



**MODELOS DE LOGÍSTICA INVERSA Y ECONOMÍA CIRCULAR PARA
RESIDUOS ELECTRÓNICOS: REVISIÓN COMPARATIVA Y PROPUESTA
DE DISEÑO DE REDES INVERSAS ENTRE COLOMBIA Y BRASIL**

**MODELOS DE LOGÍSTICA REVERSA E ECONOMIA CIRCULAR PARA
RESÍDUOS ELETRÔNICOS: REVISÃO COMPARATIVA E PROPOSTA DE
DESENHO DE REDES REVERSAS ENTRE COLÔMBIA E BRASIL**

**REVERSE LOGISTICS AND CIRCULAR ECONOMY MODELS FOR
ELECTRONIC WASTE: COMPARATIVE REVIEW AND DESIGN
PROPOSAL FOR REVERSE NETWORKS BETWEEN COLOMBIA AND
BRAZIL**

Juan Miguel Castaño Díaz

Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

(juan_mig.castano@usp.br)

Resumen

El presente estudio analiza el flujo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), una problemática en aumento debido al crecimiento del consumo tecnológico. A través de la planificación y control de la logística inversa bajo un enfoque de economía circular, se busca maximizar la recuperación de valor y reducir los impactos ambientales. El objetivo general consiste en comparar las estrategias de gestión de RAEE entre Brasil y Colombia, identificando sus fortalezas, limitaciones y oportunidades de mejora mutua. La investigación adopta una metodología mixta: un enfoque cualitativo basado en la revisión de literatura y normativa, y un enfoque cuantitativo mediante el análisis de indicadores de generación, recolección y tratamiento. Los resultados muestran que Brasil cuenta con un sistema más consolidado y centralizado, mientras que Colombia avanza en la consolidación de sus programas posconsumo. Ambos países enfrentan desafíos



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

comunes en la educación ambiental, la formalización laboral y la trazabilidad de datos. Finalmente, se propone un modelo de red inversa apoyado en la robótica, la inteligencia artificial y la tecnología blockchain, con el fin de optimizar los procesos de clasificación, recolección y seguimiento de RAEE, fortaleciendo la sostenibilidad y eficiencia operativa en el marco de la economía circular.

Palabras clave: Logística inversa, Residuos electrónicos, Economía circular, Gestión ambiental, Responsabilidad extendida del productor.

Resumo

Este estudo analisa o fluxo de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), um problema crescente devido ao crescimento do consumo tecnológico. Por meio do planejamento e controle da logística reversa sob uma abordagem de economia circular, o estudo busca maximizar a recuperação de valor e reduzir os impactos ambientais. O objetivo geral é comparar as estratégias de gestão de REEE entre Brasil e Colômbia, identificando seus pontos fortes, limitações e oportunidades de melhoria mútua. A pesquisa adota uma metodologia mista: uma abordagem qualitativa baseada em revisão bibliográfica e regulatória, e uma abordagem quantitativa por meio da análise de indicadores de geração, coleta e tratamento. Os resultados mostram que o Brasil possui um sistema mais consolidado e centralizado, enquanto a Colômbia está progredindo na consolidação de seus programas de pós-consumo. Ambos os países enfrentam desafios comuns em educação ambiental, formalização trabalhista e rastreabilidade de dados. Por fim, um modelo de rede reversa apoiado por robótica, inteligência artificial e tecnologia blockchain é proposto para otimizar os processos de classificação, coleta e rastreamento de REEE, fortalecendo a sustentabilidade e a eficiência operacional no âmbito da economia circular.

Palavras-chave: Logística reversa, Lixo eletrônico, Economia circular, Gestão ambiental, Responsabilidade estendida do produtor.



Abstract

This study analyzes the flow of waste electrical and electronic equipment (WEEE), a growing problem due to the growth of technological consumption. Through the planning and control of reverse logistics under a circular economy approach, the study seeks to maximize value recovery and reduce environmental impacts. The overall objective is to compare WEEE management strategies between Brazil and Colombia, identifying their strengths, limitations, and opportunities for mutual improvement. The research adopts a mixed methodology: a qualitative approach based on a literature and regulatory review, and a quantitative approach through the analysis of generation, collection, and treatment indicators. The results show that Brazil has a more consolidated and centralized system, while Colombia is making progress in consolidating its post-consumer programs. Both countries face common challenges in environmental education, labor formalization, and data traceability. Finally, a reverse network model supported by robotics, artificial intelligence, and blockchain technology is proposed to optimize WEEE classification, collection, and tracking processes, strengthening sustainability and operational efficiency within the framework of the circular economy.

Keywords: Reverse logistics, E-waste, Circular economy, Environmental management, Extended producer responsibility.

1. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos son de los principales motores del desarrollo humano, impactando positivamente nuestras vidas desde la reducción de problemas de salud, hasta nuestra comodidad individual; donde los dispositivos se vuelven cada vez más asequibles, siendo parte de la vida de muchas más personas.

Sin embargo, junto con este acceso masivo a dispositivos electrónicos surge una problemática creciente y es la gestión de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), los equipos descartados tras su vida útil, pues esta basura electrónica combina materiales valiosos y sustancias peligrosas, cuyo manejo inadecuado genera impactos ambientales y sanitarios. De hecho, según Lundberg (2025, p. 18-19), para el año 2019 la generación global de RAEE fue estimada en 53.6 millones de toneladas, aun así, solo fueron debidamente recicladas 9.3 millones, representando el 17.36%. Demostrando así, la deficiente gestión de dichos residuos, las proyecciones generadas por Lundberg (2025, p. 22) estiman que para el año 2040 la producción de dispositivos electrónicos se situará en 142.69 millones de toneladas y durante el mismo periodo de tiempo, los desechos electrónicos habrán ascendido a 103.89 millones de toneladas de las cuales solo serán adecuadamente tratadas 19.48 millones, alrededor del 18.75%.

Dentro del contexto latinoamericano, el foco de esta investigación lo tienen los países de Brasil y Colombia, los cuales han presentado diversas estrategias para la creación de marcos regulatorios y programas de logística inversa para los RAEE, por ejemplo, en el caso de Brasil, surgieron políticas públicas ambientales como las que señalan Souza, Andriola y Pontes (2025), al castigar acciones que causen daños ambientales (Ley n.º 9.605/1998), sin embargo, aunque se han dado avances normativos, muchas de estas políticas enfrentan obstáculos significativos.

En el caso de Colombia igualmente se han tomado acciones normativas para el manejo de residuos, como es el caso de la resolución n.º. 851 de 2022, que establece “los lineamientos y requisitos de los sistemas de recolección y gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - RAEE” (MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2022, p. 4), no obstante, pese a toda la estructura política que tiene la resolución, aún presenta muchas dificultades para su cumplimiento; como la infraestructura de recolección y la falta de conciencia pública, lo que implica la evasión de las normativas establecidas (FABRA; FABRA, 2024). Demostrando que todavía

existen barreras de implementación que impiden llevar a cabo un proceso adecuado de gestión.

En el ámbito académico, efectivamente existe literatura creciente sobre logística inversa y economía circular en estas áreas, sin embargo, son escasos los estudios que realicen una comparación sistemática entre Brasil y Colombia, donde además se tenga en cuenta la dimensión tecnológica y de procesos de la ingeniería mecatrónica e industrial. Este estudio se justifica en llenar ese vacío mediante un análisis comparativo que aporte criterios prácticos para el diseño de redes inversas más eficientes y sostenibles, a la vez que proponga mejoras tecnológicas y de gestión aplicables. De esta manera, la investigación contribuye no solo al avance académico, sino también a la transición hacia modelos productivos más circulares y responsables en ambas regiones.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Se busca definir conceptos que serán importantes para la comprensión posterior de los datos presentados, además de contextualizar la situación sobre la cual se desarrolla el análisis comparativo.

2.1 Definiciones Clave

2.1.1 RAEE / e-waste

Lundberg (2025) define los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos como dispositivos desechados que han alcanzado el fin de su vida útil y ya no se destinan al reciclaje o reutilización. Este flujo de residuos está en crecimiento y suele contener metales pesados que representan riesgos severos para la salud humana y los ecosistemas si no se gestionan adecuadamente. Pueden ser clasificados en tres categorías: Línea blanca para los electrodomésticos grandes y pequeños como neveras u hornos, línea marrón para los electrónicos de consumo como equipos de audio y vídeo, y Línea gris



para los equipos de telecomunicaciones como computadores o teléfonos (BARTOLO; URBINA, 2015).

2.1.2 Logística Inversa

De acuerdo con Rogers y Tibben-Lembke (1998), la logística inversa es el proceso de planificar, implementar y controlar el flujo eficaz y rentable de materias primas y productos desde el consumidor hasta el productor, con el fin de recuperar valor o una eliminación adecuada, según Salas-Navarro et al. (2024) es una estrategia cuyo objetivo es el uso adecuado de los recursos, buscando mitigar efectos ambientales, regular procesos de producción y distribución, y generar compromiso por parte de las empresas respecto al uso y disposición final de sus productos. En este sentido, Olano et al. (2024, p. 84) señalan que la logística inversa es “cada vez más relevante en las cadenas de suministro, especialmente en sectores donde se requiere una gestión eficiente de los productos usados y desechados para poder proteger el medio ambiente y cumplir con regulaciones ambientales”.

2.1.3 Economía Circular

Según Cajo et al. (2024), es un modelo económico en el que se busca conservar útiles los recursos el mayor tiempo posible, minimizando la generación de residuos a la vez que se maximiza su valor, con énfasis en la reutilización y reciclaje de materiales dentro de los ciclos de producción y consumo. Se presenta como una alternativa más atractiva y viable en el ámbito empresarial que la economía lineal, consistente en “tomar, hacer, tirar”. Apoyándose en tres principios básicos: preservar y aumentar el capital natural, optimizar el rendimiento de los recursos, y promover la efectividad del sistema; además una economía circular también cuenta con características clave como compartir los recursos renovables, reducción de emisiones, disminución de pérdidas de materiales y residuos, y



mantener el valor de productos, componentes y materiales en la economía (CERDÁ; KHALILOVA, 2016).

2.1.4 Redes Inversas

Mientras la logística inversa se encarga de definir los objetivos y etapas, las redes inversas representan la aplicación práctica de ese proceso, en esencia son aquellos sistemas que gestionan el flujo de productos y materiales desde el punto de consumo hasta el punto de producción, en donde se recuperan, reciclan, redistribuyen o eliminan, algo importante que menciona Fleischmann (2001) es que estas redes no buscan crear redes completamente nuevas, sino adaptarse a la infraestructura logística existente para recuperar el mayor material posible. Existen distintos tipos de redes de logística inversa, clasificados según producto, flujo, responsabilidades, impulsor de la recuperación del producto (motivo económico o jurídico) y responsable del proceso de recuperación (fabricante original o un tercero).

2.2 Antecedentes Internacionales

2.2.1 Europa y Asia

En el caso de la Unión Europea, Vargas (2017) señala que se formaron los Sistemas de Responsabilidad del Productor, encargados de financiar y supervisar sistemas de recolección, surgiendo así los sistemas “Take-Back”, donde se obliga a inventariar los RAEE y definición de productor, quienes deben recolectar los artefactos usados para ser separados, tratados o reciclados al asumir responsabilidades físicas y financieras para los consumidores. De manera similar, países asiáticos han tomado acción en este proceso, Bartolo y Urbina (2015) exponen como China, es de los países con mayor crecimiento de RAEE en los últimos años, pero lo han combatido al distribuir responsabilidades entre diversas agencias gubernamentales, como el gobierno nacional, productores, recolectores



formales e informales y consumidores. India por su lado también ha implementado proyectos reglamentarios que establecen responsabilidades para el Ministerio de Medio Ambiente, productores, centros de recolección y consumidores, aunque el sector informal mantiene una presencia permanente en el medio.

2.2.2 Norteamérica y Latinoamérica

Dentro del continente americano, en Estados Unidos se desarrolló un programa donde veintitrés estados implementaron normas legales frente a la responsabilidad extendida del productor, obligando a desarrollar programas de recolección y reciclaje, incrementando en 180.000t los RAEE tratados entre el 2006 y 2010, involucrando fabricantes, comercializadores y gobierno (VARGAS, 2017). En contraste, en Latinoamérica las medidas tomadas para la gestión de RAEE han sido menos eficientes, como es el caso de Argentina, que pese a existir leyes como la Ley N°2807 encargadas de definir y clasificar los RAEE o la Ley N°25916 para la Gestión Integral de Residuos, carecen de leyes específicas sobre su manejo (FAMÁ, 2019), o el caso de México, donde “El marco legislativo y las políticas públicas nacionales para regular la gestión de los RAEE en México se encuentran señalados de una manera ambigua, y con poca certeza” (VÁZQUEZ, 2025, p. 30), lo que evidencia limitaciones estructurales en la planeación y ejecución de políticas en la región.

2.2.3 Comparación general

Queda evidenciado que a nivel global la generación de RAEE es una preocupación alarmante, pues respecto a cada continente, en 2019 Asia produjo 24.9 Megatoneladas (Mt), América 13.1 Mt, Europa 12 Mt, África 2.9 Mt y Oceanía 0.7 Mt, ante esta problemática, se han tomado distintas medidas para gestionar correctamente los RAEE, desde la implementación y adaptación de legislaciones, hasta el desarrollo de sistemas de



gestión y recolección de residuos, lo que llevó a que para ese año, el 71% de la población mundial se encuentre bajo una política nacional de desechos electrónicos (ADRIAN et al., 2020, p. 25-26), sin embargo, en ciertos contextos geográficos y debido a diversas cuestiones socioculturales, resulta difícil llevar a cabo efectivamente cada propuesta.

2.3 Contexto normativo y práctico en Brasil y Colombia

2.3.1 Acciones tomadas en Brasil

En Brasil existe un amplio marco normativo respecto al tema de la conciencia ambiental, con énfasis en la protección de áreas de interés biológico y en sancionar acciones que las afecten, especialmente la ley nº 12.305/10 que implementó la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS), una política brasilera que establece conceptos, principios e instrumentos para la gestión integrada de residuos sólidos, por medio de sistemas de logística inversa que permitan el retorno de los productos posconsumo al sector productivo, además de incentivar la participación de recolectores de materiales reciclables, apuntando a objetivos como la reducción de la contaminación y el desperdicio de materiales. Aún con todo esto, su implementación enfrenta desafíos, entre ellos los costos logísticos, la baja participación ciudadana y la falta de información, revelando la urgencia de políticas más sólidas y fortalecimiento de la educación ambiental. (SOUZA; ANDRIOLA; PONTES, 2025).

2.3.2 Acciones tomadas en Colombia

Según Camacho y Escobar (2020), Colombia es de los pocos países de Latinoamérica con un marco regulatorio enfocado en los RAEE, pues el Congreso de la República expidió la Ley 1672, la cual establece los lineamientos para una política pública de gestión integral de RAEE (COLOMBIA, 2013), aplicando el principio de la responsabilidad extendida del productor y desarrollando obligaciones para el gobierno nacional. La



gestión de los RAEE se ha abordado desde dos sectores sociales, el primero son los recolectores informales, conformado por personas de escasos recursos quienes se encargan de su recolección y comercialización, con el problema de separar componentes manualmente, dejando residuos y comprometiendo su integridad personal, por otro lado, el sector formal, conformado por empresas establecidas, quienes garantizan un adecuado manejo y disposición final de los residuos, exportando componentes peligrosos a plantas especializadas en el exterior (BARTOLO; URBINA, 2015), de todas formas, la alta presencia del sector informal, además de problemas de costos e infraestructura todavía dificultan una gestión completamente eficiente de RAEE en el país.

2.4 Necesidad del Estudio

Con base en toda la información presentada anteriormente, queda en evidencia la importancia que tiene la correcta gestión de los RAEE, pues es una problemática creciente a nivel global, aun así existen diversas estrategias que pueden llevarse a cabo desde el ámbito legislativo promoviendo la responsabilidad extendida del productor, hasta la propia labor ciudadana y la conciencia del consumidor; sin embargo, es un proceso lento, donde la falta de información y estrategias asertivas llevan a dificultades de ejecución, sobre todo en países de América Latina, por ello surge la necesidad de este estudio, el poder realizar una comparación sistemática entre dos países con gran responsabilidad ambiental como Brasil y Colombia, con el fin de evaluar las acciones tomadas por cada uno y proponer mejoras mutuas para la gestión de estos residuos.

3. MÉTODO

3.1 Enfoque y diseño

El presente estudio maneja un enfoque mixto, combinando el análisis cuantitativo y cualitativo, a fin de abordar todas las dimensiones del tema investigado, llevando

simultaneamente la observación y evaluación de fenómenos. El diseño corresponde a una revisión bibliográfica sistemática y comparativa, para identificar, seleccionar y analizar investigaciones y documentos técnicos, relacionados con la pregunta de investigación. Mediante esta metodología, se puede analizar integralmente avances y limitaciones en la gestión de RAEE en Brasil y Colombia.

3.2 Problema, preguntas y objetivos

Ante la escasez de estudios comparativos sobre la gestión de RAEE entre Brasil y Colombia que integren adecuadamente las dimensiones sociopolíticas y tecnológicas, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las principales diferencias y similitudes entre las estrategias de gestión de RAEE en Brasil y Colombia bajo los enfoques de la logística inversa y la economía circular?

En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo general comparar las estrategias de gestión de RAEE entre Brasil y Colombia, identificando fortalezas, limitaciones y oportunidades de mejora mutua.

Los objetivos específicos son:

1. Identificar y comparar los marcos normativos de ambos países respecto al cuidado ambiental derivado de los RAEE.
2. Organizar sistemáticamente la información relacionada con la logística inversa y la economía circular en ambos contextos.
3. Analizar las acciones y estrategias implementadas en ambos países para el manejo adecuado de los RAEE.
4. Analizar las limitaciones de desarrollo y determinar qué aspectos positivos pueden implementarse en ambas regiones.

3.3 Fuentes y estrategias de búsqueda

Para información relevante fueron empleadas bases de datos como Google Scholar, o SciELO, pues son motores especializados en la búsqueda de documentos científicos de un gran número de disciplinas y fuentes, destacando el contenido en artículos científicos, tesis, patentes, o libros; garantizando así la confiabilidad de los resultados y la rigurosidad de los estudios. Para la búsqueda en distintos idiomas se utilizaron operadores booleanos.

3.4 Criterios de inclusión/exclusión

Con el fin de garantizar un análisis comparativo coherente se optó por definir criterios de inclusión y exclusión, encargados de filtrar la selección de fuentes bibliográficas, normativas y estadísticas.

Los criterios de inclusión seleccionados fueron:

- **Relevancia temática:** Estudios o informes que traten la gestión de RAEE, logística inversa y/o economía circular.
- **Tipo de documento:** Artículos científicos, tesis, informes gubernamentales, normativas oficiales, planes nacionales de gestión o publicaciones de organismos multilaterales.
- **Periodo de publicación:** Entre el 2010 y el 2025 para fuentes aplicadas y resultados, y sin límite temporal para referencias teóricas o conceptuales.
- **Idioma:** Español, inglés y portugués.
- **Accesibilidad:** Documentos con texto completo disponibles en bases académicas.
- **Credibilidad:** Publicaciones respaldadas, publicadas o citadas por instituciones reconocidas.

Los documentos que no cumplieron con las condiciones anteriores fueron excluidos del análisis.



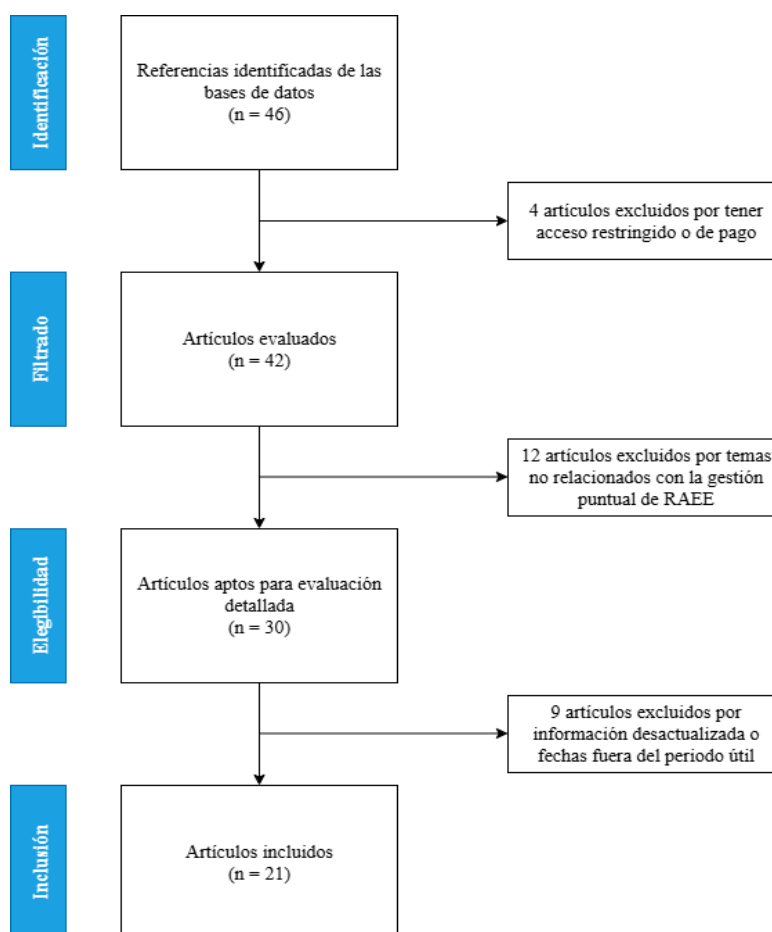
3.5 Processo de seleção (PRISMA)

El proceso de selección de fuentes se realizó en varias etapas, adaptando el modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Para mejorar la calidad de las revisiones sistemáticas y garantizar la calidad de la investigación con el fin de asegurar transparencia y coherencia en la información obtenida.

Etapas del modelo:

- 1. Identificación:** Búsqueda inicial en bases académicas (SciELO, Google Scholar) y fuentes institucionales.
- 2. Filtrado preliminar:** Eliminación de duplicados, títulos no pertinentes o documentos sin texto completo.
- 3. Evaluación de elegibilidad:** Lectura de resúmenes e introducciones para confirmar el cumplimiento de los criterios de inclusión.
- 4. Inclusión final:** Fuentes seleccionadas para el análisis comparativo.

Figura 1 – Diagrama de flujo del proceso de selección de fuentes.



Fuente: Adaptado de PRISMA (2020), elaboración propia (2025).

3.6 Parámetros de análisis

Con el fin de realizar un análisis comparativo equilibrado entre Brasil y Colombia, se definieron dos grupos de parámetros complementarios: cuantitativos y cualitativos, orientados a evaluar la efectividad de la gestión de RAEE desde los enfoques de la logística inversa y economía circular.

Los parámetros **cuantitativos** permiten medir la inversión realizada y su consecuencia en el desempeño. Considerando tanto los valores absolutos como relativos, a fin de comparar no solo el volumen total de residuos tratados, sino también la eficiencia del proceso en



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

relación con la cantidad de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) introducidos al mercado. Los indicadores definidos fueron:

- Cantidad total de AEE generados (Millones de kg).
- Cantidad de AEE generados per cápita (kg por habitante al año).
- Cantidad total de RAEE generados (Millones de kg).
- Cantidad de RAEE generados per cápita (kg por habitante al año).
- Volumen de RAEE recolectado, tratado y reciclado (Millones de kg).
- Tasa de recolección (%) respecto al total de RAEE generado.
- Número de sistemas de recolección autorizados o en funcionamiento.
- Cobertura territorial.
- Inversión económica en la gestión de RAEE.

Los parámetros **cualitativos**, por su parte, permiten examinar las dimensiones legales, temporales, educativas, institucionales, evaluativas y sociales que no pueden expresarse únicamente en valores numéricos. Gracias a los indicadores se analiza la solidez del marco regulatorio, el grado de articulación entre actores públicos y privados, la presencia de políticas de educación ambiental y las estrategias de economía circular en cada país. Los parámetros definidos fueron:

- Existencia y alcance de la legislación nacional.
- Año de inicio de la gestión formal de RAEE.
- Programas de educación y sensibilización ciudadana.
- Mecanismos de articulación con universidades, empresas o actores comunitarios.
- Procesos de sistematización y evaluación de resultados.
- Impacto social (empleos verdes, participación ciudadana).

3.7 Marco comparativo

El marco comparativo se construyó a partir de los parámetros definidos en el apartado anterior, organizados en una matriz que permite evaluar el desempeño de Brasil y Colombia en sus seis dimensiones. La comparación se desarrollará mediante la interpretación y análisis conjunto de los parámetros cuantitativos y cualitativos, de modo que los resultados numéricos puedan ser aplicados al contexto institucional y socioeconómico de cada país. Esta estructura analítica permitirá identificar fortalezas, oportunidades de mejora y posibles lineamientos de integración regional en materia de logística inversa y economía circular, todos ellos presentados en los resultados.

3.8 Consideraciones éticas

El estudio se realizó considerando los principios de integridad académica y ética investigativa. Toda la información analizada proviene de fuentes institucionales, normativas o científicas disponibles en bases de datos públicas y oficiales, garantizando la trazabilidad y verificabilidad de los datos empleados. Se respetaron los derechos de autor mediante la citación completa y precisa de las fuentes conforme a la norma ABNT, evitando cualquier tipo de plagio o uso indebido de información. El análisis comparativo se efectuó de forma objetiva, sin manipulación ni sesgo interpretativo, con el propósito de mantener la fidelidad a la evidencia consultada.

4. RESULTADOS

4.1 Panorama general de la gestión de RAEE en Brasil y Colombia

Brasil posee un marco normativo bastante amplio y sólido, empezando por la Ley n.º 12.305 / 2010 —La PNRS—, que instituyó la gestión integrada y adecuada de residuos sólidos mediante la implementación de sistemas de logística reversa. Posteriormente, la



Resolução CONAMA n.º 452 de 2012, emitida por el Consejo Nacional do Meio Ambiente, estabeleció criterios para el descarte y manejo de residuos especiales, imponiendo obligaciones de etiquetado sobre los riesgos y destino de los residuos. Se consolida el principio de responsabilidad extendida del productor y del consumidor al regular la logística reversa de productos electrónicos a través del Decreto n.º 10.240 / 2020 (SOUZA; ANDRIOLA; PONTES, 2025). Más recientemente, la PNRS fue actualizada por el Decreto n.º 10.936 de 2022, que amplió la efectividad de la logística reversa y definió mecanismos más precisos para su monitoreo, incorporando metas y herramientas digitales de registro (OLIVEIRA et al., 2025).

Colombia presenta igualmente una trayectoria normativa relevante en la gestión de RAEE. Empezando por la Ley 1672 del 2013, que “establece los lineamientos para la política pública de gestión integral de los RAEE generados en el territorio nacional” (COLOMBIA, 2013, p. 1), constituyendo la base legal que los reconoce como residuo de manejo diferenciado. Ganando rigurosidad gracias al Decreto 284 del 2018 donde se reglamenta la gestión integral de RAEE, a fin de prevenir y minimizar impactos ambientales (PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, 2018), posteriormente las Resoluciones 480 de 2020 y 851 de 2022 desarrollaron los instrumentos técnicos y operativos, hasta el aporte más reciente de la Resolución 479 del 2023, actualizando parcialmente la resolución anterior, consolidando así el marco nacional de recolección y gestión integral de RAEE.

4.2 Resultados cuantitativos: desempeño operativo y económico

Con el fin de representar de manera sistemática los parámetros analizados, se elaboró una tabla que presenta el indicador correspondiente, la unidad de medida empleada, los valores obtenidos para cada país y la fuente o nota metodológica respectiva. Los parámetros no incluidos en la tabla se abordan posteriormente en el texto, con un análisis complementario.

Tabla 1 — Análisis comparativo cuantitativo.

Indicador	Unidad	Brasil	Colombia	Fuente / Nota metodológica
AEE generados en total	Millones de kg	3210	576	The Global E-waste Statistics Partnership (2022)
AEE generados per cápita	kg hab ⁻¹ año ⁻¹	14.9	10.2	The Global E-waste Statistics Partnership (2022)
RAEE generados en total	Millones de kg	2443	388	The Global E-waste Monitor (2024)
RAEE generados per cápita	kg hab ⁻¹ año ⁻¹	11.4	7.5	The Global E-waste Monitor (2024)
Volumen de RAEE recolectado	Millones de kg	79	4.9	The Global E-waste Monitor (2024)
Tasa de recolección	%	3.23	1.26	Cálculos propios
Entidades gestoras colectivas	Unidades	2	4	SINIR (2024); CASTILLO (2019)

Nota: La tasa de recolección se calculó como (RAEE tratados / RAEE generados) × 100. Valores aproximados, redondeados a dos cifras decimales.

Fuente: Elaboración propia (2025).

Como era de esperarse, debido a su mayor población y extensión territorial, Brasil genera una cantidad considerablemente superior de AEE (considerando que dichos datos corresponden al 2022, es previsible que hayan aumentado para el 2024) y, en consecuencia, de RAEE, tanto en valores absolutos como per cápita. Sin embargo, en ambos países el volumen efectivamente tratado representa una proporción mínima respecto al total generado: menos del 4% en Brasil y menos del 2% en Colombia. Este último, a pesar de contar con un número mayor de entidades gestoras, presenta una eficiencia de recolección aún más baja, lo que evidencia las limitaciones operativas y logísticas compartidas por ambos sistemas.

Al analizar los **sistemas de recolección autorizados** para el tratamiento y manejo de RAEE, Brasil cuenta con trece entidades gestoras habilitadas por el Ministerio de Medio Ambiente (SINIR, 2024), correspondientes a diversos flujos de residuos posconsumo, como envases, vidrios, aceites y plásticos. No obstante, únicamente dos de ellas — ABREE y Green Eletron— están dedicadas específicamente a la gestión de RAEE, coordinando sus actividades de recolección, transporte y reciclaje a nivel nacional. Ambas articulan a más de 130 empresas adherentes, consolidándose como los principales instrumentos de la política de logística inversa para este flujo de residuos (GREEN ELETRON, 2023).

En Colombia, en cambio, el sistema opera mediante los Sistemas de Recolección y Gestión (SRyG) los cuales pueden ser individuales, cuando cada productor es responsable de su propio sistema de recolección; o colectivos, cuando varios productores se agrupan para operar un único sistema. Estos sistemas posconsumo son autorizados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) (FABRA; FABRA, 2024). El país cuenta siete programas impulsados por la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI) para la gestión de residuos posconsumo, de los cuales tres se enfocan directamente en la gestión de RAEE: Pilas con al ambiente (sistema para el aprovechamiento de pilas), EcoCómputo (colectivo de empresas dedicadas a la gestión integral de RAEE) y Red Verde (programa de disposición final de electrodomésticos). Adicionalmente, el programa Lúmina (sistema para el aprovechamiento de residuos de iluminación) es relevante en este flujo, mas no hace parte de la ANDI (CASTILLO, 2019). Aunque cada sistema tiene objetivos y alcances diferentes, en conjunto se complementan dentro de la cadena de gestión de los RAEE en el territorio nacional.

Analizando la **cobertura territorial de los sistemas gestores** en Brasil, de acuerdo con el Relatório Anual Green Eletron (2023), el sistema de logística reversa operó en 306 municipios de los 5570 distribuidos en todos los estados del país. Aunque esto representa solo el 5.5% del total de municipios brasileiros, dichos territorios incluyen las principales capitales y áreas metropolitanas, por lo que se estima que el sistema cubre

aproximadamente entre el 55% y el 60% de la población nacional según cifras del IBGE (2022).

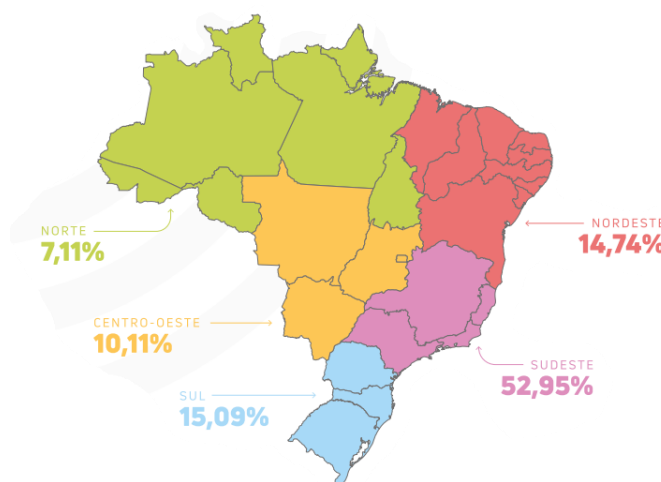
Figura 2 — Distribución poblacional en el territorio de Brasil.

Ranking por UF		
1	São Paulo	44.411.238 (pessoas)
2	Minas Gerais	20.539.989
3	Rio de Janeiro	16.055.174
4	Bahia	14.141.626
5	Paraná	11.444.380
6	Rio Grande do Sul	10.882.965
7	Pernambuco	9.058.931
8	Ceará	8.794.957
9	Pará	8.120.131
10	Santa Catarina	7.610.361

Fuente: Adaptado de IBGE (2022).

La Figura 3 muestra la distribución regional de los residuos recolectados, evidenciando que más del 50% proviene de la región Sudeste, la más densamente poblada y con mayor infraestructura urbana, lo que confirma la concentración operativa del sistema en áreas metropolitanas.

Figura 3 – Distribución porcentual de residuos electrónicos recolectados por región en Brasil (2023).

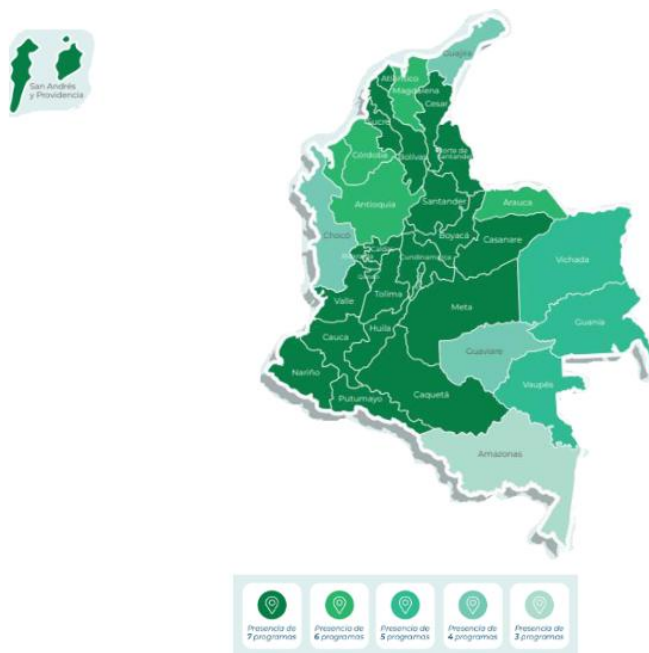


Fuente: Relatório Anual de Resultados — Green Eletron (2023).

En Colombia ocurre una situación similar, donde los SRyG concentran su operación en zonas urbanas principales, garantizando mayor alcance poblacional que territorial. Cada uno de los treinta y dos departamentos del país cuenta con la presencia de al menos tres de los siete programas de la ANDI y, en cuanto a los enfocados específicamente en RAEE, Pilas con el Ambiente tiene presencia en los treinta y dos departamentos, EcoCómputo en treinta y Red Verde en veintisiete.

La Figura 4 muestra la distribución territorial de los programas posconsumo de la ANDI, evidenciando que los departamentos con mayor número de programas coinciden con los de mayor población y desarrollo urbano, lo que confirma la concentración operativa de los sistemas en áreas metropolitanas.

Figura 4 — Cobertura nacional de los programas de la ANDI (2023).



Fuente: Espinosa y Rodríguez (2024).

Frente a la **inversión pública** destinada a la promoción de proyectos de desarrollo sostenible y conservación ambiental en Brasil, según el Portal da Transparência (2024),



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

se destinaron R\$3.816.393,00, equivalentes a aproximadamente 700.000 USD. Aun así, esta cantidad no representa el total destinado al manejo específico de RAEE, sino al conjunto de proyectos de gestión ambiental desarrollados en el país. En cuanto a los costos e inversiones de los sistemas privados de logística reversa, como Green Eletron o ABREE, estos son considerados información confidencial y, por tanto, no se encuentran disponibles para consulta pública (GREEN ELETRON, 2023).

Respecto a la inversión pública en el manejo de RAEE en Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible informó que:

Durante 2024, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible invirtió \$ 104.706.667,00 [aproximadamente 26.726 USD] para la realización de las actividades descritas en este informe, sin embargo, es importante señalar que esta cifra no corresponde con la totalidad de las inversiones relacionadas para la ejecución de la política puesto que diferentes entidades públicas y privadas concurren en la implementación del plan de acción de la Política de Nacional para la Gestión Integral de RAEE (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2024, p. 40).

Esto demuestra que, aunque la inversión general destinada al cumplimiento de políticas públicas ambientales ha sido significativa tanto en Brasil como en Colombia, aún no se dispone de un presupuesto claramente definido para la gestión específica de los RAEE ni otros flujos de residuos sólidos. En consecuencia, solo una fracción del gasto ambiental total se orienta de manera directa a esta problemática.

4.3 Resultados cualitativos: aspectos normativos, institucionales y sociales

Para representar de manera sistemática los parámetros analizados, se elaboró una tabla que presenta el indicador correspondiente, los resultados de cada país y la fuente o nota

metodológica respectiva. Los parámetros no incluidos en la tabla se abordan posteriormente en el texto, con un análisis complementario.

Tabla 2 — Análisis comparativo cualitativo.

Indicador	Brasil	Colombia	Fuente / Nota metodológica
Legislación, regulación o política nacional para gestión de RAEE	Sí	Sí	SOUZA; ANDRIOLA; PONTES (2025); OLIVEIRA et al. (2025); COLOMBIA (2013); COLOMBIA (2018)
Año de inicio de la gestión formal de RAEE	2010 (Lei nº 12.305/2010)	2013 (Ley 1672/2013)	SOUZA; ANDRIOLA; PONTES (2025); COLOMBIA (1993); COLOMBIA (2013)
Programas de educación y sensibilización ciudadana	Sí	Sí	Green Eletron (2025); BRASIL (2025); SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (2025)
Articulación con universidades, empresas o actores comunitarios	Sí	Sí	SANDALLA (2019); ROYS (2024)
Procesos de sistematización y evaluación de resultados	Sí (SINIR, Green Eletron, ABREE)	Sí (MinAmbiente, ANDI, SIAC)	BRASIL (2024); COLOMBIA (2024)

Fuente: Elaboración propia (2025).

Como se mencionó previamente en el apartado 4.1, tanto Brasil como Colombia cuentan con un amplio **marco normativo** que define y clasifica los RAEE, estableciendo mecanismos adecuados para su gestión y tratamiento.

En cuanto al **origen de las políticas destinadas al manejo de RAEE**, Souza, Andriola y Pontes (2025) señalan que en Brasil el proceso de concientización ambiental se inicia con la Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981), la cual sentó las bases para la preservación, mejora y recuperación de la calidad ambiental. Sin embargo, no fue sino hasta la promulgación de la PNRS (Lei nº 12.305/2010) que se incorporaron formalmente los residuos eléctricos y electrónicos dentro del marco de la logística reversa y la responsabilidad compartida por el ciclo de vida del producto.

En Colombia, de manera similar, la Ley 99 de 1993 estableció los fundamentos de la política ambiental nacional y la responsabilidad de los productores sobre la gestión ambiental de sus productos (COLOMBIA, 1993). No obstante, la Ley 1672 de 2013 fue la primera norma en definir específicamente los RAEE y fijar los lineamientos para su gestión integral, marcando el inicio formal de la política pública en esta materia. Así, puede afirmarse que ambos países han desarrollado sus estrategias en periodos similares, aunque Brasil presenta un recorrido más prolongado en la consolidación de instrumentos y mecanismos de gestión ambiental.

En relación con la **educación y sensibilización ciudadana**, Brasil ha impulsado diversas campañas orientadas a promover la disposición responsable de los RAEE. En el ámbito privado, Green Eletron (2025) lideró la campaña “Eletrônico não é lixo”, destinada a concienciar a la población sobre la importancia del reciclaje de aparatos electrónicos, pilas y baterías portátiles. A nivel gubernamental, destaca la implementación de la Estratégia Nacional de Educação Ambiental e Comunicação Social na Gestão de Resíduos Sólidos (Educares), promovida por el Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima para fortalecer la aplicación de la PNRS (BRASIL, 2025).

En Colombia, también se han desarrollado múltiples iniciativas para fomentar la correcta disposición de los residuos electrónicos. El programa Red Verde promueve la recolección de electrodomésticos de línea blanca, separando sus componentes para su aprovechamiento o disposición final. Asimismo, la campaña “Ecolecta”, implementada por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, busca incentivar la participación



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

ciudadana en la recolección responsable de aparatos eléctricos y electrónicos de origen residencial (SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE, 2025).

En Brasil, la **articulación institucional** entre el sector público, privado y académico se consolida a través de acuerdos y programas conjuntos, como indica Sadalla (2019) en su estudio sobre la gestión de RAEE en la USP, UFSCar y UNICAMP, quien menciona que su gestión a nivel educativo se centra en Universidades Federales, todas reguladas por la Ley n° 8.666 que establece las bases de licitación y contratos de administración pública de 1993 y los Decretos 99.658/90 y 9.373/18 en los que se explican los trámites y posibilidades de destino de los bienes enajenados. Además, la mayor parte de los RAEE de las empresas federales se almacenan en los campus mientras se decide qué destino recibirán.

En Colombia, las propias universidades han realizado trabajos para la gestión de residuos sólidos, como es el caso de la universidad ICESI en Cali, donde en el 2013 dos estudiantes realizaron un diagnóstico general sobre el estado de la universidad en el manejo de RAEE, estableciendo estrategias de mejoramiento para darle total cumplimiento a lo exigido por la ley, contribuyendo con el plan de gestión ambiental. También está el caso de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, donde en 2014 se realizó un trabajo a fin de reducir el volumen de RAEE en la universidad, utilizando estrategias ambientales y económicamente adecuadas alineadas con la Política de Responsabilidad Ecológica y Ambiental (ROYS, 2024).

Los procesos de sistematización y evaluación de resultados permiten analizar como los países recolectan, procesan y comunican la información relacionada al manejo de RAEE, valorando su grado de transparencia institucional y su capacidad para administrar datos de manera eficiente.

En el caso de Brasil, estos procesos se realizan de manera centralizada a través del Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), que publica reportes nacionales anuales con indicadores específicos para RAEE. Entidades gestoras como Green Eletron y ABREE complementan esta información mediante



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

informes de desempenho que detallan volúmenes recolectados, puntos de entrega y resultados ambientales. Además, la trazabilidad se refuerza gracias a plataformas digitales y reportes públicos, como el Portal da Transparência (BRASIL, 2024).

En Colombia, el proceso de sistematización presenta un carácter más fragmentado. Si bien el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible recopila información de los programas posconsumo y reporta avances a través del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), aún persisten brechas en la integración de datos entre regiones y operadores (MINAMBIENTE, 2024). Adicionalmente, los programas posconsumo coordinados por la ANDI publican sus resultados de forma independiente, lo cual limita la consolidación de una base nacional unificada.

Al analizar el **impacto social** generado por los sistemas de gestión de RAEE, en Brasil se observa que los programas de logística reversa han tenido efectos positivos al ampliar el acceso ciudadano a los puntos de entrega voluntaria y promover la educación ambiental. Según Green Eletron (2023), se instalaron 1.282 puntos de recolección (PEVs) distribuidos en todos los estados del país, facilitando la participación comunitaria en el descarte responsable de residuos electrónicos. A través de campañas como “Eletrônico não é lixo”, se ha fortalecido la sensibilización ambiental y el compromiso ciudadano. No obstante, persisten importantes desafíos relacionados con el desconocimiento público sobre el reciclaje de residuos electrónicos. Un estudio realizado por Green Eletron en 2022 reveló:

El 75% de los encuestados desconoce que todos los dispositivos electrónicos pueden reciclarse si se desechan correctamente. Esta falta de conocimiento sobre qué constituyen los residuos electrónicos y cómo desechoslos correctamente contribuye a prácticas de eliminación inadecuadas, relegando a los ciudadanos, en este caso, a la condición de contaminadores (ALMEIDA et al., 2024, p. 202, [traducción propia]).

Por su parte, en Colombia, según Espinosa y Rodríguez (2024), se ha evidenciado un aumento de la participación ciudadana, con un mayor número de personas que han



utilizado los programas posconsumo al menos una vez; sin embargo, el nivel de participación sigue siendo bajo por la falta de conocimiento sobre estas iniciativas. La implementación de estos programas ha impulsado la creación de empleos en los sectores de reciclaje y gestión de residuos, fomentando oportunidades laborales en la economía circular. En Bogotá, se generaron cerca de 1.200 empleos asociados a la recolección y procesamiento de residuos, aunque la mayoría son informales, lo que plantea desafíos de estabilidad y condiciones laborales. Asimismo, los programas posconsumo han contribuido al fortalecimiento de la conciencia ambiental, aunque aún se requiere mayor difusión y educación en todos los sectores de la población.

5. DISCUSIONES

El análisis comparativo entre Brasil y Colombia evidencia que, aunque ambos países han avanzado en la gestión de RAEE, presentan diferentes niveles de consolidación institucional y operativa. Los resultados reflejan que Brasil posee un sistema más maduro, sustentado en una estructura normativa temprana y robusta, mientras que Colombia avanza progresivamente en la consolidación de su modelo a partir de marcos legales más recientes. La implementación de la PNRS (Lei nº 12.305/2010) en Brasil y la Ley 1672 de 2013 en Colombia marcaron los puntos de partida formales de ambos sistemas, pero la antigüedad y la continuidad de la legislación brasilera han permitido una mayor institucionalización de la logística inversa y una gestión más centralizada de la información.

Los hallazgos confirman lo señalado por Souza, Andriola y Pontes (2025), quienes afirman que la madurez de los sistemas de gestión de RAEE depende de la capacidad de articulación entre los sectores público, privado y académico. En Brasil, entidades gestoras como Green Eletron y ABREE actúan como pilares operativos del sistema, consolidando alianzas con fabricantes, distribuidores y gobiernos locales, además de promover campañas masivas de educación ambiental. En Colombia, la ANDI lidera la coordinación de programas posconsumo como EcoCómputo, Red Verde y Pilas con el Ambiente, los



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

cuales han contribuido a aumentar la recolección y sensibilización ciudadana, aunque persisten dificultades en la consolidación de datos nacionales.

En el plano operativo, los datos analizados evidencian una brecha notable entre el volumen de AEE en el mercado y los residuos efectivamente recolectados y tratados en ambos países. Según el Global E-waste Monitor (2024), Brasil generó más de 2,4 millones de toneladas de RAEE en 2024, con tasas de recolección cercanas al 3%, mientras que Colombia generó aproximadamente 380 millones de kilogramos, alcanzando una tasa de recuperación solo superior al 1%. Estas cifras reflejan que, a pesar del crecimiento en la infraestructura de recolección y en los programas posconsumo, la mayoría de los residuos electrónicos aún no ingresan a los canales formales de gestión. La diferencia en volumen absoluto se explica por la escala industrial brasilera, pero ambos países comparten el mismo desafío estructural: aumentar la capacidad de captación y trazabilidad de los RAEE frente al rápido incremento del consumo de equipos electrónicos.

Desde el punto de vista social, ambos países enfrentan desafíos comunes relacionados con la participación ciudadana y la formalización del trabajo en el sector de reciclaje. En Brasil, pese al crecimiento de campañas educativas, gran parte de la población aún desconoce qué dispositivos electrónicos pueden reciclarse correctamente, lo que limita la efectividad de la logística reversa (ALMEIDA et al., 2024). En Colombia, aunque se evidencia un aumento de empleos verdes y de acciones de sensibilización, la informalidad laboral y la escasa difusión educativa continúan afectando la sostenibilidad social del sistema.

En conjunto, los resultados sugieren que tanto Brasil como Colombia transitan hacia modelos de economía circular, pero requieren fortalecer la trazabilidad tecnológica, la cooperación interinstitucional y la educación ambiental. Estos aspectos representan oportunidades para el desarrollo de nuevos modelos de logística inversa, integrando enfoques de la ingeniería industrial y mecatrónica que optimicen la operatividad y la sostenibilidad del ciclo de vida de los RAEE.

6. CONSIDERACIONES FINALES

El análisis comparativo realizado permite reconocer avances significativos y desafíos persistentes en la gestión de RAEE tanto en Brasil como en Colombia. En este contexto, se identifican oportunidades para integrar enfoques tecnológicos desde la ingeniería industrial y la mecatrónica que potencien la trazabilidad, la automatización y la eficiencia logística dentro de los sistemas de recolección y tratamiento.

A partir de estos hallazgos, y considerando los métodos propuestos por Salazar y Rico (2024) para la evaluación de tecnologías emergentes, se plantea el uso de robótica avanzada y brazos manipuladores en las industrias dedicadas al tratamiento de RAEE.

Estas herramientas permitirían clasificar y desmontar componentes con mayor precisión, incrementando la eficiencia en la separación de materiales y reduciendo la exposición humana a sustancias tóxicas. Su aplicación, sin embargo, podría verse limitada por los costos iniciales de implementación.

Complementariamente, se propone incorporar inteligencia artificial mediante algoritmos que faciliten la identificación de componentes y el procesamiento automatizado de residuos, además de optimizar la logística de recolección, mejorando la eficiencia operativa y la toma de decisiones. La principal limitación de esta tecnología radica en el volumen y calidad de los datos requeridos para entrenar los modelos de IA.

Finalmente, la implementación de un sistema basado en tecnología Blockchain, se considera una herramienta confiable y transparente para el seguimiento de los residuos a lo largo de toda la cadena de gestión. Su adopción podría fortalecer la trazabilidad, la confianza y el cumplimiento normativo, fomentando prácticas de reciclaje más responsables. No obstante, enfrenta desafíos relacionados con su complejidad técnica y la aceptación por parte de las industrias tradicionales.



REFERENCIAS

ADRIAN, S. et al. **Quantities, flows, and the circular economy potential The Global E-waste Monitor 2020**, p. 25-26, 2020. [s.l: s.n.].

OLANO, A. et al. LOGÍSTICA INVERSA Y CADENA DE SUMINISTRO EN UNA CAFETERÍA DE CHICLAYO. **HORIZONTE EMPRESARIAL**, v. 11, n. 1, p. 83–95, 31 jul. 2024.

FABRA, A.; FABRA M. J. **Desarrollo de una metodología para la implementación de la Resolución 851 de 2022 en el marco de la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en Colombia**, 2024. [s.l: s.n.].

OLIVEIRA, C. et al. **Resíduos eletroeletrônicos: um problema logístico, ambiental ou educacional?**, 2025. [s.l: s.n.].

BALDÉ, A. **Global E-waste Monitor 2024 Rights statement**, 2024. [s.l: s.n.].

BARTOLO, J.; URBINA, J. **ESTADO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS EN COLOMBIA EN EL MARCO GENERAL INTERNACIONAL Y LA GESTIÓN ESPECIFICA DE PAÍSES DE LA UNIÓN EUROPEA, ASIA Y ÁFRICA**, 2015. [s.l: s.n.].

CAJO, E. et al. LOGÍSTICA INVERSA Y MEDIO AMBIENTE EN EMPRESAS DE CHICLAYO. **HORIZONTE EMPRESARIAL**, v. 11, n. 1, p. 208–217, 31 jul. 2024.

CERDÁ, E.; KHALILOVA, A. **ECONOMÍA CIRCULAR, ESTRATEGIA Y COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL ECONOMÍA CIRCULAR**, 2016. [s.l: s.n.].

Brazil - 2022 - E-waste statistics. Disponible en: <https://globalewaste.org/statistics/country/brazil/2022/>. Acceso en: 10 oct. 2025.

Colombia - 2022 - E-waste statistics. Disponible en: <https://globalewaste.org/statistics/country/colombia/2022/>. Acceso en: 10 oct. 2025.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

SADALLA, B. **DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR DO ESTADO DE SÃO PAULO: PRÁTICAS ADOTADAS NA USP, UNICAMP E UFSCAR.** [s.l: s.n.]. 2019.

Disponível em: <http://lattes.cnpq.br/9446918897618790>. Acesso em: 16 oct. 2025

Ecolecta - Secretaría Distrital de Ambiente. [s.d]. Disponível em: <https://www.ambientebogota.gov.co/ecolecta1>. Acesso em: 16 oct. 2025

BARBATO, H. et al. **RELATÓRIO ANUAL DE ATIVIDADES GREEN ELETRON 2023**, 2023. [s.l: s.n.].

ESPINOSA, H.; RODRIGUEZ L. **ANÁLISIS DEL IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL DE LOS PROGRAMAS POSCONSUMO EN BOGOTÁ**, 2024. [s.l: s.n.].

FAMÁ, I. **El régimen de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en Argentina**, 2019. [s.l: s.n.].

SALAZAR, A.; RICO, A. **Estrategias para la Gestión Sostenible de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)**, 2024. [s.l: s.n.].

FLEISCHMANN, M. **REVERSE LOGISTICS NETWORK STRUCTURES AND DESIGN. Business Perspectives on Closed-Loop Supply Chains**, 2001. [s.l]. Disponível em: www.erim.eur.nl. Acesso em: 1 oct. 2025

ROGERS, D.; TIBBEN-LEMBKE, R. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices**, 1998. [s.l: s.n.].

COLOMBIA. **Ley 1672 de 2013**. p. 1, 2013. [s.n.]. Disponível em: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53825#:~:text=S%20proh%C3%ADbe%20la%20disposici%C3%B3n%20de,RAEE%20en%20rellenos%20de%20seguridad>, Acesso em: 3 oct. 2025.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

COLOMBIA. **Ley 99 de 1993**, 1993. [s.n.]. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>, Acceso en: 16 oct. 2025

LUNDBERG, B. Global WEEE Management: Behavior and Future Projections. **Journal of Scientific Reports**, v. 2025, n. 1, p. 17–26, 2025.

CAMACHO, A.; ESCOBAR, D. Metodología para la identificación y clasificación de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Colombia. **EL ARREDAJO ESCARLATA**, 2020. [s.l.].

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. **Decreto N° 284 del 2018**. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85199>, 2018. [s.l.: s.n.]. Acceso en: 8 oct. 2025

EL MINISTRO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. **RESOLUCIÓN No. 0851 DE 2022**. Disponible en: https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/resolucion_minambientes_0851_2022.htm, p. 4, 2022. Acceso en: 26 sep. 2025

MIRANDA, R. et al. ECONOMIA CIRCULAR: DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA EMPRESAS BRASILEIRAS. **Revista de Geopolítica**, v. 16, n. 4, p. e709, 22 set. 2025.

Movimento eletrônico não é lixo. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/movimento-eletronico-nao-e-lixo/>. Acceso en: 16 oct. 2025.

Programas posconsumo de electrodomésticos de línea blanca - Secretaría Distrital de Ambiente. Disponible en: <https://www.ambientebogota.gov.co/programas-posconsumo-de-electrodomesticos-de-linea-blanca>. Acceso en: 16 oct. 2025.



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

SOUZA, H.; ANDRIOLA, W.; PONTES, H. POLÍTICAS PÚBLICAS E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: POTENCIALIDADES E DESAFIOS À GESTÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL. **Revista Eletrônica Acta Sapientia**, 2025. [s.l.]. Disponible en: <https://orcid.org/0009-0009-4968-905X>. Acceso en: 26 sep. 2025.

SALAS-NAVARRO, K. et al. Reverse Logistics and Sustainability: A Bibliometric Analysis. **Sustainability**, 1 jul. 2024.

Panorama do Censo 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html>. Acceso en: 16 oct. 2025

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima - MMA. 2024 Disponível em: <https://portal.datransparencia.gov.br/orgaos-superiores/44000?ano=2024>. Acceso en: 15 oct. 2025.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. **SEGUIMIENTO A POLÍTICAS PÚBLICAS AMBIENTALES**, p. 40, 2024. [s.l: s.n.].

SINIR+ | Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos. Disponible en: <https://sinir.gov.br/perfis/logistica-reversa/habilitacao/>. Acceso en: 10 oct. 2025.

BRASIL. EDUCAMBIENTAL | Sobre os programas, 2025. Disponible en: <https://educambiental.mma.gov.br/index.php/saiba-mais/sobre-o-programa>. Acceso en: 16 oct. 2025.

CASTILLO, A. **SEGUMIENTO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL DE LA EMPRESA TEJIDOS SINTÉTICOS DE COLOMBIA – TESTICOL S.A. EN EL PERIODO DE MARZO A AGOSTO DE 2019**, 2019. [s.l: s.n.].



ROYS, P. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS EN UNIVERSIDADES DE COLOMBIA Y MÉXICO, 2024 [s.l: s.n].

VARGAS, F. Gestión Ambiental del Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) provenientes de la comercialización en Tiendas por Departamento, 2017 [s.l: s.n].

VÁZQUEZ, A. Fortalecimiento del marco legislativo, regulatorio y normativo para la gestión integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos Electrónicos (RAEE) en México, hacia un modelo de Circularidad, p. 30, 2025. [s.l: s.n].