qué esto es clave para la economía circular?

La producción es una de las etapas más importantes en el ciclo de vida de los productos. Si no se gestiona bien desde el principio, el impacto ambiental puede ser enorme.

Pero con la ayuda de la inteligencia artificial, las empresas pueden:

- Reducir el uso de materias primas vírgenes
- Minimizar residuos y emisiones
- Mejorar la trazabilidad y control de procesos
- Adaptarse rápidamente a cambios en la demanda o en las condiciones externas

En resumen: la IA no solo mejora la eficiencia de los procesos, también los hace más limpios, más responsables y más compatibles con los principios de la economía circular.

Extensión de la Vida Útil

de los Productos

Imagina que en lugar de cambiar de celular cada año, pudieras usar el mismo dispositivo durante cinco o más años sin que deje de funcionar bien. O que tu lavadora no se rompa después de unos pocos años, sino que siga trabajando perfectamente con un mantenimiento inteligente y preventivo.

Ese es el objetivo principal de una de las estrategias más importantes dentro de la economía circular: extender la vida útil de los productos. No solo es bueno para tu bolsillo, también reduce residuos, evita el consumo innecesario de recursos y disminuye la presión sobre el planeta.

Pero lograrlo no es fácil. Muchas empresas están diseñando productos con vidas útiles cortas, materiales difíciles de reparar y actualizaciones de software que hacen que dispositivos aún funcionales queden obsoletos artificialmente. Aquí es donde entra en juego la inteligencia artificial (IA) como una herramienta clave.

Gracias a algoritmos avanzados, sensores conectados y análisis predictivo, la IA puede ayudarnos a predecir fallos antes de que ocurran, optimizar el uso de los productos y rediseñar modelos de negocio que incentiven la durabilidad y el cuidado prolongado de los bienes.

1. Modelos predictivos de mantenimiento con IA

Una de las aplicaciones más revolucionarias de la inteligencia artificial es el llamado mantenimiento predictivo. Consiste en usar datos en tiempo real para anticiparse a posibles fallos en un producto o máquina, permitiendo realizar intervenciones técnicas justo cuando son necesarias —y no antes ni después—. Esto se logra gracias a sistemas de aprendizaje automático que analizan patrones de desgaste, anomalías en el comportamiento del producto e incluso hábitos de uso del cliente.

Por ejemplo: En maquinaria industrial, sensores conectados recogen datos constantemente: temperatura, vibraciones, niveles de desgaste, etc.

Estos datos se envían a un sistema basado en IA, que compara lo que está sucediendo con miles de casos similares almacenados previamente.

Si detecta un patrón que indica que algo podría fallar pronto, envía una alerta al técnico responsable o incluso programa automáticamente una acción correctiva.

Este tipo de tecnología ya está siendo utilizada por empresas como Siemens o General Electric, que aplican IA en turbinas eléctricas, motores industriales y sistemas complejos para evitar paradas costosas y prolongar la vida útil de sus equipos.

A nivel doméstico, algunos electrodomésticos modernos, como neveras o lavadoras inteligentes, también usan esta tecnología. Pueden avisar al usuario cuando un componente está cerca de dejar de funcionar, o incluso programar una visita técnica antes de que ocurra una avería grave.

El resultado es claro: menos desperdicio, menos costos y más sostenibilidad.



2. Modelos de negocio basados en “Producto como Servicio”

La IA también está facilitando una transformación profunda en los modelos de negocio tradicionales. Ya no se trata solo de vender un producto y olvidarse de él, sino de ofrecerlo como un servicio, manteniendo el control sobre su ciclo de vida y asegurándose de que se use, repare y reutilice al máximo.

Este modelo se conoce como “Producto como Servicio” (Product-as-a-Service o PaaS) .

Funciona así: en lugar de comprar un objeto, pagas por usarlo. El fabricante sigue siendo responsable de su mantenimiento, actualización y eventual recuperación.

La inteligencia artificial hace posible este cambio porque permite:

- Segmentar usuarios y personalizar ofertas según el perfil de uso
- Monitorear el estado del producto en tiempo real para ofrecer servicios precisos
- Automatizar la gestión del ciclo de vida completo
- Evaluar cuándo es más eficiente reparar, actualizar o retirar un equipo

Esto incentiva a las empresas a diseñar productos más duraderos, modulares y fáciles de mantener, ya que su rentabilidad depende ahora del buen funcionamiento prolongado del producto, no de vender uno nuevo cada cierto tiempo.

Algunos ejemplos reales incluyen:

- Flotas de vehículos eléctricos compartidos
- Suscripciones de dispositivos tecnológicos (como teléfonos o portátiles)
- Sistemas de iluminación vendidos como servicio, donde el proveedor se encarga de todos los mantenimientos

En resumen: la IA no solo mejora la experiencia del usuario, también ayuda a construir modelos de negocio que favorecen la sostenibilidad y reducen el impacto ambiental.





3. Ejemplo práctico: Apple y su uso de IA para prolongar la vida útil de dispositivos

Un caso muy conocido es el de Apple, que ha integrado múltiples funciones basadas en inteligencia artificial en sus dispositivos para optimizar su rendimiento y prolongar su utilidad.

Veamos algunos ejemplos concretos:

Gestión inteligente de la batería: el sistema operativo aprende los hábitos del usuario y ajusta los ciclos de carga para minimizar el envejecimiento de la batería. Esto significa que el dispositivo dura más sin perder rendimiento.

Actualizaciones personalizadas: a través del aprendizaje automático, el sistema prioriza las funciones que más utiliza cada persona y adapta el rendimiento según el modelo del dispositivo, manteniendo funcionalidades en modelos antiguos que muchas veces otros fabricantes ya habrían dejado atrás.

Diagnóstico predictivo en AppleCare: los centros de soporte y reparación utilizan herramientas de IA para identificar fallos potenciales antes de que ocurran, mejorando la eficiencia de las reparaciones y reduciendo tiempos muertos.

Estas aplicaciones no solo mejoran la experiencia del usuario, sino que también contribuyen a alargar el ciclo de vida del dispositivo, en línea con los objetivos de la economía circular.

Además, este enfoque refuerza la relación entre marca y consumidor, generando lealtad y confianza a largo plazo.



Recolección y Reciclaje Inteligente

Imagina una ciudad donde cada residuo tiene un destino claro. Donde nada se tira sin antes asegurarse de que no pueda servir para otra cosa. Ese es el objetivo de la recolección y reciclaje inteligente dentro de la economía circular.

Pero en la realidad, este proceso no es tan simple. Separar los materiales correctamente, identificar residuos peligrosos y optimizar las rutas de recolección son tareas complejas que consumen muchos recursos humanos, energéticos y logísticos.

Aquí entra en juego un aliado poderoso: la inteligencia artificial (IA).

La IA está transformando la forma en que gestionamos los residuos, permitiendo automatizar procesos, mejorar la precisión en la clasificación y optimizar las operaciones de recolección. No solo mejora la eficiencia, sino que también reduce costos y minimiza el impacto ambiental asociado a la gestión de desechos.

A continuación, exploramos cómo.

1. Clasificación inteligente de residuos con IA

Uno de los grandes retos del reciclaje es la separación adecuada de los materiales. En cuanto se mezclan entre sí, pierden valor y muchas veces ya no pueden reciclarse.

La inteligencia artificial, combinada con tecnologías como la visión por computadora y sensores multiespectrales, permite identificar y clasificar residuos con una precisión superior a la humana. Esto significa que hoy en día podemos contar con sistemas capaces de reconocer más de 30 tipos de materiales —desde plásticos hasta metales— con una tasa de acierto superior al 90%.

Estos sistemas aprenden a diferenciar materiales incluso cuando están sucios, rotos o parcialmente deformados. Y lo hacen en tiempo real, sobre cintas transportadoras de plantas de tratamiento, aumentando drásticamente la cantidad de material que puede ser recuperado y reintegrado al sistema productivo.

Un ejemplo práctico es AMP Robotics, una empresa que ha desarrollado brazos robóticos inteligentes que usan IA para separar residuos en plantas de reciclaje. Estos robots no solo trabajan más rápido que los humanos, sino que también reducen errores y mejoran la seguridad laboral.

Además, estos sistemas pueden detectar objetos impropios o contaminantes —como baterías o productos químicos—, evitando riesgos y aumentando la calidad del material reciclado.

2. Optimización de rutas de recolección con machine learning

El transporte de residuos es uno de los mayores costos operativos en la gestión urbana de desechos. Además, genera emisiones significativas de CO₂ debido al movimiento constante de camiones por toda la ciudad.

Aquí es donde la inteligencia artificial también brilla. Con sensores en contenedores que miden el nivel de llenado en tiempo real y sistemas de análisis predictivo, es posible programar las recolecciones solo cuando sea necesario.

Los algoritmos de IA analizan datos históricos y actuales para predecir cuándo se llenará cada contenedor y planificar la ruta más eficiente para vaciarlos. Esto evita viajes innecesarios, reduce el consumo de combustible y mejora la experiencia ciudadana al evitar acumulaciones de basura o vertederos improvisados.

Este tipo de tecnología ya está siendo utilizada en ciudades inteligentes, ayudando a construir sistemas de gestión de residuos más responsables y transparentes.



3. Ejemplo destacado: Ecovidrio y su sistema de IA para el reciclaje del vidrio

Un caso práctico de éxito es el de Ecovidrio, organización española encargada del reciclaje de envases de vidrio en España.

Ecovidrio ha implementado una plataforma avanzada basada en inteligencia artificial y big data que monitorea en tiempo real el estado de más de 220.000 contenedores verdes distribuidos por todo el país.

Gracias a esta herramienta, la IA puede predecir cuándo se llenará cada contenedor y programar su recolección de manera dinámica, ajustándose a necesidades reales y no a horarios fijos.

¿Cuáles han sido los resultados?

- Reducción de kilómetros recorridos por los camiones de recolección
- Ahorro en costes operativos
- Aumento en la cantidad de vidrio recogido
- Mayor transparencia y trazabilidad del proceso

Pero esto no termina ahí. Ecovidrio también ha usado estos datos para lanzar campañas de sensibilización ciudadana, incentivando hábitos más responsables en la población. El resultado es un sistema mucho más eficiente y socialmente comprometido.

4. ¿Por qué esto es clave para la economía circular?

La recolección y el reciclaje son dos de las etapas más críticas en el ciclo de vida de los materiales. Si no se gestionan bien, los residuos pierden valor, se contaminan y terminan en vertederos, lejos de poder reincorporarse al sistema productivo.

Con la ayuda de la inteligencia artificial, ahora podemos:

- Clasificar residuos con mayor precisión, aumentando la cantidad de materiales útiles
- Reducir costos operativos, optimizando rutas y tiempos de recolección
- Minimizar emisiones de CO₂, gracias a una logística más eficiente
- Mejorar la calidad del reciclaje, garantizando que los materiales puedan volver a usarse

En resumen: la IA no solo hace que el reciclaje sea más efectivo, sino que también lo convierte en un proceso económicamente viable y ambientalmente responsable.

Reinserción de Materiales Reciclados en la Cadena de Valor

Imagina que cada vez que terminas de usar algo —un envase de plástico, una botella de vidrio, una caja de cartón— ese material no se pierde para siempre, sino que vuelve a formar parte de un nuevo producto. Ese es el objetivo final de la economía circular: cerrar los ciclos materiales, asegurando que nada se desperdicie y que todo pueda reincorporarse al sistema productivo.

Pero esto no ocurre por sí solo. Para que los materiales reciclados puedan ser realmente útiles, tienen que cumplir ciertos estándares de calidad y funcionalidad. Y eso requiere procesos precisos, decisiones inteligentes y sistemas bien organizados. Aquí es donde entra en juego la inteligencia artificial (IA).

La IA no solo ayuda a clasificar y separar residuos con mayor precisión, también permite integrar esos materiales reciclados en nuevas cadenas de producción de forma eficiente, segura y rentable. En otras palabras: no basta con reciclar. Hay que saber cómo y dónde reinsertar esos materiales para que tengan valor real.

A continuación, exploramos cómo la inteligencia artificial puede facilitar esta etapa tan importante dentro del modelo circular.



1. Evaluación de calidad y viabilidad del reciclaje con IA

Uno de los principales desafíos del reciclaje es garantizar que los materiales recuperados sean útiles y viables para nuevos usos. Muchas veces, los residuos están contaminados, mezclados entre sí o no cumplen con los estándares industriales necesarios.

Aquí, la inteligencia artificial ofrece soluciones avanzadas:

Visión por computadora combinada con sensores multiespectrales permite identificar y clasificar residuos con gran precisión, incluso cuando están sucios o dañados.

Modelos predictivos analizan datos históricos y actuales para estimar si merece la pena reciclar un material, teniendo en cuenta factores como su tipo y composición, su ubicación geográfica, la demanda actual de ese material, el coste energético del proceso de reciclaje, entre otros.

Estos modelos aprenden de miles de casos anteriores, mejorando constantemente su capacidad para tomar decisiones acertadas. Por ejemplo, pueden indicar cuándo es mejor enviar un lote de plástico a reciclaje mecánico, biológico o químico, según sus características y el mercado disponible.

Además, redes neuronales entrenadas pueden detectar patrones en los residuos que indican posibles problemas en el proceso de transformación. Esto permite ajustar parámetros antes de comenzar el reciclaje, evitando errores costosos y aumentando la calidad del resultado final.

El beneficio clave: se reduce la cantidad de lotes defectuosos y se incrementa la proporción de materiales reciclados que pueden convertirse en insumos industriales de alta calidad.



2. Optimización de procesos de transformación de materiales reciclados

Una vez seleccionados los materiales con potencial de reinserción, hay que transformarlos para que cumplan con los requisitos técnicos del nuevo uso. Y aquí también puede ayudar la inteligencia artificial.

Algunas formas en que la IA mejora estos procesos son:

Algoritmos de Machine Learning que ajustan variables como temperatura, presión o tiempos de mezcla en tiempo real, logrando resultados más homogéneos y estables.

Gemelos digitales alimentados por datos históricos y sensores IoT, que permiten simular y probar distintos escenarios antes de ejecutarlos físicamente. Esto reduce errores, consumo de energía y desperdicio durante el proceso.

IA aplicada al diseño de materiales, capaz de sugerir nuevas combinaciones o formulaciones que mantienen o mejoran el rendimiento del producto final, usando componentes reciclados.

Por ejemplo, en la industria textil, la IA puede analizar fibras recicladas y recomendar mezclas con otros materiales que den lugar a tejidos de alta resistencia y durabilidad, aptos para nuevos productos comerciales.

En la construcción, puede ayudar a diseñar hormigones con áridos reciclados que mantengan las mismas propiedades estructurales que los convencionales, pero con menor impacto ambiental.

Y en la automoción, puede optimizar la combinación de metales reciclados para fabricar piezas que cumplan con los altos estándares de seguridad y rendimiento exigidos en este sector.

El resultado: materiales reciclados más competitivos, con menor huella ecológica y adecuados para múltiples industrias.

3. Ejemplo práctico: CoCircular y su plataforma basada en IA

Un buen ejemplo de cómo la IA puede facilitar la reinserción de materiales reciclados es el caso de CoCircular, una empresa que desarrolla soluciones digitales para gestionar residuos, especialmente en el sector de la construcción, uno de los mayores generadores de desechos del planeta.

Su plataforma, impulsada por inteligencia artificial, permite:

- Rastrear residuos desde su origen hasta su destino final : ¿De dónde viene? ¿Qué tipo de material es? ¿Cuál es su estado?
- Recomendar destinos óptimos para reutilización o reciclaje, evaluando criterios como:
 - Impacto ambiental
 - Costes logísticos
 - Rentabilidad económica
- Generar informes automatizados sobre trazabilidad y cumplimiento normativo, ayudando a las empresas a demostrar su compromiso con la sostenibilidad y cumplir con regulaciones medioambientales.

Gracias al aprendizaje automático, el sistema mejora progresivamente. Identifica patrones de generación de residuos por tipo de obra, reconoce qué materiales son más recuperables y sugiere opciones de mejora para futuras construcciones.

¿Cuáles han sido los resultados?

Aumento significativo en la tasa de reutilización de residuos en obra.

Reducción de la huella de carbono de los proyectos.
Mayor transparencia y cumplimiento normativo.

Este tipo de tecnología no solo hace que el reciclaje sea más eficiente, sino que también convierte los residuos en activos reales, con valor económico y ambiental reconocido.

Modelos de Evaluación

Económica del Costo de la IA en Proyectos de Economía Circular

La implementación de soluciones basadas en inteligencia artificial no solo es posible desde el punto de vista técnico, sino que también resulta claramente viable desde una perspectiva económica. Pero para que esto se perciba con claridad, es necesario realizar un análisis completo que contemple no solo los costos directos, sino también los beneficios tangibles e intangibles, así como las externalidades positivas que generan este tipo de proyectos. Muchas veces, estos efectos no se reflejan inmediatamente en los estados financieros tradicionales, pero son fundamentales a la hora de evaluar el impacto real sobre el negocio y el entorno.

Lejos de ser una carga adicional, la inteligencia artificial se convierte en un verdadero multiplicador de valor dentro de los sistemas circulares. Ayuda a mejorar la eficiencia operativa, disminuir las pérdidas sistémicas y facilitar decisiones informadas en tiempo real que permiten optimizar el uso de recursos y energía. En otras palabras, la IA no solo mejora los procesos existentes: transforma su forma de funcionar, haciéndolos más ágiles, responsables y sostenibles a largo plazo.

Una economía circular apoyada por datos y modelos inteligentes reduce la incertidumbre en los flujos materiales y energéticos. Así, las empresas pueden planificar mejor sus operaciones, anticiparse a posibles interrupciones y adaptarse con mayor rapidez a los cambios del mercado o del entorno. Todo ello aumenta la capacidad de respuesta de los modelos de negocio, lo cual se traduce en una mayor resiliencia frente a crisis, fluctuaciones de precios o escasez de materias primas.

Este enfoque también tiene un impacto directo en la rentabilidad. Al comparar los resultados de proyectos impulsados por IA dentro de un modelo económico circular frente a los sistemas lineales tradicionales, se observa cómo las tasas de retorno de inversión (ROI) tienden a ser más altas cuando se tienen en cuenta todos los beneficios, especialmente aquellos de carácter indirecto o de largo plazo. Por ejemplo, se puede medir el ahorro en costos operativos, la reducción de emisiones, la mejora en la reputación corporativa o la fidelización del cliente.

Estos factores, aunque no siempre aparecen explícitamente en los balances, son clave para acceder a nuevos mercados, cumplir con regulaciones ambientales o captar financiamiento sostenible.

Por eso, es fundamental utilizar enfoques integrados de evaluación que vayan más allá de los cálculos financieros convencionales. Se trata de metodologías sólidas, con un nivel técnico suficiente como para aplicarse tanto en el diseño de nuevos proyectos como en la evaluación de programas o políticas públicas que formen parte del marco de la economía circular. Estas herramientas permiten ver con precisión cómo la combinación de IA y economía circular no solo genera valor económico, sino también social y ambiental, redefiniendo lo que entendemos por éxito empresarial en el siglo XXI.

Para establecer si un proyecto que combina economía circular e inteligencia artificial es realmente viable desde el punto de vista financiero, es fundamental desglosar sus costos en categorías claras y medibles. Esto facilita entender qué se está invirtiendo, por qué y cómo se espera recuperarlo.

Estructura de Costos

para la Evaluación de Proyectos de Economía Circular con IA

Para establecer la viabilidad financiera de los proyectos circulares con IA, es necesario descomponer los costos en categorías estándar de evaluación de proyectos:

Costos de Inversión Inicial (CapEx)

- Infraestructura tecnológica y digitalización de procesos: adquisición de hardware, sensores, cámaras multispectrales, infraestructura IoT, estaciones edge computing.
- Desarrollo de algoritmos de IA aplicados a la circularidad: modelado predictivo para mantenimiento, clasificación automática, trazabilidad de materiales, diseño regenerativo asistido por IA.
- Integración con sistemas preexistentes: interoperabilidad con plataformas ERP, SCADA, SIG, CRM de logística inversa.
- Capacitación de personal y desarrollo de competencias digitales circulares.

Costos de Operación y Mantenimiento (OpEx)

- Consumo energético asociado al procesamiento de datos (particularmente en deep learning).
- Costos de almacenamiento, limpieza, normalización y modelado de datos en tiempo real.
- Licenciamiento, mantenimiento predictivo de sistemas y actualización de modelos frente a cambios en condiciones de operación.
- Costos variables según el volumen de materiales, datos y ciclos productivos.

Importante: En proyectos de economía circular, muchos de estos costos son compensados mediante reducción de inputs vírgenes, mejora en el rendimiento de procesos circulares y reducción de residuos no valorizables. Estas compensaciones deben contabilizarse como ahorros directos.





Rentabilidad Económica
Extendida (REE):

Evaluación Integral del ROI

El Retorno de Inversión (ROI) en economía circular debe ampliarse para capturar beneficios más allá de los ingresos netos tradicionales. Se propone aquí el concepto de Rentabilidad Económica Extendida (REE), que combina:

- ROI Financiero Directo (ROI-FD): ahorro de costos, aumento de eficiencia, ingresos por nuevos mercados o modelos de negocio.
- Valor Ambiental Neto (VAN-A): reducción de huella de carbono, ahorro hídrico, mejora de biodiversidad, valorización de residuos.
- Valor Social Incremental (VSI): generación de empleo verde, equidad en el acceso, cohesión social.

Ejemplo práctico:

Imagina un sistema automatizado basado en IA para clasificar residuos textiles. Este sistema puede generar:

- Un ahorro operativo del 40% anual gracias a la reducción de mano de obra humana.
- Un incremento del 25% en materiales reutilizados vendibles.
- Una reducción del 60% en errores de clasificación, lo que significa menos residuos en vertederos.

En entornos urbanos densos, este tipo de proyecto puede recuperar la inversión inicial en menos de 18 meses, con un VAN-A positivo que mide toneladas de CO₂ evitadas y metros cúbicos de residuos desviados del vertedero.



Métodos Avanzados

de Evaluación Económica



Existen varias herramientas y metodologías que permiten analizar el impacto económico y social de estos proyectos de forma más precisa y holística. Aquí te presento algunas de las más útiles.

Análisis Coste-Beneficio Ampliado (ACBA)

Este método considera no solo los ingresos y egresos monetarios, sino también:

- **Ingresos esperados** provenientes de nuevas fuentes de valor.
- **Ahorros cuantificables en consumo energético**, materiales y costos regulatorios.
- **Beneficios sociales y ambientales**, que pueden monetizarse usando técnicas como:
 - La disposición a pagar (WTP)
 - Precios sombra
 - Modelos de simulación de mercado

Se usa especialmente en proyectos donde el impacto ambiental y social es tan importante como el financiero.

Análisis de Coste-Eficiencia (ACE)

Este enfoque compara distintas soluciones tecnológicas según su capacidad para alcanzar una meta específica dentro de la economía circular. Es útil cuando:

- El objetivo es claro (por ejemplo, reciclar X toneladas de material)
 - Se quiere comparar entre opciones (clasificación manual vs. con IA)
 - No se dispone de una monetización directa de todos los efectos
- Permite identificar cuál solución ofrece el mejor resultado por cada euro invertido.

Evaluación Multicriterio Ponderada (EMP)

Ideal para proyectos con múltiples actores involucrados, esta técnica permite integrar varios factores en una sola decisión. Algunos de los criterios que se pueden incluir son:

- Impacto ambiental
- Costo unitario
- Aceptación comunitaria
- Replicabilidad en otros contextos
- Tiempo de retorno
- Nivel de innovación

Métodos como AHP (Analytic Hierarchy Process), TOPSIS o PROMETHEE ofrecen marcos sólidos para aplicar esta evaluación con rigor.

Análisis de Sensibilidad y Escenarios

Simula variaciones de las variables críticas del modelo económico:

- Precio de materiales secundarios
- Tarifas de energía
- Volumen de residuos o productos circulares recuperables
- Regulaciones ambientales
- Su inclusión es esencial en entornos emergentes o de transición hacia políticas de descarbonización.





Conclusiones

Técnicas y Recomendaciones Estratégicas

Los proyectos que combinan inteligencia artificial (IA) y economía circular no solo son técnicamente viables: también son económicamente sostenibles, incluso bajo escenarios conservadores. Pero para que esto sea posible, es fundamental considerar todos los beneficios, incluyendo aquellos que no aparecen directamente en los estados financieros tradicionales.

En muchos casos, los beneficios económicos extendidos —como la reducción de emisiones de CO₂, el ahorro de agua, la generación de empleo verde o la mejora en la reputación corporativa— no suelen tener un valor explícito en los balances convencionales. Sin embargo, estos impactos son reales, medibles y, en muchos casos, clave para acceder a nuevos mercados, financiamiento verde o incentivos gubernamentales.

Gracias a métodos avanzados de evaluación económica —como el Análisis Coste-Beneficio Ampliado (ACBA), la Evaluación Multicriterio Ponderada (EMP) o modelos de Rentabilidad Económica Extendida (REE)—, hoy podemos justificar inversiones en economía circular impulsadas por IA ante organismos internacionales, fondos de inversión sostenible e incluso gobiernos locales.

Un enfoque

- Esto significa integrar métricas circulares como:
- Porcentaje de materiales reciclados en producción
- Kilogramos de residuos evitados
- Horas de vida útil extendida de un producto
- Reducción de huella de carbono
- Transparencia y trazabilidad del ciclo de vida

Todo ello vinculado a indicadores financieros y operativos, para construir una visión completa del impacto real del proyecto. La clave está en medir lo que importa, no solo lo que es fácil de medir.





Dashboards integrados:

herramientas para decisiones informadas

Una forma efectiva de mantener este enfoque sistémico es mediante el uso de dashboards integrados. Estas plataformas permiten visualizar en tiempo real tanto métricas financieras como de sostenibilidad, ayudando a los tomadores de decisiones a evaluar el desempeño desde múltiples dimensiones.

Por ejemplo, un dashboard puede mostrar:

- Cuánto dinero se ha ahorrado gracias a la predicción de fallos en maquinaria
- Cuántas toneladas de CO₂ se han evitado gracias a la optimización energética
- Cuántos empleos verdes se han generado en cadenas de reciclaje inteligente
- Cuántos productos han sido reparados o reutilizados gracias a sistemas predictivos

Estas herramientas no solo mejoran la transparencia interna, sino que también fortalecen la capacidad de reporte hacia stakeholders externos, reguladores y consumidores conscientes.



Una nueva forma **de pensar** la rentabilidad

Lo que antes se veía como un costo adicional, ahora debe verse como una inversión estratégica. La implementación de soluciones basadas en IA dentro de la economía circular no solo reduce costos operativos, sino que también crea nuevas fuentes de ingresos y aumenta la lealtad del cliente.

Empresas que invierten en estos modelos están descubriendo que pueden:

- Reducir costos de materia prima vírgenes gracias al uso eficiente de materiales reciclados
- Mejorar la experiencia del cliente ofreciendo productos más duraderos, personalizables y responsables
- Atraer inversión sostenible, alineándose con criterios ESG (ambientales, sociales y de gobernanza)
- Fortalecer su posicionamiento de marca, demostrando compromiso con el planeta y la innovación
- Prepararse para reglas del juego más exigentes, ya que los marcos regulatorios globales van en dirección a economías más limpias y responsables

En otras palabras: la combinación de economía circular e inteligencia artificial no solo es buena para el medio ambiente, también es una ventaja competitiva que permite diferenciarse en un mercado cada vez más exigente.



Recomendaciones prácticas para empresas

Para que las organizaciones puedan aprovechar al máximo esta convergencia tecnológica y sostenible, aquí tienes algunas recomendaciones estratégicas:

1. Incorpora IA desde el diseño: Usa inteligencia artificial para rediseñar productos, optimizar el uso de recursos y predecir cómo se comportará un bien durante su vida útil.

Esto ayuda a anticipar problemas y diseñar para la circularidad desde el principio.

2. Automatiza la toma de decisiones en toda la cadena de valor: Desde la logística inversa hasta el mantenimiento predictivo, la IA puede mejorar la eficiencia y reducir riesgos. Especialmente útil en sectores intensivos en recursos, como manufactura, construcción o telecomunicaciones.

3. Construye capacidades digitales circulares: Capacita a tu equipo no solo en tecnología, sino en cómo usarla para cumplir objetivos de sostenibilidad. Esto implica formación técnica y cultural, porque la transformación digital va acompañada de una transformación mental.

4. Evalúa proyectos con métricas ampliadas: No mides solo el retorno financiero inmediato. Considera también el valor ambiental y social de tus acciones. Usar métricas como el Valor Ambiental Neto (VAN-A) o el Valor Social Incremental (VSI) te dará una visión mucho más completa del impacto real.

5. Colabora en ecosistemas abiertos: Nadie puede hacerlo todo solo. Trabaja con startups, universidades, institutos de investigación y actores públicos para desarrollar soluciones escalables, replicables y alineadas con tendencias globales.

6. Comunica claramente los resultados: Los consumidores, inversores y gobiernos quieren datos reales, no promesas vacías. Usa IA para medir, documentar y comunicar el impacto de tus iniciativas con precisión y transparencia.

Los proyectos de economía circular que incorporan IA son financieramente viables, incluso bajo supuestos conservadores, cuando se consideran adecuadamente los beneficios económicos extendidos y externalidades positivas.

La aplicación de métodos de evaluación ampliados permite justificar inversiones ante organismos multilaterales, fondos de transición verde o capital de riesgo con propósito (impact investing).

Es fundamental adoptar un enfoque sistémico que integre métricas de circularidad, trazabilidad de impacto y modelado de escenarios.

Se recomienda el uso de dashboards de evaluación integrados, capaces de vincular métricas financieras con indicadores de sostenibilidad (CO₂ evitado, residuos valorizados, empleos verdes generados).



Hagamos un análisis concreto:

Hacia un nuevo paradigma en la industria móvil: **del modelo lineal a la sinergia** entre economía circular e inteligencia artificial

La industria de los dispositivos móviles ha seguido durante años un modelo económico claramente lineal: se extraen materiales escasos como el litio, el cobalto o las tierras raras, se fabrican productos con diseños complejos que dificultan su reparación, se venden bajo una lógica de renovación constante impulsada por campañas de marketing agresivas, y finalmente se descartan, muchas veces sin haber agotado su vida útil real.

Este esquema ha generado beneficios económicos a corto plazo, pero también ha llevado a consecuencias ambientales y sociales profundas. Por ejemplo, cada año se generan más de 60 millones de toneladas de residuos electrónicos, gran parte de ellos procedentes de teléfonos móviles que aún podrían funcionar si se les diera una segunda oportunidad. Además, este sistema aumenta la presión sobre recursos naturales no renovables, intensifica la contaminación asociada a la minería y genera cadenas de suministro poco transparentes y difíciles de controlar.

Frente a esta situación, surge una necesidad clara: transformar radicalmente el sector hacia un modelo donde los productos tengan ciclos de vida más largos, donde los materiales puedan reincorporarse al sistema y donde el valor no se pierda tras una sola venta.

Este cambio no solo es necesario desde el punto de vista ambiental, sino también estratégico. Las empresas que adopten antes este enfoque podrán diferenciarse, reducir costos operativos y cumplir con regulaciones cada vez más estrictas en cuanto a sostenibilidad y responsabilidad social.

Y para lograrlo, hay dos grandes aliados: la economía circular y la inteligencia artificial (IA).

El negocio tradicional de los móviles: crecimiento lineal, costos ocultos

Durante décadas, la industria móvil ha estado estructurada en torno a un modelo de negocio muy claro: lanzamientos frecuentes, actualizaciones de software limitadas para modelos antiguos, y una fuerte promoción del reemplazo incluso cuando el dispositivo aún funciona correctamente.

Este patrón tiene varios efectos negativos. En primer lugar, acelera el consumo de materias primas críticas cuya disponibilidad es limitada. En segundo lugar, genera una cantidad ingente de desechos electrónicos que terminan en vertederos o son procesados de forma inadecuada. Y, en tercer lugar, afecta la percepción del consumidor, que empieza a cuestionar si realmente necesita cambiar de teléfono cada año o si, por el contrario, podría mantenerlo más tiempo con mejoras inteligentes.

Pero esto no es solo una crítica. Es una señal de que el modelo está empezando a mostrar signos de agotamiento.

Cada vez más usuarios exigen alternativas sostenibles, más duraderas y éticamente responsables. Y muchos gobiernos están tomando medidas legislativas para incentivar el diseño modular, la reparabilidad y la recogida responsable de dispositivos usados.

En este contexto, la combinación de economía circular e inteligencia artificial ofrece una solución viable, escalable y rentable.

El negocio tradicional de los móviles:

crecimiento lineal, costos ocultos

Durante décadas, la industria móvil ha estado estructurada en torno a un modelo de negocio muy claro: lanzamientos frecuentes, actualizaciones de software limitadas para modelos antiguos, y una fuerte promoción del reemplazo incluso cuando el dispositivo aún funciona correctamente.

Este patrón tiene varios efectos negativos. En primer lugar, acelera el consumo de materias primas críticas cuya disponibilidad es limitada. En segundo lugar, genera una cantidad ingente de desechos electrónicos que terminan en vertederos o son procesados de forma inadecuada. Y, en tercer lugar, afecta la percepción del consumidor, que empieza a cuestionar si realmente necesita cambiar de teléfono cada año o si, por el contrario, podría mantenerlo más tiempo con mejoras inteligentes.

Pero esto no es solo una crítica. Es una señal de que el modelo está empezando a mostrar signos de agotamiento. Cada vez más usuarios exigen alternativas sostenibles, más duraderas y éticamente responsables. Y muchos gobiernos están tomando medidas legislativas para incentivar el diseño modular, la reparabilidad y la recogida responsable de dispositivos usados.

En este contexto, la combinación de economía circular e inteligencia artificial ofrece una solución viable, escalable y rentable.





Economía circular e
inteligencia artificial:

binomio estratégico para la transición



La economía circular propone un enfoque diferente: diseñar productos para que duren más, sean fáciles de reparar, y sus componentes puedan reintegrarse al sistema productivo al final de su vida útil. No se trata solo de reciclar, sino de construir sistemas donde nada se desperdicie y todo pueda reinserciónse de manera útil.

Y aquí es donde entra en juego la inteligencia artificial. La IA puede ayudar a gestionar este proceso desde múltiples frentes:

- Permite predecir cuándo un componente dejará de funcionar y programar su mantenimiento antes de que ocurra un fallo grave.
- Facilita la logística inversa, optimizando cómo se recolectan, reacondicionan y redistribuyen los dispositivos usados.
- Ayuda a clasificar componentes electrónicos mediante visión artificial, permitiendo separar materiales valiosos con precisión y eficiencia.
- Mejora la experiencia del usuario ofreciendo recomendaciones personalizadas basadas en el uso real del dispositivo, proponiendo opciones de reparación o actualización en lugar de compra de uno nuevo.

Estas aplicaciones no solo reducen el impacto ambiental, sino que también abren nuevas fuentes de ingresos. Por ejemplo, servicios de alquiler de dispositivos, programas de reacondicionamiento certificado o plataformas digitales que conectan a compradores con productos recuperados ofrecen ventajas competitivas claras en un mercado cada vez más consciente de la sostenibilidad.



Beneficios para toda la cadena de valor

El impacto positivo de este nuevo enfoque no se limita a los fabricantes. Se extiende a todos los actores de la cadena de valor.

Para los fabricantes, significa reducir costos asociados a la extracción de nuevos materiales, mejorar la reputación corporativa y acceder a nuevos mercados de productos circulares. Para los distribuidores, abre oportunidades en áreas como el reacondicionamiento, el leasing tecnológico o la venta de dispositivos usados certificados. Los consumidores ganan acceso a productos más duraderos, más baratos y más alineados con sus valores personales. Y los gobiernos y comunidades locales pueden beneficiarse de menores niveles de contaminación, mayor empleo verde y sistemas de gestión de residuos más avanzados.

Este tipo de transformación no solo mejora la imagen de marca, sino que también refuerza la lealtad del cliente y reduce la dependencia de cadenas de suministro frágiles o poco sostenibles.





Casos emergentes y señales del cambio

Ya existen empresas que están liderando esta transición. Empresas como Fairphone han demostrado que es posible fabricar smartphones con diseño modular, fácil de reparar y con materiales sostenibles. Grandes jugadores como Apple y Samsung están integrando soluciones de IA para mejorar sus estrategias de reciclaje, prolongar la vida útil de los dispositivos y ofrecer servicios postventa más inteligentes.

Plataformas como Back Market o Swappie han creado mercados sólidos para dispositivos reacondicionados, usando algoritmos de evaluación y trazabilidad para garantizar calidad y confianza. Incluso organizaciones internacionales como la Unión Europea están empujando hacia estos modelos mediante políticas públicas, normativas medioambientales y fondos dedicados a la transición verde.

Estas iniciativas no son meras excepciones. Son señales de un cambio profundo en la forma en que pensamos los productos tecnológicos. Un cambio que ya no ve el dispositivo como algo que se compra y se tira, sino como algo que se usa, se mantiene y se reintegra al sistema.





¿Por qué es urgente **este cambio?**

No podemos seguir diseñando y produciendo dispositivos bajo un modelo que prioriza el volumen de ventas por encima de la sostenibilidad. Ni tampoco ignorar el potencial de la inteligencia artificial para ayudarnos a gestionar este cambio de forma precisa y eficiente.

La obsolescencia programada, el diseño poco pensado para la reparación y el rápido ritmo de innovación tecnológica han llevado al límite la capacidad del planeta para absorber estos impactos. Pero también han abierto una ventana de oportunidad para reinventar el sector desde dentro.

Las empresas que comprendan esta sinergia entre tecnología, sostenibilidad y servicio al cliente no solo mejorarán su posicionamiento en el mercado, sino que también podrán liderar una nueva etapa donde la rentabilidad y la responsabilidad ambiental dejen de ser conceptos opuestos para convertirse en complementarios.







Casos emergentes y señales del cambio

Empresas como Fairphone han demostrado que se puede desarrollar y comercializar smartphones diseñados con principios de sostenibilidad y economía circular. Grandes fabricantes como Apple y Samsung están implementando IA para mejorar sus estrategias de reciclaje, eficiencia energética y servicios de posventa. Plataformas como Back Market o Swappie han consolidado mercados de móviles reacondicionados de alta calidad, empleando algoritmos de evaluación y trazabilidad para generar confianza en los usuarios.

A nivel institucional, iniciativas como el Pacto Verde Europeo y regulaciones en América Latina y Asia están empujando al sector hacia modelos que prioricen la sostenibilidad, con la IA como aliada clave en la gestión de datos, operaciones y decisiones estratégicas.



Conclusiones



La obsolescencia programada y el modelo lineal de negocio han llevado al límite la sostenibilidad de la industria móvil. Durante años, este sector ha funcionado bajo una lógica clara: lanzar nuevos modelos cada año, incentivar su reemplazo mediante estrategias comerciales agresivas y mantener altas tasas de renovación tecnológica, muchas veces sin justificación técnica real.

Este enfoque ha generado beneficios económicos a corto plazo, pero también ha tenido consecuencias significativas: aumento exponencial de residuos electrónicos, presión sobre recursos naturales escasos como el litio o las tierras raras, cadenas de suministro complejas y poco transparentes, y una creciente insatisfacción del consumidor consciente que empieza a cuestionar si realmente necesita cambiar de dispositivo cada mes.

Frente a esta situación, es evidente que el modelo tradicional está mostrando signos de agotamiento. Ya no puede sostenerse indefinidamente un sistema basado en extracción constante, producción masiva y descarte prematuro. Y esto no solo por razones ambientales, sino también por factores económicos y sociales cada vez más relevantes.

En este contexto, la economía circular y la inteligencia artificial emergen como una solución estratégica y viable para transformar radicalmente el sector. No se trata de una alternativa menor o complementaria, sino de una propuesta concreta, escalable y competitiva que puede convertir a la industria móvil en un ejemplo de regeneración, eficiencia y responsabilidad.



Conclusiones



La economía circular ofrece un nuevo marco conceptual: diseñar productos para que duren más, sean fáciles de reparar y sus componentes puedan reincorporarse al sistema productivo una vez finalizada su vida útil. Pero implementar este modelo a gran escala requiere herramientas avanzadas que permitan monitorear, optimizar y automatizar procesos complejos. Y aquí es donde entra en juego la inteligencia artificial.

Gracias a algoritmos predictivos, sistemas de trazabilidad, clasificación automática de materiales y logística inversa optimizada, la IA permite gestionar el ciclo completo del dispositivo desde una perspectiva integral y sostenible. Esto no solo reduce el impacto ambiental, sino que también abre nuevas vías de valor económico, social y reputacional para las empresas que decidan liderar este cambio.

Las organizaciones que comprendan esta sinergia entre tecnología, diseño responsable y sostenibilidad no solo mejorarán su posicionamiento competitivo, sino que también podrán guiar una nueva etapa donde la rentabilidad y la responsabilidad medioambiental dejen de verse como conceptos opuestos para convertirse en complementarios. La transición hacia una industria móvil verdaderamente circular no solo es posible: ya está en marcha.





Reflexión Final:

Economía Circular como Núcleo Estratégico y la IA

como Multiplicador de Valor Empresarial

Hasta hace poco tiempo, la economía circular era vista por muchas empresas como un compromiso voluntario, una respuesta puntual a presiones regulatorias o simplemente una acción de responsabilidad social. Hoy, sin embargo, está empezando a ocupar un lugar central en la estrategia corporativa, no como un apartado adicional, sino como una base transformadora del modelo de negocio.

Cuando la economía circular se convierte en el núcleo conceptual de una empresa, deja de ser una iniciativa aislada para convertirse en un motor de innovación, eficiencia y valor compartido. Se integra en la forma en que se diseñan productos, se gestionan cadenas de suministro, se interactúa con los clientes y se miden resultados. En este proceso, se redefinen conceptos como la reutilización, el diseño regenerativo, la eficiencia de materiales y la responsabilidad extendida del productor, integrándolos en la cultura empresarial misma.

Pero llevar esto a la práctica no es sencillo. Los sistemas circulares son complejos, dinámicos y dependen de decisiones precisas en tiempo real. Para operarlos con éxito, se necesita una capa de inteligencia que permita observar, aprender y actuar sobre esos ciclos de forma ágil y precisa. Y eso es exactamente lo que aporta la inteligencia artificial.

La IA no solo mejora la eficiencia operativa, también genera ventajas competitivas sostenibles. Ayuda a reducir costos relacionados con energía, materiales y logística, mejora la transparencia y trazabilidad en las cadenas de suministro, incrementa la fidelidad del cliente gracias a productos más duraderos y personalizados, atrae inversión sostenible y refuerza la reputación corporativa en mercados cada vez más exigentes en términos ambientales y éticos.

Empresas como Philips, Unilever, Renault y Levi Strauss & Co. están demostrando cómo esta combinación no solo es viable, sino rentable. Cada una de ellas ha encontrado formas concretas de aplicar la IA para impulsar sus estrategias circulares, obteniendo beneficios claros tanto en términos financieros como en imagen corporativa, innovación y lealtad de marca.

Philips, por ejemplo, ha incorporado modelos predictivos basados en IA para anticipar fallos en equipos médicos reacondicionados, mejorando la disponibilidad de dispositivos críticos y reduciendo costos operativos. Unilever utiliza visión artificial para identificar y clasificar materiales reciclables en tiempo real, aumentando la calidad del plástico recuperado y reduciendo su dependencia de materias primas vírgenes. Renault ha integrado sensores conectados e inteligencia artificial para optimizar procesos de remanufactura, ahorrando energía y generando valor a partir de componentes usados. Y Levi's aplica análisis predictivo para ajustar su producción a la demanda real, evitando sobreproducción y minimizando desperdicios textiles.

Estos casos no son excepciones aisladas. Son señales de una tendencia profunda: **la economía circular está dejando de ser un enfoque marginal para convertirse en un pilar estratégico de las organizaciones modernas.** Y la inteligencia artificial está siendo clave para darle estructura, precisión y escalabilidad.

El valor corporativo ya no se mide únicamente por márgenes de ganancia o volumen de ventas. Ahora incluye capacidad de anticipación de riesgos, construcción de confianza social, atracción de talento diverso y adaptación a regulaciones globales cada vez más estrictas. Y en todos estos aspectos, la combinación de economía circular e inteligencia artificial está ayudando a construir empresas más resilientes, más responsables y más alineadas con las expectativas del siglo XXI.

En definitiva, hacer de la economía circular el corazón de la estrategia empresarial y dotarla de inteligencia artificial como herramienta de gestión, no es simplemente una decisión adaptativa ante los desafíos del momento. Es una declaración de liderazgo. Es una forma de construir organizaciones más ágiles, más inteligentes y profundamente comprometidas con el planeta y las personas.

Es, en pocas palabras, el camino hacia una innovación con propósito.

Anexo 1. Aplicación IA para la Economía Circular.

Ejemplos en Empresa.

Ejemplo 1

PHILIPS

Economía circular en salud con IA predictiva

Philips ha evolucionado hacia un modelo de “HealthTech” basado en la circularidad. Desde 2018, más del 15% de sus ingresos provienen de soluciones circulares, incluyendo programas de reacondicionamiento de equipos médicos, como resonancias magnéticas y ecógrafos. Para garantizar la durabilidad y operatividad de estos equipos, la empresa ha implementado modelos de mantenimiento predictivo basados en IA, que permiten anticipar fallos antes de que ocurran.

Resultados:

- Reducción del 30% en costes de mantenimiento.
- Extensión significativa de la vida útil de los equipos.
- Disminución del 15% en residuos electrónicos generados.
- Mejora de la satisfacción del cliente por reducción de tiempos de inactividad.

Esta estrategia no solo ha permitido a Philips ofrecer un mejor servicio, sino que ha reforzado su imagen como empresa comprometida con la sostenibilidad, aspecto clave en mercados altamente regulados como el sanitario.

Ejemplo 2



Optimización circular de envases mediante IA

Unilever ha adoptado un enfoque integral de economía circular en sus cadenas de suministro, con énfasis en el rediseño de envases plásticos. En colaboración con empresas tecnológicas, utiliza visión por computadora e inteligencia artificial para identificar en tiempo real el tipo y calidad de materiales en sus plantas de clasificación de residuos.

Resultados:

- Mejora del 25% en la calidad de los plásticos reciclados.
- Incorporación de hasta un 60% de contenido reciclado en envases de determinadas líneas de productos.
- Reducción de costes derivados de materiales vírgenes y penalizaciones regulatorias.

Además, Unilever ha podido demostrar métricas claras de circularidad y sostenibilidad, fortaleciendo su narrativa corporativa y mejorando su acceso a financiamiento verde.



Ejemplo 3



Remanufactura y economía circular industrial con IA

En el sector automotriz, Renault es pionera en economía circular. A través de su planta en Choisy-le-Roi (Francia), la compañía remanufactura motores y cajas de cambio, integrando sensores IoT e inteligencia artificial para monitorear el desgaste de componentes y definir estrategias de reacondicionamiento.

Resultados:

- Hasta un 80% de ahorro energético frente a la fabricación de componentes nuevos.
 - Costes de producción 30% inferiores.
- Más de 300.000 componentes remanufacturados anualmente.
- Reducción de 18.000 toneladas de CO₂ al año.

La combinación de IA con procesos circulares ha transformado una unidad de reciclaje en una fuente de rentabilidad y reputación industrial, alineando la estrategia de Renault con los objetivos de la movilidad sostenible.

Ejemplo 3



Moda circular apoyada en IA predictiva

En la industria de la moda, Levi's ha iniciado una transición hacia un modelo circular que incluye diseño modular, uso de fibras recicladas y servicios de reparación. La IA ha sido clave en su estrategia, especialmente en el análisis de datos de consumo y predicción de tendencias para ajustar la producción a la demanda real, reduciendo excedentes y sobreproducción.

Resultados:

- Disminución del 40% en inventario sobrante.
- Implementación de un sistema de reciclaje de jeans que reutiliza fibras para nuevas colecciones.
- Mejora de la percepción de marca entre consumidores jóvenes y conscientes.
- La empresa ha logrado conectar circularidad, eficiencia de datos y estrategia de marca, posicionándose como un actor innovador en una industria históricamente intensiva en recursos.





Referencias

[1] Ellen MacArthur Foundation. (2012). *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale*.

[2] Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232.

[3] Stahel, W. R., & Reday-Mulvey, G. (1981). *Jobs for Tomorrow: The Potential for Substituting Manpower for Energy*. Vantage Press.

[4] Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144-152.

[5] McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.

[6] Ellen MacArthur Foundation. (Consultar página web para informes y recursos más recientes).

[7] European Commission. (2020). *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*.

[8] McKinsey & Company. (2019). *Inteligencia artificial y la economía circular: La IA como herramienta para acelerar la transición*. Recuperado de <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/artificial-intelligence-and-the-circular-economy-ai-as-a-tool-to-accelerate-the-transition/es-CL>

[9] Autodesk. (s.f.). *Software de diseño generativo mediante IA*. Recuperado de <https://www.autodesk.com/es/solutions/generative-design-ai-software>

[10] Autodesk. (2023). *Presentamos Autodesk AI para diseño y creación*. Recuperado de <https://blogs.autodesk.com/latam/2023/11/27/presentamos-autodesk-ai-para-diseno-y-creacion/>

[11] AI4Green. (s.f.). *Inteligencia artificial para impulsar la economía circular*. Recuperado de <https://www.camaravalencia.com/ai4green-inteligencia-artificial-para-impulsar-la-economia-circular/>



Referencias



[12] QuoNoticias. (s.f.). *Cómo funcionan los sistemas de inteligencia artificial en la industria del reciclaje*. Recuperado de <https://www.quonoticias.com/como-funcionan-los-sistemas-de-inteligencia-artificial-en-la-industria-del-reciclaje/12986>

[13] Robeco. (2024). *Economía circular y el potencial de la inteligencia artificial*. Recuperado de <https://www.robeco.com/es-es/vision-de-mercado/2024/08/economia-circular-y-el-potencial-de-la-inteligencia-artificial>

[14] Global Omnium. (2024). *Empleo de Inteligencia Artificial para promover prácticas responsables a favor del medio ambiente y la economía circular*. Recuperado de <https://cadenaser.com/comunitat-valenciana/2024/10/28/global-omnium-emplea-inteligencia-artificial-para-promover-practicas-responsables-a-favor-del-medio-ambiente-y-la-economia-circular-radio-valencia/>

[15] Siemens. "Predictive maintenance using AI," Siemens Digital Industries, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://new.siemens.com/global/en/products/services/predictive-services.html>

[16] Accenture. "Product-as-a-Service: Using AI to redefine ownership," Accenture Strategy, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.accenture.com/us-en/insights/industry-x/product-as-a-service>

[17] Apple Inc. "Battery and performance," Apple Support, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://support.apple.com/en-us/HT208387>

[18] AMP Robotics. "Recycling with AI-powered robots," AMP Robotics Case Studies, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.amprobotics.com/>

[19] Bigbelly. "Smart waste and recycling system," Bigbelly Solutions, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bigbelly.com/>

[20] Ecovidrio. "Estrategia de digitalización y logística inteligente," Ecovidrio.org, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecovidrio.es/>

[21] IBM. "AI-powered material recovery," IBM Research, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://research.ibm.com/blog/material-recovery-ai>



Referencias



[22] Ellen MacArthur Foundation. "Artificial intelligence and the circular economy," Insights Brief, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ellenmacarthurfoundation.org/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>

[23] CoCircular. "Gestión digital de residuos en la construcción," CoCircular Projects, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.cocircular.com/>

[24] Ellen MacArthur Foundation, "Artificial Intelligence and the Circular Economy," 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ellenmacarthurfoundation.org/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>

[25] McKinsey & Company, "Artificial Intelligence and the Circular Economy: AI as a Tool to Accelerate the Transition," 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.mckinsey.com>

[26] European Commission, "Digital Solutions for a Circular Economy," 2022. [En línea]. Disponible en: <https://environment.ec.europa.eu/>

[27] World Economic Forum, "The Next Frontier for Circular Economy: AI and Data," 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.weforum.org/>

[28] Accenture, "Intelligent Circular Economy: AI as a Driver of Sustainable Value," 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.accenture.com/>

[29] World Resources Institute, "AI in Waste Management," 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.wri.org/>

[30] OECD, "Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use," 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.oecd.org/>

[31] UNEP, "Circular Economy and Cost-Effectiveness of Sustainable Innovation," 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.unep.org/>

[32] Saaty, T. L., "Decision making with the analytic hierarchy process," *Int. J. Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008.

[33] European Environment Agency, "Sensitivity Analysis in Environmental Assessment," 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/>

[34] Robeco, "Economía circular y el potencial de la inteligencia artificial," 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.robeco.com/es-es/vision-de-mercado/2024/08/economia-circular-y-el-potencial-de-la-inteligencia-artificial>





Referencias

[35] C. Slade, "Planned Obsolescence," in *The Oxford Handbook of Consumption*, Oxford University Press, 2019.

[36] United Nations University, "The Global E-waste Monitor 2020," ITU, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://globalewaste.org>

[37] European Commission, "Circular Economy Action Plan," 2020. [En línea]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>

[38] European Environment Agency, "Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU," 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/>

[39] Global E-waste Statistics Partnership, "E-waste surges amid COVID-19," 2020. [En línea]. Disponible en: <https://globalewaste.org/>

[40] World Economic Forum, "A New Circular Vision for Electronics," 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.weforum.org/>

[41] Ellen MacArthur Foundation, "Circular Smartphones," 2021. [En línea]. Disponible en: <https://ellenmacarthurfoundation.org/>

[42] Accenture, "Circular supply chains and artificial intelligence," 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.accenture.com/>

[43] International Labour Organization, "Decent work in the circular economy," 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ilo.org/>

[44] Fairphone. "Our story and mission," 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fairphone.com/>

[45] Back Market. "How we recondition and certify smartphones," 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.backmarket.com/>

[46] European Commission, "The European Green Deal," 2019. [En línea]. Disponible en: <https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/>

[47] J. C. Bocken, S. W. Short, P. Rana y S. Evans, "A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes," *Journal of Cleaner Production*, vol. 65, pp. 42–56, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.039>





Referencias

[48] Philips, "Sustainability at Philips: Circular economy," Philips Sustainability Reports, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.philips.com/a-w/about/sustainability/circular-economy.html>

[49] Unilever, "Progress report on plastic packaging," Unilever Sustainability Hub, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.unilever.com/planet-and-society/reducing-plastic/our-progress/>

[50] Renault Group, "The Renault Group and the circular economy," Renault Group Official Website, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.renaultgroup.com/en/sustainable-development/circular-economy/>

[51] Levi Strauss & Co., "Levi's Sustainability and Circular Design," 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.levistrauss.com/sustainability>



