Revista Científica Arbitrada Reporte Climatológico
ISSN (e): 3080 – 2504 / Depósito Legal: ZU2024000193
Vol. 2(1), enero-junio 2026

TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS ELECTRÓNICOS EN VENEZUELA MEDIANTE EL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Jesús Cupello Parra*
https://orcid.org/0009-0001-3925-5794

RECIBIDO: 22/06/2025 **ACEPTADO**: 07/01/2026 **PUBLICADO**: 20/01/2026

Cómo citar: Cupello, J. (2026). Transformación de residuos electrónicos en Venezuela mediante el uso de la inteligencia artificial. *Revista Científica Arbitrada Reporte Climatológico, 2*(1), 31-49.

RESUMEN

La innovación tecnológica desempeña un papel esencial en el impulso del desarrollo de los países, al facilitar la modernización de procesos y la adopción de herramientas electrónicas de última generación. Este progreso, aunque representa un motor clave para el crecimiento de las sociedades, también trae consigo consecuencias que deben ser atendidas, como el incremento sostenido de residuos electrónicos producto de la constante renovación de dispositivos. El mal manejo de estos desechos constituye un problema global, cuyos efectos se traducen en un deterioro progresivo de las condiciones ambientales y en riesgos significativos para la salud de la población. En el contexto venezolano, la acumulación de residuos electrónicos ha alcanzado niveles preocupantes, en parte debido a la ausencia de sistemas eficaces para su gestión. Esta situación plantea la urgencia de implementar estrategias innovadoras que permitan enfrentar este desafío de manera responsable y sostenible. En este contexto, la inteligencia artificial se presenta como una herramienta clave para optimizar la gestión de estos desechos. Mediante algoritmos de clasificación inteligente, visión por computadora y aprendizaje automático, la IA permite identificar componentes reutilizables, automatizar procesos de reciclaje y reducir los costos operativos.

Palabras clave: transformación, residuos electrónicos, Inteligencia Artificial.

---

*Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín, Maracaibo-Venezuela, jcparra32@hotmail.com

Electronic waste transformation in Venezuela through the use of artificial intelligence

ABSTRACT

Technological innovation plays a crucial role in driving the development of countries by facilitating the modernization of processes and the adoption of cutting-edge electronic tools. This progress, while serving as a key engine for societal growth, also brings consequences that must be addressed, such as the steady increase in electronic waste resulting from the constant renewal of devices. The improper handling of this waste is a global issue, with effects that contribute to the progressive deterioration of environmental conditions and pose significant risks to public health. In the Venezuelan context, the accumulation of electronic waste has reached alarming levels, partly due to the lack of effective management systems. This situation highlights the urgent need to implement innovative strategies that can address this challenge in a responsible and sustainable manner. In this context, artificial intelligence emerges as a key tool to optimize the management of such waste. Through intelligent classification algorithms, computer vision, and machine learning, AI enables the identification of reusable components, the automation of recycling processes, and the reduction of operational costs.

Keywords: transformation, waste electronics, artificial intelligence.

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo aborda la transformación de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en Venezuela mediante el uso de la inteligencia artificial (IA) como herramienta tecnológica para optimizar su gestión. El problema central de la investigación se basa en la creciente acumulación de RAEE en el país, asociada a una gestión ineficiente, fragmentada y carente de políticas públicas sostenibles, lo cual genera impactos ambientales significativos y riesgos sociales en aumento. La ausencia de soluciones tecnológicas adaptadas a la realidad venezolana representa un vacío crítico en el conocimiento aplicado al manejo de estos desechos.

La innovación tecnológica, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en su Manual de Oslo (2005), se define como *"la implementación de un producto (bien o servicio) o proceso nuevo o significativamente mejorado, un nuevo método de comercialización o un nuevo método organizativo en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores."*

En la actualidad, la innovación constituye uno de los elementos fundamentales de nuestras sociedades. Genera beneficios significativos, como avances tecnológicos, nuevos equipos, mayor rapidez y productos de calidad. No obstante, cuando dicha innovación se introduce en el mercado, surge una interrogante clave: ¿qué sucede con aquello que es reemplazado? En muchos casos, las soluciones tecnológicas generan a su vez nuevos problemas, como la creciente contaminación ambiental provocada por el aumento de residuos electrónicos.

Uno de los efectos más notables de la innovación tecnológica es la aceleración en la sustitución de aparatos eléctricos, lo que incrementa la generación de residuos derivados de estos dispositivos, conocidos como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). También denominados basura o desechos electrónicos, estos residuos son definidos por Pascual (2010) como *"dispositivos que para funcionar necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos y que, una vez finalizada su vida útil, se convierten en residuos. Incluyen una amplia gama de productos como electrodomésticos, equipos de informática, telecomunicaciones y electrónicos de consumo."*

Los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) se consideran bienes de consumo masivo tanto en Venezuela como en el resto del mundo, y su uso presenta una tendencia creciente. Esto implica un aumento considerable en la generación de RAEE, originados por equipos que alcanzan el final de su vida útil, ya sea por desgaste o por obsolescencia tecnológica.

Estos residuos contienen sustancias peligrosas y materiales potencialmente tóxicos, tales como retardantes de llama bromados (BFR), contaminantes orgánicos persistentes (COP), y metales pesados, entre otros componentes.

La necesidad de abordar esta problemática se justifica por la urgencia de mitigar los efectos contaminantes de los RAEE y por la importancia de promover un modelo de economía circular que favorezca tanto la sostenibilidad ambiental como el desarrollo económico local. En el contexto venezolano actual, caracterizado por limitaciones económicas, deterioro institucional y una gestión deficiente de los residuos sólidos, resulta estratégico explorar herramientas basadas en IA que permitan optimizar procesos como la clasificación, la trazabilidad, el reciclaje y la reutilización de componentes electrónicos.

El marco teórico de esta investigación se fundamenta en la teoría de la economía circular (Ellen MacArthur Foundation, 2013), el enfoque de la gestión sostenible de residuos (Wilson et al., 2012). Se abordan conceptos clave como el aprendizaje automático, la visión por computadora y la automatización inteligente, considerados variables operativas en el análisis. Asimismo, se incorpora la normativa más reciente en Venezuela como lo son Resolución N° 022 (2024) emitida por el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo.

Existen antecedentes relevantes que demuestran el uso de IA en la gestión de residuos en países como China, India y Brasil, Sin embargo, en Venezuela la literatura especializada y los estudios aplicados en esta área son escasos, lo que convierte a este trabajo en un aporte novedoso al proponer una solución tecnológica contextualizada a la realidad nacional.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Economía circular

La economía circular es un modelo económico regenerativo y sostenible que contrasta con el modelo tradicional lineal de "tomar, hacer y desechar". En lugar de agotar los recursos naturales y generar grandes cantidades de desechos, la economía circular busca mantener los productos, materiales y recursos en uso el mayor tiempo posible, a través de estrategias como la reutilización, el reciclaje y la reducción de residuos.

En este orden de ideas, la Fundación Ellen MacArthur (2013) define la economía circular como "un marco económico restaurativo y regenerativo por diseño, que busca redefinir el crecimiento, enfocándose en beneficios para toda la sociedad. Implica desvincular gradualmente la actividad económica del consumo de recursos finitos y diseñar los residuos fuera del sistema." Esta definición destaca el enfoque holístico que debe adoptar la economía circular: no solo aborda los aspectos ambientales, sino que promueve una transformación estructural del sistema productivo hacia un modelo más sostenible y equitativo.

La Fundación Ellen MacArthur, una de las principales organizaciones pioneras en este concepto, identifica tres principios fundamentales que sustentan la economía circular:

- Diseñar para eliminar los residuos y la contaminación Los productos deben concebirse desde el inicio de su ciclo de vida para evitar que se conviertan en residuos. Esto implica eliminar el uso de materiales tóxicos y facilitar su desensamblaje y recuperación.

- Mantener los productos y materiales en uso En lugar de desechar un producto al finalizar su vida útil, se deben buscar formas de prolongar su ciclo de vida: reparándolo, reacondicionándolo o reutilizando sus componentes.

- Regenerar los sistemas naturales Se promueve la restauración del medio ambiente mediante el uso responsable de los recursos y el retorno de nutrientes a los ecosistemas, especialmente en sectores como la agricultura y la energía.

Estos principios no solo tienen un impacto ambiental, sino también social y económico, al fomentar la innovación, la eficiencia en el uso de materiales y la creación de nuevos modelos de negocio. La definición propuesta por la Fundación Ellen MacArthur constituye un avance conceptual significativo al plantear un modelo económico que no solo responde a la crisis ambiental, sino que propone una transformación estructural del sistema productivo. Describir la economía circular como un *"*marco económico restaurativo y regenerativo por diseño*"* resalta la necesidad de repensar profundamente cómo se conciben, fabrican, utilizan y desechan los productos en la actualidad.

Un aspecto especialmente valioso de esta definición es su énfasis en diseñar los residuos fuera del sistema. Este principio va más allá del reciclaje y la reutilización tradicionales, implicando una innovación radical en el diseño de materiales, procesos y modelos de negocio.

Esto posiciona a la economía circular no como una etapa final en la cadena de valor, sino como una estrategia preventiva e integradora que comienza desde la génesis misma del producto. En otras palabras, se trata de sustituir el concepto de residuo por el de *recurso latente*, lo que subraya la importancia de la eficiencia y la planificación desde la etapa de diseño.

Este enfoque plantea que los residuos no son inevitables, sino el resultado de un diseño ineficiente. Así, propone rediseñar los sistemas de producción y consumo para que los materiales puedan reincorporarse al ciclo productivo una y otra vez, sin perder valor.

En el mismo orden de ideas el autor Stahel (2010) define la economía circular como un modelo que prolonga la vida útil de los bienes, reutiliza sus componentes y recicla los materiales, reduciendo así la necesidad de recursos nuevos y la generación de residuos.

La definición propuesta por Walter R. Stahel (2010**)** representa uno de los enfoques más pragmáticos y pioneros dentro del paradigma de la economía circular, al centrar su atención en la prolongación de la vida útil de los bienes, la reutilización de componentes y el reciclaje de materiales. Este enfoque es especialmente valioso porque introduce una lógica funcional dentro del sistema económico: en lugar de depender de la extracción constante de recursos vírgenes, se busca maximizar el valor de lo ya producido, reduciendo al mismo tiempo la presión sobre los ecosistemas.

Un aspecto central del aporte de Stahel es que concibe la circularidad como una estrategia para preservar el valor económico de los productos, no sólo como una medida ambiental. Esta visión permite tender puentes entre la sostenibilidad ecológica y la eficiencia económica, posicionando la economía circular no como una utopía ambientalista, sino como una alternativa realista y rentable para las empresas y los sistemas productivos.

2.2. Residuos electrónicos (RAEE)

Los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) se refieren a los dispositivos que contienen componentes eléctricos o electrónicos y que ya no son útiles debido a su obsolescencia, daño o desuso. Este tipo de residuos incluye una amplia gama de productos, tales como computadoras, teléfonos móviles, electrodomésticos, televisores, lámparas fluorescentes, baterías, entre otros. Los RAEE no solo comprenden los productos electrónicos en su totalidad, sino también las partes que los componen, como cables, tarjetas electrónicas, pantallas, circuitos, entre otros.

Al analizar las vías en que se afecta el medio ambiente, en forma negativa, Elías (2009) describe uno de los vectores contaminantes a los residuos, quien los define como “el último eslabón de cualquier actividad, ya sea doméstica, industrial, agrícola, etc. “. Esta es una definición que, aunque concisa, encierra una profunda reflexión sobre la relación entre la actividad humana y la degradación ambiental.

Desde una perspectiva crítica, esta afirmación invita a considerar que los residuos no son un fenómeno aislado o un subproducto accidental, sino el resultado inevitable del

modelo actual de producción y consumo. En otras palabras, Elías no solo nos habla de los residuos como una consecuencia material, sino como el reflejo de una lógica social y económica centrada en el uso intensivo de recursos y en la generación constante de desechos.

Cuando se dice que los residuos son "el último eslabón", se está reconociendo su posición final en la cadena de cualquier proceso. Pero lo que Elías parece sugerir, de forma implícita, es que esa última etapa ha sido históricamente ignorada o minimizada. La atención suele centrarse en la producción, el consumo y el rendimiento económico, dejando de lado lo que ocurre una vez que los bienes ya no cumplen su función. Esto genera una visión fragmentada del ciclo de vida de los productos, donde el desecho no es tratado con la misma importancia que su origen o su uso.

Aportando desde una lectura personal y crítica, se puede argumentar que esta frase también revela una profunda desconexión cultural con la noción de responsabilidad ambiental. Si bien todos generamos residuos, pocos se detienen a pensar en qué ocurre con ellos.

En otro orden de ideas, inclinado a una visión más amplia el autor a, lo que lo convierte también en un desecho.

Mientras que Elías (2009) describe los residuos como “el último eslabón de cualquier actividad”, Chalarca Zapata (2025) pone énfasis en el ciclo de vida del aparato, señalando que incluso dispositivos funcionales pueden convertirse en residuos debido a la obsolescencia programada. Ambas perspectivas coinciden en que los residuos electrónicos son una consecuencia directa de nuestras actividades, ya sea por el desgaste natural o por decisiones de diseño que fomentan el reemplazo prematuro.

En Venezuela, el problema general de la basura es abordado inicialmente por medio de la Ley Integral de la Basura, en sus definiciones (artículo 6) dice sobre residuos (sólidos) que son “material remanente o sobrante de actividades humanas, que por sus características físicas, químicas y biológicas puede ser utilizado en otros procesos”.

Esta definición va más allá de una mera descripción técnica: propone una visión funcional y valorativa del residuo, alejándose del enfoque tradicional que los considera como desechos inútiles destinados a la eliminación.

Desde una lectura crítica, esta formulación implica un cambio de paradigma importante. El residuo ya no se concibe exclusivamente como un producto final sin valor, sino como un recurso potencial. Esto implica que la gestión de los residuos debe partir del reconocimiento de su utilidad latente, lo que promueve principios como el reaprovechamiento, el reciclaje, la reutilización y, en última instancia, la economía circular. Además, la ley plantea que la reutilización depende de las características físicas, químicas y biológicas del residuo.

2.3. Impacto ambiental y humano de los RAEE mal gestionados

La expansión acelerada de la tecnología ha traído consigo innumerables beneficios para la sociedad, pero también ha generado un desafío creciente: la gestión de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Estos residuos, producto del descarte de dispositivos como computadoras, teléfonos móviles, electrodomésticos y otros equipos electrónicos, contienen una compleja mezcla de materiales, muchos de ellos altamente contaminantes.

Cuando los residuos electrónicos no se gestionan adecuadamente, las sustancias tóxicas que contienen pueden liberarse al entorno, infiltrándose en el suelo y llegando a las fuentes de agua. Esta situación pone en riesgo recursos naturales esenciales y puede provocar que las personas entren en contacto con compuestos peligrosos. Muchos aparatos electrónicos incluyen elementos nocivos como el plomo, el mercurio y el cadmio, cuyas consecuencias para la salud son especialmente graves.

El plomo, por ejemplo, se encuentra frecuentemente en los cables y las soldaduras de diversos equipos electrónicos. La exposición a este metal puede causar daños severos en el sistema nervioso, especialmente en niños y mujeres embarazadas, provocando desde dificultades en el aprendizaje hasta alteraciones en el comportamiento. Por su parte, el mercurio —presente en lámparas de bajo consumo y pantallas de ciertos dispositivos— representa una amenaza para el cerebro y los riñones, y puede afectar gravemente el desarrollo neurológico del feto durante el embarazo.

2.4. Normativa que regula los RAEE en Venezuela

Venezuela ha adoptado una serie de políticas nacionales que buscan promover la sostenibilidad y la gestión adecuada de los recursos naturales, lo que indirectamente afecta la disposición de residuos electrónicos. Estas políticas se alinean con los principios de la economía circular, incentivando la reducción, reutilización y reciclaje de materiales, incluidos los componentes de los RAEE.

Las normativas vigentes sobre los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en Venezuela está orientada a la gestión adecuada de estos residuos para evitar impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. Aunque no existe una legislación exclusiva que regule los RAEE en el país, se han implementado diversas leyes y regulaciones que buscan minimizar el impacto ambiental de los residuos y promover prácticas de reciclaje responsables**.**

A) Ley de Gestión Integral de la Basura (2010): La Ley de Gestión Integral de la Basura tiene como objetivo la gestión y disposición adecuada de los residuos, incluyendo los residuos sólidos urbanos y los residuos especiales como los RAEE. Esta ley establece principios para la minimización de residuos, el reciclaje y la valorización de los mismos. B) Normas Técnicas Venezolanas (COVENIN) Las Normas Técnicas Venezolanas (COVENIN) son una serie de regulaciones que establecen los requisitos técnicos para el manejo de residuos en Venezuela. En el caso de los RAEE, estas normativas se refieren a la clasificación, almacenamiento, transporte y disposición final de estos residuos. Aunque no se enfocan únicamente en los RAEE, proporcionan una base para las prácticas de manejo de residuos peligrosos y electrónicos.

C) Resolución Nº 022 En abril de 2024, Venezuela publicó la Resolución Nº 022 en la Gaceta Oficial Nº 42.871 (03/05/2024), que establece el Reglamento para la Gestión Integral de los RAEE, vigente a partir del 3 de agosto de 2024. Esta normativa tiene como objetivo principal regular la recolección, tratamiento, reciclaje y disposición final de los RAEE, buscando reducir su impacto ambiental y fomentar una gestión responsable.

Entre sus aspectos más importantes, la resolución impone la responsabilidad extendida del productor, lo que significa que fabricantes, importadores y comercializadores deben desarrollar e implementar planes de manejo para los residuos electrónicos que generen sus productos.

Además, se promueve el uso de sistemas de trazabilidad para garantizar que los residuos sean tratados de forma segura y transparente, y se prohíbe expresamente el abandono, quema o disposición inadecuada de los RAEE. La resolución establece sanciones económicas y legales para quienes incumplan estas disposiciones.

En resumen, esta norma representa un paso importante hacia una economía circular en Venezuela, al establecer reglas claras para el manejo de los residuos electrónicos y proteger tanto el ambiente como la salud pública.

2.5. Inteligencia Artificial en la gestión de RAEE

La inteligencia artificial (IA) representa una de las transformaciones más profundas de la era moderna, no solo como una herramienta tecnológica, sino como un nuevo marco de interacción entre los seres humanos y las máquinas. Uno de los factores clave que facilita la inteligencia artificial es la toma de decisiones, la cual mejora la selección de acciones en tareas que generan beneficios tanto sociales como particulares para los seres humanos. Este componente innovador y transformador, que se integra en empresas, organizaciones y sociedades, aporta avances significativos, facilitando tanto la toma de decisiones como el acceso a información relevante. Ante este panorama, resulta fundamental definir qué es la inteligencia artificial.

De acuerdo con la Organización Iberdrola (2023), la inteligencia artificial se define como: “la fusión de algoritmos concebidos con el fin de desarrollar máquinas capaces de igualar las habilidades del ser humano. Se trata de una tecnología que, aunque aún nos parezca distante y enigmática, ha estado presente en nuestra vida diaria durante los últimos años, de manera constante y en todo momento”.

Partiendo de esta definición, la inteligencia artificial puede entenderse como la integración de algoritmos diseñados para permitir que las máquinas realicen tareas que tradicionalmente requieren habilidades humanas, como razonar, aprender, tomar

decisiones o resolver problemas. Aunque a menudo se percibe como una tecnología futurista o compleja, en realidad, forma parte de nuestra vida cotidiana desde hace tiempo. Está presente en aplicaciones que utilizamos a diario, como asistentes virtuales, recomendaciones personalizadas en plataformas digitales y sistemas de navegación, lo que demuestra que esta tecnología ya convive con nosotros de forma constante y silenciosa.

En el ámbito de la gestión de residuos electrónicos, la toma de decisiones eficiente y fundamentada se ha convertido en un elemento clave para lograr una gestión ambientalmente responsable y económicamente viable. Aunque se busca minimizar cualquier margen de error en estos procesos, es indispensable reconocer que las decisiones son ejecutadas por personas cuya racionalidad se ve influenciada no solo por criterios técnicos, sino también por factores emocionales y sociales.

En el contexto de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), varios autores han explorado el uso de la inteligencia artificial para mejorar los procesos de recolección, clasificación, reciclaje y gestión. Un ejemplo relevante de cómo la IA puede transformar la gestión de RAEE es el trabajo de Liu et al. (2020), quienes proponen que "la inteligencia artificial puede desempeñar un papel crucial en la mejora de la eficiencia del reciclaje y en la identificación precisa de componentes dentro de los dispositivos electrónicos."

Según estos autores, el uso de la IA en la gestión de RAEE permite automatizar la clasificación de materiales y la identificación de elementos valiosos, como metales preciosos o componentes reciclables, mediante algoritmos de aprendizaje automático y visión por computadora. Este enfoque no solo reduce los costos operativos, sino que también optimiza el proceso, asegurando que los materiales sean recuperados con mayor precisión y eficiencia.

A partir de la perspectiva de los mencionados autores, es posible aplicar la inteligencia artificial en la gestión de RAEE a través de los siguientes campos:

A) Clasificación automática de residuos: Este innovador proceso utiliza visión por computadora e inteligencia artificial para mejorar la eficiencia en la clasificación de dispositivos electrónicos, como televisores, móviles y electrodomésticos, durante su reciclaje. El sistema emplea cámaras de alta resolución montadas sobre cintas

transportadoras, las cuales capturan imágenes detalladas de los dispositivos mientras se desplazan. Los algoritmos de IA procesan estas imágenes, analizando las características específicas de cada objeto, tales como su tamaño, forma, materiales y etiquetas de identificación. Los algoritmos, entrenados para reconocer diferentes tipos de residuos, son capaces de diferenciar de manera precisa y rápida entre los diversos aparatos electrónicos.

B) Análisis predictivo aplicado a la gestión de residuos electrónicos (RAEE): Esta poderosa herramienta utiliza la inteligencia artificial para anticipar tendencias y comportamientos relacionados con los residuos generados. Por ejemplo, permite predecir el volumen de RAEE que se generará en una región determinada o incluso anticipar cuándo un tipo específico de dispositivo, como un Smartphone o un televisor, llegará al final de su vida útil.

C) Optimización logísticas en la gestión de residuos electrónicos (RAEE): El uso de algoritmos de inteligencia artificial mejora significativamente la planificación de las rutas de recolección y distribución de residuos. Esto reduce costos y emisiones de carbono al minimizar los desplazamientos innecesarios y optimizar el uso de los recursos de transporte. Además, la IA facilita la planificación del mantenimiento predictivo de la maquinaria utilizada en las plantas de reciclaje. En lugar de esperar a que los equipos fallen, se pueden prever posibles problemas antes de que ocurran, lo que permite realizar el mantenimiento de manera oportuna.

D) Economía circular y trazabilidad de componentes electrónicos: Los sistemas inteligentes permiten rastrear cada componente de un dispositivo electrónico a lo largo de su ciclo de vida, identificando si es posible reutilizarlo o repararlo. Gracias a la trazabilidad, los materiales y partes que aún son funcionales pueden ser recuperados y reincorporados a la cadena de producción, lo que reduce la necesidad de extraer nuevos recursos y minimiza el desperdicio.

En síntesis, la inteligencia artificial se está consolidando como una herramienta clave en la transformación de diversos sectores, incluyendo la gestión de residuos electrónicos. Su capacidad para optimizar procesos como la clasificación, el análisis predictivo, la logística y la trazabilidad de componentes ofrece soluciones innovadoras para enfrentar los desafíos ambientales y económicos que implica el manejo de los RAEE. A

medida que esta tecnología avanza, se abre un abanico de oportunidades para mejorar la eficiencia de los sistemas de reciclaje, reducir costos y fomentar una economía circular más sostenible.

2.6. Propuesta de solución: sistema de gestión de RAEE con IA

La propuesta de solución se centra en el desarrollo de un sistema inteligente para la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) que integra la inteligencia artificial (IA) en todas las fases del proceso, desde la clasificación hasta la recolección. En primer lugar, el sistema empleará algoritmos de IA avanzados para clasificar de manera automatizada los residuos electrónicos. Estos algoritmos identificarán y separarán los componentes de los dispositivos en diferentes categorías: reutilizables, reciclables y peligrosos, lo que permitirá maximizar la recuperación de materiales valiosos, como metales preciosos, y garantizar una disposición segura de los elementos peligrosos.

Además, para facilitar la gestión por parte de los usuarios, se creará una plataforma digital accesible tanto a través de una página web como de una aplicación móvil. Esta plataforma permitirá a los usuarios registrar sus dispositivos electrónicos obsoletos, conocer los puntos de recolección cercanos y seguir el estado del reciclaje de sus productos. Asimismo, la plataforma contará con un componente de IA que podrá prever la demanda de reciclaje de ciertos componentes, optimizando el proceso logístico y asegurando que los materiales más necesarios sean recogidos con mayor rapidez y eficiencia.

2.7. Implementación de la IA en la recolección y el transporte

Una parte fundamental de la propuesta es la optimización de la recolección y transporte de los residuos electrónicos mediante el uso de inteligencia artificial. A través de algoritmos avanzados, el sistema podrá determinar las rutas más eficientes para la recolección de los RAEE, lo que no solo reducirá los costos operativos, sino que también disminuirá las emisiones de carbono al optimizar los desplazamientos de los vehículos encargados de la recolección. Además, la plataforma podrá integrar sensores inteligentes ubicados en los puntos de recolección, los cuales proporcionarán datos en tiempo real sobre la cantidad de residuos almacenados en cada punto, permitiendo la gestión dinámica y adaptativa de las rutas de recolección. Esto también facilitará el ajuste de las frecuencias

de recolección en función de la demanda, evitando tanto la saturación de los puntos de recolección como los desplazamientos innecesarios.

El uso de sensores inteligentes también permitirá la monitorización de las condiciones de los dispositivos y contenedores, ayudando a mejorar la planificación y programación del mantenimiento de los equipos de recolección y otros recursos asociados. En lugar de esperar que los equipos de recolección sufran fallos, la IA permitirá anticipar posibles problemas y llevar a cabo el mantenimiento preventivo de manera eficiente.

3. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo de tipo documental, ya que su propósito principal es analizar, interpretar y reflexionar sobre la problemática del manejo de residuos electrónicos en Venezuela y cómo la inteligencia artificial (IA) puede ser aplicada como herramienta innovadora en este contexto. Este enfoque permite profundizar en la comprensión del fenómeno mediante la revisión sistemática y crítica de fuentes teóricas, técnicas y normativas relevantes.

El estudio es de tipo documental, debido a que se fundamenta en el análisis de fuentes secundarias, tales como artículos científicos, informes técnicos, tesis, libros especializados, documentos legislativos y materiales divulgativos que abordan temas relacionados con la gestión de residuos electrónicos, desarrollo sostenible e inteligencia artificial.

Para la recolección de información se consultaron fuentes académicas y especializadas, incluyendo trabajos como los de Chalarca Zapata, J. A. (2025) y Elías, X. (Ed.). (2009), junto con una evaluación crítica de estudios que abordan la transformación y gestión e la basura electrónica en el contexto venezolano. Asimismo, se analizaron fuentes secundarias especializadas como artículos científicos, libros especializados, documentos legislativos y materiales divulgativos relacionados con la gestión de residuos electrónicos, sostenibilidad y aplicaciones de inteligencia artificial.

El estudio es de tipo documental, debido a que se fundamenta en el análisis de fuentes secundarias, tales como artículos científicos, informes técnicos, tesis, libros especializados, documentos legislativos y materiales divulgativos que abordan temas relacionados con la gestión de residuos electrónicos, desarrollo sostenible e inteligencia artificial.

Según Ruiz (2012), la investigación documental "es una técnica de investigación que consiste en la recolección, organización y análisis de fuentes documentales, con 6 el propósito de obtener conocimiento que permita responder a preguntas de investigación específicas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis realizado, se constató que el modelo predominante en Venezuela con respecto a la gestión de residuos, y en especial de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), responde aún a una lógica lineal y desarticulada. Este modelo, basado en el esquema de "tomar, hacer y desechar", no contempla la valorización de los materiales una vez concluida su vida útil, ni considera el impacto ambiental y social asociado a su desecho.

Frente a esta realidad, se propone la incorporación del enfoque de economía circular como base para rediseñar el sistema de manejo de RAEE en el país. La economía circular se presenta como un modelo regenerativo que busca cerrar el ciclo de los productos, evitando que se conviertan en desechos mediante estrategias de reducción, reutilización, reparación y reciclaje inteligente. Este modelo resulta especialmente pertinente para el caso venezolano, no solo por su potencial ambiental, sino también por su capacidad para generar empleos, impulsar la innovación y dinamizar sectores productivos estancados.

Tomando como referencia los principios planteados por la Fundación Ellen MacArthur, se identifican tres líneas clave de acción que podrían aplicarse al contexto venezolano:

1. Diseñar para eliminar los residuos y la contaminación.

En Venezuela, el diseño de productos rara vez se concibe con un enfoque ambiental. Por ello, una transformación estructural requiere fomentar políticas e incentivos que promuevan la producción local de aparatos electrónicos con materiales no tóxicos y fácilmente reciclables. Además, desde el punto de vista tecnológico, la inteligencia artificial puede intervenir en esta etapa mediante herramientas de simulación y optimización de diseño, permitiendo prever el impacto ambiental de los materiales utilizados y optimizar su reciclabilidad desde el inicio.

2. Mantener los productos y materiales en uso

Actualmente, los RAEE en Venezuela suelen almacenarse sin tratamiento adecuado, o terminan en vertederos improvisados. La implementación de sistemas inteligentes de recuperación y clasificación puede ser una solución efectiva. A través del uso de visión por computadora, sensores y algoritmos de machine learning, es posible identificar componentes reutilizables, detectar materiales peligrosos y automatizar el desensamblaje. Esto no solo alarga la vida útil de los productos, sino que reduce los costos y los riesgos sanitarios derivados de una mala manipulación.

Además, se plantea la creación de centros de acopio inteligentes, donde ciudadanos y empresas puedan entregar sus aparatos en desuso, los cuales serían evaluados y clasificados automáticamente mediante sistemas basados en IA. Estos centros también podrían conectarse a plataformas digitales para coordinar procesos de reparación, venta de partes reutilizables y trazabilidad de los materiales.

3. Regenerar los sistemas naturales

Aunque la economía circular suele enfocarse en la reutilización de materiales, en el caso venezolano también es esencial revertir el daño ambiental causado por la disposición inadecuada de RAEE. Muchos de estos residuos contienen metales pesados y sustancias tóxicas que contaminan el suelo y el agua. En este sentido, la inteligencia artificial puede integrarse en sistemas de monitoreo ambiental automatizado, mediante sensores distribuidos y análisis predictivo, para identificar zonas críticas de contaminación y diseñar estrategias de remediación basadas en datos en tiempo real.

En otro orden de ideas, uno de los hallazgos más relevantes de esta investigación es la visión conceptual que adopta el marco legal venezolano en relación con los residuos sólidos, específicamente en la Ley de Gestión Integral de la Basura. En su artículo 6, esta normativa define los residuos como aquellos materiales sobrantes de actividades humanas que, por sus características físicas, químicas y biológicas, pueden ser incorporados nuevamente a otros procesos productivos. Esta definición trasciende una simple clasificación técnica y apunta hacia una perspectiva funcional del residuo, reconociéndolo como un elemento con valor potencial, en lugar de considerarlo simplemente como desecho inservible.

Desde una mirada crítica y analítica, esta formulación representa un cambio de paradigma fundamental. Al redefinir los residuos como recursos, se introduce una lógica

más coherente con los principios de la economía circular, en la que el aprovechamiento máximo de los materiales sustituye la cultura del descarte. Esta visión plantea que la gestión de residuos debe estar orientada no solo a su recolección y disposición final, sino también a su recuperación, transformación y reintegración al ciclo productivo.

Además, el hecho de que la reutilización esté condicionada por las propiedades físicas, químicas y biológicas del residuo permite abrir un campo técnico para el uso de tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial, para evaluar automáticamente estos parámetros. Por ejemplo, mediante sensores, algoritmos de análisis de datos y sistemas de aprendizaje automático, sería posible determinar de manera más precisa y eficiente qué componentes electrónicos pueden ser reutilizados, reciclados o requerir tratamiento especial. Esta aplicación tecnológica podría fortalecer significativamente el cumplimiento de la ley, ya que haría operativo su enfoque valorizador y reduciría la dependencia de procesos manuales o subjetivos en la clasificación de residuos.

5. CONCLUSIONES

La IA es un catalizador clave para optimizar la gestión de residuos electrónicos. En otros países, sistemas inteligentes ya permiten clasificar con precisión, automatizar el desensamblaje, identificar materiales peligrosos y recuperar componentes valiosos con un nivel de acierto muy alto.

Por otro lado, mediante la aplicación de la IA se logra Reducir costos y aumentar eficiencia son beneficios comprobados: estudios muestran que la automatización reduce los costos laborales, incrementa las tasas de recuperación de materiales en un y logra un funcionamiento óptimo continuo mediante mantenimiento predictivo.

Igualmente, el enfoque circular adquiere mayor valor cuando se integra IA: la inteligencia artificial favorece la economía circular al permitir diseños sostenibles desde el inicio y ayudar a mantener los materiales en uso mediante desensamblaje y redes de reutilización inteligentes. Además, fomenta la minería urbana a partir de la recuperación eficiente de metales raros.

Por último, la visión de futuro con impacto integral que implica integrar IA al sistema venezolano de gestión de RAEE no sólo atiende la contaminación ambiental, sino que puede reactivar la economía, generar empleo cualificado y vincular al país con dinámicas

globales de innovación y sostenibilidad. La clave estará en alinear leyes actuales con inversiones tecnológicas y cooperación interinstitucional, así como fomentar una cultura pública de reaprovechamiento.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. (2010). *Ley de Gestión Integral de la Basura*. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N.º 6.017 Extraordinario, 30 de diciembre de 2010. https://adan.org.ve/documentos/Ley_de_Gestion_Integral_de_la_Basura.pdf

Chalarca Zapata, J. A. (2025). *¿Qué hacer con los residuos electrónicos, RAEE?* Universidad Pontificia Bolivariana.

Elías, X. (2009). *Los residuos sólidos urbanos: una mirada desde la gestión*. Editorial Díaz de Santos.

Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition* (Vol. 1). Ellen MacArthur Foundation. https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1

Kumar, A., & Singh, R. K. (2021). Applications of artificial intelligence in waste management: A review. *Science of The Total Environment, 765*, 142722. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142722

Liu, X., Zhang, L., Wang, Y., & Zhang, W. (2020). Inteligencia artificial en el reciclado de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos: A review. *Journal of Cleaner Production, 259*, 120964. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120964

Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo. (2024). Resolución N.ª 022, de fecha 30 de abril de 2024. *Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, N.º 42.871*, 3 de mayo de 2024.

OCDE & Eurostat. (2005). *Manual de Oslo: Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación* (3ª ed.). Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

Pascual, M. (2010). *Gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos: problemática, legislación y tratamiento*. Editorial Díaz de Santos.

Stahel, W. (2010). *The performance economy* (2nd ed.). Palgrave Macmillan.

Ruiz, J. I. (2012). Metodología de la investigación cualitativa. (5ª ed.). Universidad de Deusto https://www.unebook.es/es/libro/metodologia-de-la-investigacion-cualitativa_42119

Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., ... & Fuso, F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals. *Nature Communications, 11*(1), 233. https://doi.org/10.1038/s41467-019-14108-y

Wilson, D. C., Velis, C., & Cheeseman, C. (2012). Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. *Habitat International, 30*(4), 797–808. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2005.09.005

Zhou, G., Liu, J., & Cao, H. (2019). Electronic waste management in China: A SWOT analysis. *Waste Management, 105*, 318–329. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.023

Declaración obligatoria y transparencia

Yo, **Jesús Alberto Cupello Parra**, venezolano, mayor de edad, titular de la cédula de identidad N.° 17.293.951, por medio del presente documento hago constar esta **declaración** obligatoria sobre el uso de inteligencia artificial (IA).

En este sentido, se indican a continuación los detalles del uso:

Nombre de la IA: ChatGPT.

Prompt: *Actúa como escritor de artículos y solamente quiero que otorgues secuencia a los párrafos ya diseñados previamente por el autor. No cambies las palabras previamente establecidas ni tampoco el mensaje ya diseñado.*

La aplicación fue utilizada únicamente con el fin de colaborar en la secuencia gramatical y la estructura del artículo. Sin embargo, se deja expresa constancia de que las ideas, contenidos, mensaje e investigación fueron realizados íntegramente por el autor que suscribe este artículo.

Dentro de la clasificación de la revista, este uso se enmarca en la categoría **Optimización de estilo**, la cual comprende el empleo de herramientas para la corrección gramatical, el ajuste de tono académico o la adecuación lingüística, sin alterar el contenido sustancial del trabajo.