

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LA LOGÍSTICA INVERSA Y  
RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)**

**CAROL STEFANY RAMÍREZ BARRIOS  
CÓDIGO 538533  
JOHNATTAN ALBERTO GONZÁLEZ MARTÍNEZ  
CÓDIGO 539614**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
ALTERNATIVA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ D.C.  
2021**

**ACTUALIZACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LA LOGÍSTICA INVERSA Y  
RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)**

**CAROL STEFANY RAMÍREZ BARRIOS  
CÓDIGO 538533  
JOHNATTAN ALBERTO GONZÁLEZ MARTÍNEZ  
CÓDIGO 539614**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniería Industria**

**Director  
Elsa Cristina González La Rotta  
Ingeniera Industrial**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
ALTERNATIVA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
BOGOTÁ D.C.  
2021**



## Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia



### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá, 10 de junio, 2021

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme salud, vida, mis papás, mi familia, por ayudarme y brindarme la oportunidad de estudiar y lograr mi carrera profesional, en especial a mis abuelos Olga, Secundino y José que por motivos de Dios ya no se encuentran hoy presentes y eran y serán mi motor para continuar, ellos siempre velaron por mis estudios y estuvieron pendiente de mí, hasta que Dios permitió tenerlos, agradezco por lo que me enseñaron y a la universidad Católica De Colombia por brindarme sus aulas y docentes para mi formación.

*Carol Ramírez.*

Agradezco a Dios por la salud, por la vida, por darme la oportunidad de culminar mis estudios, agradezco a mis padres por su gran apoyo y cariño y por ultimo a la universidad Católica de Colombia por esta bonita experiencia un poco larga y a agotadora, pero con un gran propósito, obtener tan anhelado logro en mi vida.

*Jhonattan González.*

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. GENERALIDADES	15
1.1 ANTECEDENTES	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.2.1 Descripción del problema	16
1.2.2 Formulación del problema	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 JUSTIFICACIÓN	17
1.5 DELIMITACIÓN	18
1.5.1 Espacio	18
1.5.2 Tiempo	18
1.5.3 Contenido	18
1.5.4 Alcance	18
1.6 MARCO REFERENCIAL	18
1.6.1 Marco teórico	18
1.6.2 Marco conceptual	22
1.6.2.1 Recolección y almacenamiento temporal	22
1.6.2.2 Transporte	22
1.6.2.3 Aprovechamiento y reciclaje	22
1.6.2.4 Disposición final	22
1.6.3 Marco normativo.	22
1.6.3.1 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)	22
1.6.3.2 Ley 1672 del 19 de Julio de 2013	24
1.6.3.3 Decreto 2041 de 2014	24
1.6.3.5 Convenio de Basilea	25
1.6.1.8 Protocolo de Montreal	26
1.6.3.7 Convenio de Estocolmo	26
1.7 METODOLOGÍA	26
1.7.1 Tipo de estudio	26
1.7.2 Fuentes de información	26
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	26
2. EVALUACIÓN EL ESTADO DEL ARTE DE LA LOGÍSTICA INVERSA	28
2.1 METODOLOGÍA PARA LA REVISIÓN DOCUMENTAL	28
2.2 APLICACIONES E IMPLICACIONES NACIONALES E INTERNACIONALES DE LA LOGÍSTICA INVERSA	28
2.2.1 Aplicación logística inversa a nivel internacional.	28
2.2.2 Aplicaciones de la logística inversa en Colombia	33

2.3 ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS DE GESTIÓN DE ELEMENTOS RAEE	35
2.3.1 Gestión de elementos RAEE a nivel regional (continentes)	36
2.3.2 Experiencias de gestión de elementos RAEE en países.	40
2.3.2.1 Gestión de residuos RAEE en Reino Unido	40
2.3.2.2 Gestión de residuos RAEE en Argentina	40
2.3.2.3 Gestión de residuos RAEE en España	41
2.3.2.4 Gestión de RAEE de Europa y Estados Unidos	42
3. APLICACIÓN DE LOGÍSTICA INVERSA DE RAEE EN EL ÁMBITO EMPRESARIAL COLOMBIANO	45
3.1 ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS DE IMPLEMENTACIÓN EXITOSA DE LOGÍSTICA INVERSA DE RAEE EN EMPRESAS COLOMBIANAS	45
3.1.1 Gerdau Diaco	45
3.1.2 Lityo S.A.S	46
3.1.3 Gaia Vitare	46
3.1.4 Belmont Trading	47
3.1.5 Ecocómputo	47
3.1.6 C.I. Recyclables S.A.S	48
3.1.7 RAEE Colombia SAS	48
3.1.8 Social RAEE	48
3.1.9 WEEE Global	48
3.2 SUSTANCIAS PELIGROSAS DE LOS RAEE Y ALTERNATIVAS DE SEPARACION PARA LAS TARJETAS	50
4. ANÁLISIS DE PROCESOS PARA EL MANEJO Y DE DISPOSICIÓN DE RAEE	52
4.1 PROCESOS DE SELECCIÓN Y SEPARACIÓN DE COMPONENTES DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	52
4.1.1 Reciclaje físico	52
4.1.1.1 Proceso de desmontaje	55
4.1.2 Reciclaje mecánico	58
4.1.3 Métodos de separación electromecánica	59
4.1.3.1 Trituración, lavado y tamizado	59
4.1.3.2 Separación magnética	61
4.1.3.3 Separadores de corrientes de Foucault.	62
4.1.3.4 Separador electrostático de corona	63
4.1.3.5 Separación triboelectrostática	63
4.1.4 Separación por gravedad	64
4.1.5 Refinación térmica y química	65
4.1.6 Incineración	66
4.2 ANÁLISIS GENERAL	66
5. CONCLUSIONES	69
6. RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFÍA	74

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Porcentaje de variación de las emisiones de CO2 en 2020 respecto a 2019	19
Figura 2. Compromiso de proyección de emisiones de GEI de Colombia para el 2030	20
Figura 3. Simbología de Logística Inversa	20
Figura 4. Residuos Generados por Continente	39
Figura 5. Materiales Aprovechables WEEE Global	50
Figura 6. Flujograma de las diferentes etapas de manejo de los RAEE	55
Figura 7. Proceso de Reciclaje de Equipos RAEE	57
Figura 8. Desmontaje Manual de Equipos Electrónicos	58
Figura 9. Trituración de RAEE	60
Figura 10. Separación Magnética de Metales de Equipos RAEE	62
Figura 11. Separadores de corrientes de Foucault	62
Figura 12. Procesos de Refinación de Metales	65



## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Fases de la Investigación	27
Cuadro 2. Situación a nivel regional de los residuos electrónicos y tendencias	37
Cuadro 3. Comparativo Estándar Europeo y de Estados Unidos para la Gestión de elementos RAEE	43
Cuadro 4. Tarjetas Presentes en los Equipos RAEE	50
Cuadro 5. Alternativas de tratamiento para las Tarjetas de circuito impreso TCI	51
Cuadro 6. Categorización de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) en la UE según la Directiva RAEE de 2002	53
Cuadro 7. Clasificación de RAEE desde una Perspectiva de su Gestión y Manejo	54
Cuadro 8. Procesos de Separación Electromecánica	59
Cuadro 9. Procesos de separación por densidad utilizados en la separación de metales no metálicos	64
Cuadro 10. Esquema de las variables de tratamientos para los diferentes aparatos eléctricos y electrónicos en países desarrollados y en vías de desarrollo	67

## GLOSARIO

**CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS:** Descripción de las propiedades tanto cuantitativas como cualitativas determinando sus contenidos y características.

**CICLO DE VIDA:** Tiempo que un componente posee para ser útil, se mide desde que este es extraído de la naturaleza hasta que es inservible o es un residuo.

**COMERCIALIZACIÓN:** Acción que se hace por una persona jurídica o natural para distribuir a un mercado un bien o un servicio por el que se considera un precio y con el cual se satisface una necesidad.

**CONSUMO RESPONSABLE:** Escoger un bien o un servicio considerando la responsabilidad con la naturaleza, pensando en su impacto social y ambiental y no sólo considerando precio y calidad.

**GENERADOR:** Persona o entidad que produce desechos o residuos peligrosos.

**CONDUCTA AMBIENTALMENTE RACIONAL DE LOS DESECHOS PELIGROSOS:** Comportamiento generado después de tomar las medidas necesarias, para garantizar que los residuos o desechos peligrosos no afecten la salud y el medio ambiente por enfermedades y condiciones nocivas que puedan verse relacionadas por los efectos de los desechos contemplados de los RAEE (Ley 253 de 1996, artículo 2).

**MECANISMO DE RECOLECCIÓN EQUIVALENTE:** Procedimiento por el cual se realiza la devolución los residuos eléctricos y electrónicos, considerando los pasos establecidos de transporte a lugares especializados para ser posteriormente almacenados, tratados, aprovechados, valorados o simplemente puestos en disposición final.

**OBSOLESCENCIA PLANIFICADA:** Estudió hecho sobre un producto para determinar el tiempo en el que este elemento funcionará correctamente sin recurrir a reparaciones o reemplazo total, sin que la marca se vea afectada por el ánimo del consumidor.

**OBSOLESCENCIA:** Componentes o equipo retirados del servicio por su desempeño a la hora de compararlos con las nuevas tecnologías ingresadas a los mercados.

**POS-CONSUMIDOR:** Persona o entidad que reúsa, recupera, aprovecha, trata o valoriza los residuos.

**PUNTO DE RECOLECCIÓN:** Lugar adecuado para que los consumidores regresen los elementos eléctricos y electrónicos y las organizaciones pertinentes puedan recoger y hacer su debido tratamiento, almacenamiento, o disposición final.

**REACONDICIONAMIENTO:** Procedimiento técnico en el que se renueva y se repara por completo la funcionalidad y la estética de un equipo desechado, de manera que este pueda ser reutilizado con la misma finalidad que fue fabricado.

**RECEPTOR:** Persona o entidad autorizada para llevar a cabo las acciones de aprovechamiento, almacenamiento y/o valorización.

**RECICLAJE:** Acto de introducir elementos que han sido desechados a la serie de producción.

**RECOLECCIÓN SELECTIVA:** Proceso en que los elementos recolectados provenientes de los residuos de electrónicos y eléctricos son seleccionados y separados para facilitar los pasos del manejo ambiental.

**REÚSO:** Emplear una pieza, un componente o un aparato desechado, para la misma funcionalidad que fue fabricado.

**VIDA ÚTIL:** Tiempo estimado que un componente tiene, funcionando correctamente.

## RESUMEN

En este trabajo de grado se presentan estudios de diversos mecanismos que la ingeniería ha creado para enfrentar la problemática ambiental de los residuos eléctricos y electrónicos, que incrementan proporcionalmente con las demandas de nuevos equipos tecnológicos, tanto en los hogares como en la industria, entre ellos, compañías recolectoras de aparatos eléctricos y electrónicos que bajo leyes mundiales y políticas internas de cada país, promueven responsabilidades de los fabricantes correspondientes a la gestión de los RAEE, ya que con la gestión adecuada han hecho que en planeta se apunte a los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos como una prioridad de regulación por medio del concepto de la responsabilidad del fabricante, para que con indicadores de regulación sincera los fabricantes de elementos y aparatos eléctricos y electrónicos diseñen estrategias para recolectar de forma adecuada y selectiva los RAEE, empleen procesos de reciclaje y reutilización y otros mecanismos para aprovechar los residuos reduciendo la contaminación, recuperando materias primas de segunda mano valiosas, disminuyendo costos asumidos a la producción, eliminando un poco de contaminación del medio ambiente, reduciendo desechos en los rellenos sanitarios e incrementado el valor de la economía circular en los negocios verdes al rededor del mundo, todo lo anterior con conciencia social y ambiental.

La informática, la electrónica y la domótica y todas sus ramas y avances, hacen y facilitan la vida de ser humano.

Las necesidades de adquirir un mejor equipo o maquinaria son evidentes, ya sea por mejoras en sus diseños, obsolescencia planificada o vida útil, pero ¿qué pasa con los residuos tecnológicos?, ¿dónde termina cada aparato que es remplazado por uno nuevo? , preguntas como estas hacen que la necesidad tecnológica sea una problemática ambiental por lo mismo se requiere empezar a reciclar, a crear conciencia y conocimientos básicos de los daños que estos generan, estudios demuestran que una batería de litio de un simple teléfono móvil si se dejará caer al agua contaminaría 50 mil litros de agua.

Entre los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos encontramos varios materiales peligrosos para el caso de los metales pesados encontramos el antimonio, cromo, plomo, arsénico y mercurio, causantes de grandes daños a la salud y el medio ambiente

El cromo afecta los riñones y los huesos, el plomo produce efectos en el cerebro y sistema circulatorio, el mercurio se destaca por causar daños en el sistema nervioso y el cerebro y el cadmio produce infertilidad.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) son productos que facilitan la vida cotidiana de los seres humanos, estos equipos requieren para su debido funcionamiento fuentes de energía y campos electromagnéticos para realizar trabajos determinados y cumplir con la necesidad para la que fueron creados. Después que los aparatos cumplen su vida útil las personas los desechan y se convierten en residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), este ciclo está relacionado a un modelo matemático socioeconómico de consumo y crecimiento basado en la publicidad de generar necesidades de bienes y servicios.

Este escenario desencadena un ciclo de vida enfermo, que genera afectaciones en la explotación incontrolada de materias primas, consumo energético y generación de residuos, que indican un alto riesgo sobre la sostenibilidad ambiental que afecta la salud de los animales y las personas.

Los RAEE son residuos muy complejos en logística de descomposición, por sus componentes peligrosos y consumos masivos, en la actualidad los encontramos en las industrias, hogares, empresas e instituciones, la estructura de los residuos cambia según cada tipo de aparato y se pueden obtener múltiples materiales recuperables que se pueden convertir en materias primas, como también en sustancias peligrosas que requieran de manejos adecuados y controlados.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente la logística inversa se encarga de la recuperación y reciclaje, en este caso de residuos peligrosos, y así gestionar retornos de excesos de inventarios, alargar la vida útil de los productos, este proceso inicia desde los diferentes productos de consumo hasta el punto de origen, donde el objetivo es articular los residuos sólidos desde la recuperación y reparación y así lograr disminuir una contaminación y bajos costos.

La logística inversa presenta beneficios claves, ya que ayuda al desarrollo sostenible, minimizar los costos a nivel mundial, generar nuevas materias primas a partir de la reutilización de ciertos productos desechables y una mejora en la imagen de la empresa, igualmente el método de logística genera unas ventajas que nos ayudan a la toma de decisiones acertadas para llegar a obtener un beneficio económico.

Para abarcar más sobre el tema de Logística inversa y logística verde abordaremos con la descripción de conceptos claves, RAEE, logística inversa, así como conceptos y procesos de las reglamentaciones o normativas que se han implementado en el transcurso del tiempo a nivel mundial, para mitigar el impacto ambiental y lograr conocer los procesos que le dan a los elementos que no se pueden reutilizar, con la metodología y apoyo de investigación de artículos, trabajos de grado, informes institucionales y empresariales para lograr a desarrollar los objetivos de cada capítulo mencionados a continuación.

En el primer capítulo del trabajo de grado se evaluará el estado del arte en donde vamos a evaluar y analizar la información recopilada de aplicaciones e implicaciones nacionales e internacionales de la logística inversa y logística verde.

En el capítulo dos abordamos la aplicación de logística inversa en RAEE en el ámbito empresarial colombiano para el análisis de experiencias de implementaciones exitosas en las empresas colombianas y así lograr identificar las ventajas de los negocios verdes a nivel nacional.

Para el tercer capítulo vamos a dar a conocer el proceso de disposición de RAEE, donde analizaremos los procesos de selección y separación de metales pesados en los equipos electrónicos y su proceso final de los metales utilizados en las tarjetas electrónicas.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 ANTECEDENTES

El trabajo que se desarrolla a continuación se despliega dándole continuidad y actualización del estado del arte a los trabajos de Logística Verde en donde se da a conocer los residuos sólidos derivados del plástico en la planta de acopio, Aplicación a la industria colombiana (2019), proceso productivo dentro de una cadena de suministro en Colombia, realizado bajo el semillero de investigación de la actualización del estado del arte de la logística verde. Se presentan conclusiones principales como:

Un modelo matemático para dar múltiples soluciones a los problemas de distancia, tiempo y lo que ello implica, vehículos de transporte para movilizar elementos de recolección de residuos procedentes de materiales plásticos en los sectores de Kennedy Bosa y los barrios que contiene estas localidades, adicional a ello cuentan con una planta central ubicada en el barrio Alquería<sup>1</sup>.

Esta metodología no era puesta en marcha porque en el año 2014 los estudios encontrados eran restringidos y escasos, por lo anterior mencionado los conceptos de la logística no estaban completamente encaminados a la conciencia ambiental de las compañías, se sabe que en la actualidad los conceptos ambientales han motivado y han creado la necesidad de generar conciencia en las personas por mantener la biodiversidad, se hacía necesario tener cómo guía las compañías exitosas en estos temas para buscar la estandarización de procesos y prácticas similares<sup>2</sup>.

Según el informe de las Naciones Unidas (ONU), “los habitantes del planeta generaron 48,5 millones de toneladas de basura electrónica en 2018. Y solamente el 20% de esos dispositivos son reciclados, si las cosas no cambian, la ONU estima que podría haber hasta 120 millones de toneladas de basura electrónica en 2050”<sup>3</sup>.

Por lo anterior, y en consecuencia del proyecto para el bienestar ambiental, se requiere como idea principal la concientización de la ciudadanía del proceso de desechos de las tarjetas eléctricas a nivel Nacional teniendo por finalidad aportar ideas de logística verde y logística inversa para que culturicen los procesos de reciclaje dentro de una cadena de producción con el objetivo de visualizar y desarrollo sustentable y sostenible con el medio ambiente maximizando los

---

<sup>1</sup> ALGARRA FAGUA, Diana Stella. Logística de recogida para residuos sólidos derivados del plástico en la planta de acopio del barrio la alquería en la ciudad de Bogotá. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Industrial. Modalidad trabajo de Maestría en Ingeniería Industrial, 2016. p. 79

<sup>2</sup> CORTÉS ROMERO, Lady Stephania. Actualización del Estado del Arte sobre Logística Verde: Aplicación en la Industria Colombiana. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de Investigación, 2019. p. 13

<sup>3</sup> BBC NEWS MUNDO. La basura electrónica en 4 gráficos: cómo el mundo desperdicia US\$62.500 millones cada año [en línea]. Bogotá: BBC News [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47032919>>

procesos de aprovechamiento; Debido a la revisión de lecturas, artículos y páginas Web realizadas, se trató de buscar información sobre información sobre el tratamiento de desechos la industria en las plantas de energía, pero no se encuentra mayor información para profundizar en el proyecto.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

**1.2.1 Descripción del problema.** Actualmente las grandes demandas de tecnología dejan toneladas de desechos eléctricos y electrónicos que implica grandes costos a las empresas al reducir el impacto del medio ambiente y el deterioro de los recursos naturales, por esta razón es necesario analizar desde un enfoque social los procesos y los grandes beneficios de una economía circular al reutilizar las materias primas de los aparatos eléctricos y electrónicos cuando la vida útil de estos se ha agotado.

Por este motivo es de vital importancia demostrar que la logística inversa es una metodología eficiente y fácil de implementar en cualquier organización igualmente con la logística verde para obtener grandes beneficios económicos y un cambio ambiental hay que optar por nuevas alternativas de producción limpia.

**1.2.2 Formulación del problema.** La globalización ha incrementado una alta demanda de equipos electrónicos y así mismo de desechos producidos por obsolescencia planificada, vida útil de los componentes, evolución tecnológica o simplemente disminución de costos en los mercados tecnológicos que incrementan globalmente los desechos electrónicos sin ser aprovechados.

A esto se suma “la contaminación en el agua, aire y suelo por toxinas que dichos componentes desprenden, estas son fuentes malignas para el ser humano y para el reino animal”<sup>4</sup>.

Por eso se hace necesaria la responsabilidad social con el medio ambiente, depositando dichos componentes en empresas de reciclaje confiables en manejo de estos desechos, que aseguran la reutilización de los materiales. Aportando mejoras al medio ambiente y utilidades a las economías de las ciudades.

Para ello se requiere seguir los pasos de clasificación de material (RAEE), transfiriendo a una línea de desarme y posteriormente recuperándose para crear materia prima limpia y reciclada, reduciendo costos en líneas de producción y respetando el medio ambiente. Por lo anterior mencionado es necesario preguntar. ¿Cómo ha evolucionado el estado del arte de la logística inversa, en las cadenas

---

<sup>4</sup> NATIONAL GEOGRAPHIC. Los peligros de la basura electrónica [en línea]. Bogotá: NG [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/peligros-basura-electronica\\_13239](https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/peligros-basura-electronica_13239)>



de recuperación de materias primas de aparatos eléctricos y electrónicos en los últimos 5 años en Colombia?

### **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 Objetivo general.** Actualizar el trabajo de investigación de la filosofía de logística verde (Green logistics), extendiendo dicho concepto al de la logística inversa, correspondiente a los últimos 5 años en el mundo y su práctica en Colombia en el ámbito de la recuperación de materias primas de los aparatos electrónicos y eléctricos, generando economía circular y beneficios al medio ambiente. Lo anterior, con la finalidad de ofrecer otras expectativas de búsqueda al semillero.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar el estado del arte de la logística inversa según su implementación y aplicación a nivel internacional y nacional.
- Identificar empresas en Colombia que utilizan la logística inversa de RAEE.
- Estudiar el proceso de selección y separación de metales pesados en los equipos electrónicos.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Actualmente las implicaciones sociales, económicas y ambientales hacen parte de políticas que están acogiendo las empresas a nivel nacional para lograr cumplir con los requerimientos legales y de responsabilidad social; con el fin de tener en cuenta la problemática que se da al respecto de la disposición final de los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos, para el caso de las empresas de energía en Colombia, de la compañía ENEL – CODENSA en Bogotá, se estuvo investigando su proceso de logística inversa, pero no hay información específica en el sector de reciclaje de materiales usados de la empresa, ya que la información es muy limitada y restringida, por el motivo anterior está enfocando en las tarjetas en desuso o deterioradas de equipos electrónicos consideradas basura electrónica, las cuales con un proceso adecuado se consideran una fuente generadora de ingresos por las cantidades de metales y plásticos que las conforman, actualmente este material es asequible ya que los cambios tecnológicos generan y facilitan su existencia, ya que en muchos casos es inevitable la devolución de productos por parte de los clientes a las empresas de producción tecnológica, y ante este hecho los empresarios buscan cada vez más opciones de minimizar las pérdidas de estas piezas inútiles que generan gastos y contaminan el medio ambiente, procesando estos materiales para convertirlo en nuevos productos que tengan oportunidades en el mercado activando un plan de economía verde circular.

Adicionalmente, el proceso de logística inversa propuesto en el trabajo, podría ser factible al iniciar una re manufacturación o remozamiento de estos elementos, con el fin de que las empresas sean conscientes del impacto ambiental al no hacer un debido proceso de desechos de estos aparatos, logrando un sistema de recuperación ambiental, una cadena de recuperación factible y conocer los grandes beneficios de la minería urbana, amistosa con el ambiente generadora de nuevos empleos empleo, contribuyendo con la tecnología y la facilidad de las cosas producidas por la ciencia.

## **1.5 DELIMITACIÓN**

**1.5.1 Espacio.** Esta investigación geográficamente se llevará a cabo a nivel Nacional en las instalaciones de la universidad católica de Colombia.

**1.5.2 Tiempo.** El tiempo para elaborar el presente trabajo es de aproximadamente de 4 meses.

**1.5.3 Contenido.** Para el progreso de este estudio, es necesario considerar el rango de acción en la problemática ambiental presente en las cadenas de suministros de tarjetas eléctricas.

**1.5.4 Alcance.** El alcance depende de la información disponible de la literatura, respecto a la cadena de recuperación de materiales, ya que será un limitante.

## **1.6 MARCO REFERENCIAL**

**1.6.1 Marco teórico.** La logística verde es un proceso que buscar dar un destino correcto a los residuos de bienes y consumos e incluyendo la reducción de embalajes y del impacto ambiental de las industrias.

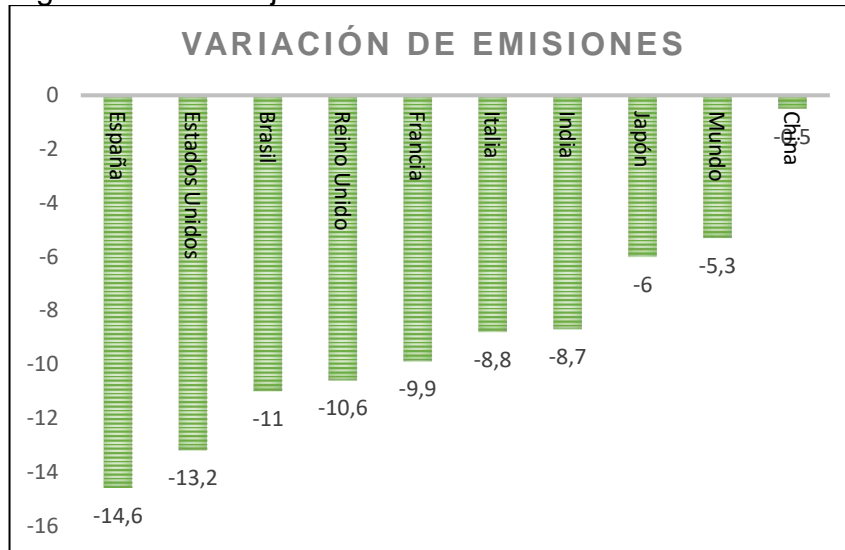
Las grandes organizaciones han cambiado su pensamiento, en la transformación de los procesos, en donde incorporan unas nuevas metodologías a sus sistemas logísticos, para el uso de modernas tecnologías y métodos de empaque y embalaje, de manera que las industrias pueden llegar a reducir costos y mejorar la imagen.

La ONU (organización de las naciones unidas), ha investigado sobre la trascendencia de los agentes que inciden en el cambio climático, en donde ciertos tratados hicieron un pacto con la reducción del 5.6% de los gases de efecto invernadero (véase la Figura 1). “La emisión de CO<sub>2</sub> es uno de los tantos problemas más fuertes a los que se enfrenta el mundo. Prueba de esto es el daño ocasionado a la capa de ozono, que está dando lugar al rudo cambio climático que sufren muchos países del planeta. En el campo de acción de la logística, el CO<sub>2</sub> se genera durante los procesos de transportes y almacenajes. Según la Agencia Internacional

de la Energía, el transporte de mercancías es el responsable del 10% de las emisiones globales de CO2”<sup>5</sup>

Debido a ellos y últimamente con la afectación de la pandemia que inicio a principios del año 2020, se predijo que las emisiones del CO2 reducirían en gran medida, debido las actividades económicas caerían un gran porcentaje, igualmente los viajes en vuelos nacionales e internacionales (véase la Figura 1)

Figura 1. Porcentaje de variación de las emisiones de CO2 en 2020 respecto a 2019



Fuente. Modificada a partir de: MENA ROA, Mónica. Emisiones de CO2 ¿Cuánto han disminuido las emisiones de CO2 en 2020? [en línea]. Bogotá: Statista [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://es.statista.com/grafico/23231/variacion-de-las-emisiones-de-co2-en-2020-respecto-a-2019/>>

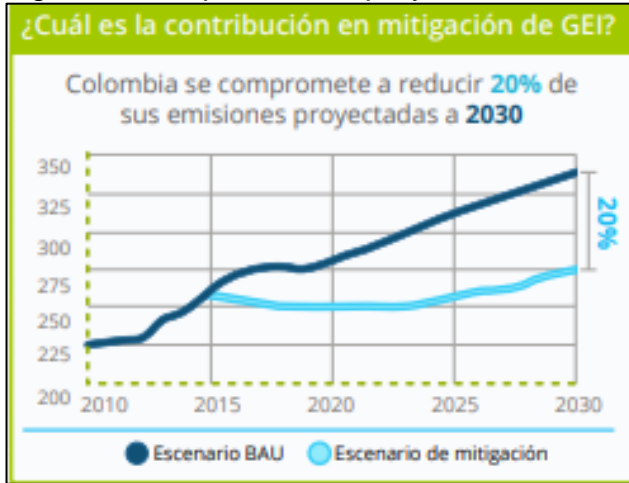
“La pandemia del COVID-19 ha logrado la disminución a corto plazo de las emisiones mundiales pero no indicara a largo plazo mucho, porque todos los países aspiran a una recuperación económica y la normalidad de todo, dejando a un lado la des carbonización energética”<sup>6</sup>.

El acuerdo colombiano referente a el convenio en la COP21 es bajar un 20% la cantidad de GEI que origina (véase la Figura 2).

<sup>5</sup> IGLESIAS LÓPEZ, Antonio. Qué es la Logística Verde y qué beneficios aporta [en línea]. Bogotá: ESIC Business & Marketing School [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.esic.edu/rethink/management/que-es-la-logistica-verde-y-que-beneficios-aporta>>

<sup>6</sup> NOTICIAS ONU. Las emisiones de CO2 rompen otro récord: un calentamiento global catastrófico amenaza el planeta [en línea]. Madrid: News UN [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://news.un.org/es/story/2020/12/1485312#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20informe%2C%20las%20emisiones,a%20causa%20del%20COVID%2D19.&text=Los%20cient%C3%ADficos%20calculan%20que%20el,e%20calentamiento%20global%20para%202050>>

Figura 2. Compromiso de proyección de emisiones de GEI de Colombia para el 2030



Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. COP 22 [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/cop22#cop22>>

Para la logística inversa ha aumentado poco a poco la necesidad de las organizaciones, por implementar métodos que tengan mejoras económicas, ambientales y sociales donde siempre estén con la normatividad establecida, y demostrar que es posible aplicar nuevas estrategias en donde se conserve la relación entre la sociedad y el medio ambiente (véase la Figura 3)

Figura 3. Simbología de Logística Inversa



Fuente. RENTERO, Antonio. La logística inversa: ¿qué es y para qué sirve? [en línea]. Bogotá: Hiberus [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL:<https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/la-logistica-inversa-que-es-y-para-que-sirve/>>

Se puede evidenciar la preocupación sobre los costos adicionales para las empresas en el momento de aplicar este proceso; sin embargo, es importante hacer siempre un estudio de factibilidad del proyecto, donde se determine la cantidad aproximada de devoluciones o posibles entradas de productos fuera de uso para su reutilización o reciclaje para aumentar la cantidad y calidad en donde podemos evidenciar algunas ventajas.

➤ **Cuidado del medio ambiente:** disminuye el impacto ambiental, aunque no es un objetivo principal, sí que se ocupa de ello.

➤ **Reduce el coste:** el reciclar, volver a utilizar o incluso hacer materiales nuevos, es una manera de ahorrar en la compra de nuevas materias primas.

➤ **Reducción en el consumo de recursos:** minimiza el gasto en compra y abastecimiento de materiales y obviamente recursos nuevos.

➤ **Una mejor relación entre el cliente y los proveedores:** las dos partes salen beneficiadas<sup>7</sup>.

Así mismo, se encuentran algunos inconvenientes como:

➤ **Aumento del trabajo:** estos procesos de logística inversa no son fáciles. Hay que saber gestionar la cadena de suministros y hacer una programación adecuada para que funcione bien. Para que se puedan poner en marcha estas funciones, es necesario más personal o hacer horas extras.

➤ **Deben participar todos los departamentos de la empresa:** mediante este proceso gran parte de la empresa se tiene que involucrar, de no hacerlo, es posible que sea negativo para el trabajo en el día a día de algunas secciones o departamentos de la empresa.

➤ **Control de los productos que se devuelven:** aquí es necesario contar con personal de inspección de los materiales, debiendo hacerse la revisión uno a uno, algo costoso.

➤ **Devolución de material:** a veces no se puede amortizar el coste de la logística inversa. Si el cliente devuelve cantidades pequeñas es posible que el reciclado o reutilización termine no mereciendo la pena<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> RENTERO, Antonio. La logística inversa: ¿qué es y para qué sirve? [en línea]. Bogotá: Hiberus [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/la-logistica-inversa-que-es-y-para-que-sirve/>>

<sup>8</sup> RENTERO, Antonio. La logística inversa: ¿qué es y para qué sirve? [en línea]. Bogotá: Hiberus [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/la-logistica-inversa-que-es-y-para-que-sirve/>>

## 1.6.2 Marco conceptual.

### 1.6.2.1 Recolección y almacenamiento temporal.

- En la etapa de recolección, el operador deberá definir los mecanismos y procedimientos de recepción y recogida de los RAEE.
- Los RAEEs deben almacenarse en un sitio techado, libre de otros residuos.
- El almacenamiento, debe efectuarse sobre estibas, a fin de evitar el contacto directo sobre el suelo, aislándolo de la humedad.
- Al momento de entrada del aparato eléctrico o electrónico a la bodega de almacenamiento, se deberá registrar en una planilla sus características y fecha de ingreso y etiquetar los aparatos con el número consecutivo asignado.
- Los RESPEL como son las baterías, se almacenarán temporalmente por un periodo máximo de 12 meses y deberán ser entregados para su transporte y disposición final a un gestor externo que cuente con las licencias y permisos ambientales requeridos para esta actividad<sup>9</sup>.

**1.6.2.2 Transporte.** “Se realizará garantizando la integridad de los mismos de forma que puedan darse las condiciones para su posterior reutilización y reciclado, evitando su rotura, exceso de apilamiento, emisión de sustancias y pérdida de materiales”<sup>10</sup>.

**1.6.2.3 Aprovechamiento y reciclaje.** “Estas actividades solo se podrán efectuar por parte de empresas que cuenten con los respectivos permisos y licencias, los cuales deberán ser verificados por el operador de los sistemas al momento para la entrega de los equipos”<sup>11</sup>.

**1.6.2.4 Disposición final.** “El operador de los sistemas, no podrá realizar actividades de quema, enterramiento de los RAEE. No se podrán disponer RAEE en forma de donación, cesión o venta a ninguna entidad o empresa que no cuente con los permisos o licencias que lo acrediten para el manejo integral de RAEE”<sup>12</sup>.

## 1.6.3 Marco normativo.

**1.6.3.1 Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE).** El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE tiene como objeto

---

<sup>9</sup> INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS (IPSE). Protocolo para manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos – RAEE. Bogotá. IPSE, 2019. p. 7

<sup>10</sup> *Ibíd.*, p. 8

<sup>11</sup> *Ibíd.*, p. 8

<sup>12</sup> *Ibíd.*, p. 8

fundamental “establecer las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Sin perjuicio del cumplimiento de las reglamentaciones civiles, mecánicas y fabricación de equipos”<sup>13</sup>

Desde “El primero de mayo de 2005 entró a regir en Colombia el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE, Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE cuyo objeto es establecer las medidas que garanticen la seguridad de las personas, la vida animal y vegetal, y la preservación del medio ambiente, previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico”<sup>14</sup>

De acuerdo a la RETIE Vigente del Ministerio de Minas y Energía, nos da a conocer en el Capítulo 9 Prohibiciones. - Artículo 31º -Parágrafo 31.3 Materiales Reutilizados en Instalaciones de Uso Final. “A partir del 1º de mayo de 2005, quedó prohibido el uso de materiales o artefactos reutilizados o remanufacturados en instalaciones para el uso final de la electricidad”<sup>15</sup>

Esta restricción es aplicada a los equipos que por su uso pueden perder sus características originales y propiedades de operación, exponiendo a riesgos a los usuarios, tales como interruptores automáticos, relés diferenciales, interruptores de protección de falla a tierra y en general aquellos que no demuestren la conservación de sus características técnicas. Por tal razón, productos usados o remanufacturados se podrán utilizar en las instalaciones eléctricas sólo si demuestran la conformidad con el presente reglamento, mediante el cumplimiento de pruebas tipo, realizadas por laboratorios acreditados o en su defecto laboratorios evaluados por organismos de certificación de producto. El uso de equipos y materiales de una instalación que se traslade de lugar está limitado a que los resultados de pruebas de funcionalidad y de aislamiento sean satisfactorios. De tales pruebas y sus resultados se dejarán los registros correspondientes, los cuales serán revisados en la certificación de la instalación, como documentos de sustitución de los certificados de conformidad de producto<sup>16</sup>.

---

<sup>13</sup> APONTE GUTIÉRREZ, David. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2013. p. 2

<sup>14</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Cartilla Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE [en línea]. Bogotá: UPME Unidad de Planeación Minero Energética [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.upme.gov.co/Docs/Cartilla\\_Retie.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Cartilla_Retie.pdf)>

<sup>15</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Anexo general del RETIE Resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>>

<sup>16</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Anexo general del RETIE Resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>>

**1.6.3.2 Ley 1672 del 19 de Julio de 2013.** En Colombia, la Ley 1672 de 2013 (Congreso de la República de Colombia, 2013) define los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) como:

Todo aparato que para su funcionamiento requiere de energía eléctrica o campos magnéticos producidos por corrientes, como también aparatos utilizados para generar y transmitir energía, se incluyen herramientas o elementos que sirven para hacer medidas de dichas corrientes y los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE.

Este concepto comprende todos los componentes de consumo y de subconjuntos que hacen parte del producto en los momentos que se desechan como aparatos eléctricos o electrónicos en el instante en que son descartados, salvo que sean considerados peligrosos dado que en este caso dichos componentes serán tratados bajo los procesos adecuados de alto riesgo<sup>17</sup>.

Por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y se dictan otras disposiciones de acuerdo con las directrices que para el efecto establezca el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

**1.6.3.3 Decreto 2041 de 2014.** El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible reglamentó, por medio del **Decreto 2041 de 2014**, la licencia de ambiente para la operación y construcción de instalaciones que acogen como objetivo el almacenamiento, aprovechamiento, tratamiento, recuperación, reciclado y puesta en disposición final de los residuos RAEE. Del estudio ambiental se relacionan algunas actividades como lo es la reparación de aparatos eléctricos y electrónicos y el reacondicionamiento de dispositivos usados para los cuales se implementan los conceptos de protección, el uso, el manejo y aprovechamiento de los recursos renovables y el medio ambiente de la nación a fin de asegurar el desarrollo sostenible. Donde se enfocan en fortalecer el proceso de estudio ambiental, la gestión de las autoridades ambientales y promover la responsabilidad ambiental en aras de la protección del medio ambiente.

**1.6.3.4 Parlamento Europeo.** Asociación económica y política que existe en el mundo, se reúnen la mayor parte de organismos comunitarios donde cuenta como objetivo la reducción de emisiones más ambiciosos del mundo para luchar contra el cambio climático, así mismo la directiva de la Unión Europea procura aumentar la conducta ambiental de todos los factores que interceden en su ciclo de vida de los aparatos eléctricos y electrónicos, de los productores, distribuidores, consumidores y de las organizaciones que involucran los tipos de recolección.

---

<sup>17</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE. Definiciones de aparatos eléctricos y electrónicos y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 8 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book\\_rae\\_/contenido\\_2\\_1\\_1.html](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_1_1.html)>



Por tal razón las directivas exigen a los productores los cumplimientos de uno de los objetivos de recolección de los RAEE.

Así, a partir de 2016, el índice de recogida que deberá alcanzarse anualmente será, mínimo, del 45% del peso medio de los aparatos eléctricos y electrónicos introducidos en el mercado en el Estado miembro que se trate, en los tres años precedentes y a partir de 2019 será del 65 % o, alternativamente, del 85 % de los RAEE generados en el territorio de ese Estado miembro. También, establece unos objetivos de valorización por categoría y periodo de aplicación que oscilan entre el 55 % y el 80 % del volumen total de los RAEE recolectados<sup>18</sup>.

En Latinoamérica, Colombia han expedido legislaciones basadas en la responsabilidad en el productor, tomando como referencia la experiencia internacional y la Directiva de RAEE de la UE para lograr implementar sistemas de recolección y gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

**1.6.3.5 Convenio de Basilea.** Acuerdo Multilateral sobre el Medio ambiente (AMUMA), en donde una variedad de países del mundo se encuentra en el sistema de Naciones Unidas donde agrupan ideas para resguardar el medio ambiente y la salud humana de las consecuencias nocivas, provocando por la generación, movimientos, manejo, eliminación y transfronterizos de desechos peligrosos. Asimismo, identifica la forma más efectiva de salvaguardar la salud humana y el ambiente de daños generado por los sobrantes de basura que se basa en la máxima reducción de su generación en cantidad o en peligrosidad. “La corriente de desechos A1180 del anexo VIII del Convenio es la que más se identifica con los RAEE que pueden ser clasificados como peligrosos a menos que no presenten ninguna de las características que, en este sentido, establece el Convenio”<sup>19</sup>

Hoy en día, al excluir los aparatos electrónicos se exportan a países que tienen bajas probabilidades de contar con infraestructuras y con las condiciones de normatividad necesarias para anticipar daños en la salud humana y del medio ambiente. Esto se debe a factores menos costoso para exportar y tratar los residuos en el país de origen, la disposición de mercados para las materias primas y/o para el reciclaje, la ubicación de los fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos. de origen, la disponibilidad de mercados para materias primas o para el reciclaje y la ubicación de los fabricantes de equipos eléctricos y electrónicos.

---

<sup>18</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE. Marco normativo 2.2.2 Internacional [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 8 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book\\_rae\\_/contenido\\_2\\_2\\_2.html#:~:text=As%C3%AD%2C%20a%20partir%20de%202016,alternativamente%2C%20del%2085%20%25%20de%20los](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_2_2.html#:~:text=As%C3%AD%2C%20a%20partir%20de%202016,alternativamente%2C%20del%2085%20%25%20de%20los)>

<sup>19</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE. Marco normativo 2.2.2 Internacional [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 8 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book\\_rae\\_/contenido\\_2\\_2\\_2.html#:~:text=As%C3%AD%2C%20a%20partir%20de%202016,alternativamente%2C%20del%2085%20%25%20de%20los](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_2_2.html#:~:text=As%C3%AD%2C%20a%20partir%20de%202016,alternativamente%2C%20del%2085%20%25%20de%20los)>

**1.6.1.8 Protocolo de Montreal.** El protocolo de Montreal es un convenio global que tiene como propósito defender la capa de ozono mediante control de consumo y producción de sustancias que son extenuantes para la capa de ozono, con este protocolo se pretende considerar la gestión y el manejo de los RAEE en la etapa de manufactura de los aparatos eléctricos y electrónicos que requieras para su desempeño SAO (Sustancias Agotadoras de Ozono), como también darle la disposición final de la vida útil de los equipos, para lograr una gestión segura. “Si bien es cierto que el Protocolo de Montreal ha sido el instrumento internacional más exitoso en la eliminación de consumo de SAO mundial, financiando procesos de reconversión industrial, el reto que tienen ahora los países es afrontar la gestión ambientalmente segura de los RAEE que incluyen grandes cantidades de estas”<sup>20</sup>.

**1.6.3.7 Convenio de Estocolmo.** Se encarga de regular los contaminantes orgánicos persistentes (COP), que entro a regir en el 2004, que tiene como propósito proteger la salud humana y del medio ambiente. Lo cual establece para sus miembros la obligación de adquirir y/o progresar las medidas necesarias para impedir la producción, importación, utilización y exportación de los contaminantes. “En relación con la gestión de los RAEE, el convenio de Estocolmo establece, la necesidad de implementar mejoras técnicas y mejores prácticas ambientales para el manejo de equipos o aparatos con retar dantes de llama”<sup>21</sup>.

## 1.7 METODOLOGÍA

**1.7.1 Tipo de estudio.** Para realizar el presente trabajo de grado se utilizará un estudio descriptivo, con el objetivo de buscar las condiciones que en la actualidad se generan en la problemática propuesta a través de la inspección y estudio de textos, donde se buscará relacionar conceptos de logística inversa, y procesos de la RAEE para los datos que se encontraron.

**1.7.2 Fuentes de información.** Las Fuentes de la información que se emplearan considerando un estado del arte, serán secundarias tales como: libros, artículos, legislaciones vigentes, normas técnicas, ministerio de ambiente y la CAR.

## 1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

Fases que se utilizará en la metodología del trabajo de grado serán las siguientes (véase el Cuadro 1)

---

<sup>20</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE. Marco normativo 2.2.2 Internacional [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 8 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book\\_rae\\_/contenido\\_2\\_2\\_2.html#:~:text=As%C3%AD%2C%20a%20partir%20de%202016,alternativamente%2C%20del%2085%20%25%20de%20los](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_2_2.html#:~:text=As%C3%AD%2C%20a%20partir%20de%202016,alternativamente%2C%20del%2085%20%25%20de%20los)>

<sup>21</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE. Marco normativo 2.2.2 Internacional [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 8 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book\\_rae\\_/contenido\\_2\\_2\\_2.html#:~:text=As%C3%AD%2C%20a%20partir%20de%202016,alternativamente%2C%20del%2085%20%25%20de%20los](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_2_2.html#:~:text=As%C3%AD%2C%20a%20partir%20de%202016,alternativamente%2C%20del%2085%20%25%20de%20los)>

Cuadro 1. Fases de la Investigación

<b>Fase</b>	<b>Herramientas</b>	<b>Resultados Esperados</b>
Fase 1. Evaluación del estado del arte	Revisión de documentos (artículos, trabajos de grado, informes institucionales y empresariales)  Evaluación y análisis de información recopilada	Evaluación de aplicaciones e implicaciones nacionales e internacionales de la logística inversa y logística verde  Análisis de experiencias de gestión de elementos RAEE
Fase 2. Aplicación de logística inversa de RAEE en el ámbito empresarial colombiano	Revisión de documentos (artículos, trabajos de grado, informes institucionales y empresariales)	Análisis de experiencias de implementación exitosa de logística inversa de RAEE en empresas colombianas.
Fase 3. Proceso de disposición de RAEE	Revisión documental	Análisis de los procesos de selección y separación de metales pesados en los equipos electrónicos  Proceso final de los materiales usualmente más utilizados en las tarjetas electrónicas

Fuente. Los Autores

## 2. EVALUACIÓN EL ESTADO DEL ARTE DE LA LOGÍSTICA INVERSA

### 2.1 METODOLOGÍA PARA LA REVISIÓN DOCUMENTAL

La revisión documental se realizó teniendo en cuenta los siguientes criterios de búsqueda y selección de material literario:

- Fuentes de información bases de dato científicas, repositorios empresariales, sectoriales y universitarias.
- Material literario de tipo artículos de investigación, estudios, informes sectoriales y empresariales, trabajos académicos de pregrado y postgrado.
- Material literario publicado a partir de los últimos 10 años es decir 2010-2020.
- Material literario publicado en idioma extranjero (inglés) y español, de diferentes países.
- Palabras claves para la búsqueda: logística inversa, experiencias exitosas de logística inversa, aplicación de logística inversa, logística inversa en empresas, logística verde, procesos disposición y reutilización de elementos RAEE, casos exitosos de reutilización de elementos RAEE.

Luego de realizar el proceso de búsqueda del material literario, se procede a la comprobación y selección según cumplimiento de los criterios de búsqueda establecidos, organizándolos en una matriz según tipo de documento, fecha de publicación, y recopilando los principales aportes sobre la logística inversa, logística verde y disposición y reutilización de elementos RAEE, para finalmente realizar el análisis de la información la cual se relaciona a continuación.

### 2.2 APLICACIONES E IMPLICACIONES NACIONALES E INTERNACIONALES DE LA LOGÍSTICA INVERSA

**2.2.1 Aplicación logística inversa a nivel internacional.** Durante el proceso de revisión literaria se puede encontrar que una de las actividades en las que se aplica la logística inversa a nivel internacional ha sido en la cadena de suministro, haciendo referencia a los “procesos asociados con la gestión de productos más allá de la fabricación y la venta final, esto incluye reparación, recuperación de garantía, redistribución, recuperación de valor, reciclaje al final de su vida útil”<sup>22</sup>, así mismo hace referencia a “las prácticas y estrategias de gestión que reducen la huella

---

<sup>22</sup> HELJULA, Mike. Reverse logistics impact the supply chain, says Arrow 2012 [en línea]. London: Electronics Weekly [citado 20 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.electronicsworld.com/news/business/distribution/reverse-logistics-impact-the-supply-chain-says-arrow-2012-04/>>

ambiental y energética de la distribución de carga, centrándose así mismo, en la manipulación de materiales, la gestión de residuos, el embalaje y el transporte”<sup>23</sup>.

En este sentido, en países como Estados Unidos por ejemplo, la logística inversa ha tenido un papel fundamental en las cadenas de suministro, pues las empresas han observado que “la gestión eficaz inversa ofrece oportunidades para reducir costos y/o crear flujos de ingresos previamente desaprovechados al mejorar la eficiencia, minimizar el desperdicio y recuperar el valor subyacente de los bienes y materiales devueltos que podrían potencialmente reutilizarse, o eliminarse adecuadamente o cualquier otra forma en que puedan reintegrarse en los mercados secundarios y generar valor”<sup>24</sup>.

En cuanto a cifras, informes de empresas como como *Redbird Logistics Services*<sup>25</sup> de Estados Unidos y *Locus* de la India<sup>26</sup>, exponen que en los últimos años, el comercio electrónico ha experimentado un enorme aumento de popularidad, lo que también ha provocado un fuerte aumento de los pedidos de devolución, observándose una tasa de retorno de las ventas electrónicas del 30%, y que los costos totales de entrega de devolución fueron de alrededor de \$246 mil millones en América del Norte y más de \$ 600 mil millones en todo el mundo, requiriéndose de este modo una buena estrategia de logística inversa para minimizar costos. Así mismo explican que, desde la perspectiva del cliente, cuando se trata de devolver productos no deseados, alrededor del 62% dice que quiere una etiqueta de devolución con su pedido. Del mismo modo, un 57% dice que quiere reembolsos automáticos, mientras que el 47% quiere que todo el proceso de devolución sea fácil de seguir. Por cuanto, si el proceso de logística inversa es inconveniente o demasiado complicado, alrededor del 85% de los compradores electrónicos dicen que buscarán cambiar de minorista. Por otro lado, alrededor del 95% dice que haría compras repetidas con frecuencia si el minorista tiene procesos de devolución simples.

A pesar de lo anterior, un informe de logística inversa realizado por la empresa *Greve Davis* en 2018, expone que muchos minoristas y fabricantes ignoran la importancia de este tipo de logística. Por lo general, hacen hincapié en la entrega de última milla, la planificación y optimización de rutas y el cumplimiento de pedidos, sin embargo, a pesar de que “el 75% de los minoristas han empezado a identificar

---

<sup>23</sup> RODRIGUEZ, Jean-Paul; SLACK, Brian y COMTOIS, Claude. *The Geography of Transport Systems*. B.15 – Green Logistics. 5 ed. Nueva York: Routledge, 2020. p. 123

<sup>24</sup> *Ibid.*, p. 125

<sup>25</sup> REDBIRD LOGISTICS SERVICES. How does reverse logistics impact supply chain management? [en línea]. Oklahoma: RLS [citado 20 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://redbirdlogisticsservices.com/how-does-reverse-logistics-impact-supply-chain-management/#:~:text=Cost%20Reductions&text=As%20such%2C%20they%20also%20work,value%20through%20repair%20or%20recycling>>

<sup>26</sup> NARASHIMMAN, Lakshmi. *The History, Evolution, and Future of Reverse Logistics*. Mumbai: LOCUS, 2020. p. 3

la logística inversa como una parte crucial de la gestión de la cadena de suministro, solo el 3% la considera un área clave de inversión”<sup>27</sup>.

Lo anterior se presenta debido a que, muchos empresarios hacen todo lo posible para evitar lidiar con las devoluciones porque puede ser desagradable y se considera que no es más que un costo de hacer negocios. Pero, según el Grupo *Aberdeen*, de lo que muchos no se dan cuenta es que “el fabricante promedio gasta del 9% al 15% de los ingresos totales en devoluciones, adicionalmente, éstos a menudo desconocen el impacto que la gestión de devoluciones puede tener en sus clientes, sus recursos o su línea de fondo, pues, las funciones críticas de logística inversa pueden costar a las empresas millones en lucro cesante debido a relaciones dañadas con los clientes y responsabilidades externas que podrían tener un impacto enorme en su negocio”<sup>28</sup>. Mientras que, si se gestiona de forma eficaz, la logística inversa puede “permitir a las organizaciones encontrar beneficios ocultos, mejorar la satisfacción del cliente y minimizar las responsabilidades, según cifras mejorar la logística inversa puede ayudar a una empresa a aumentar los ingresos hasta en un 5% de las ventas totales”<sup>29</sup>.

Finalmente, en la cadena de suministro los diferentes informes concluyen que, los procesos y planes de logística inversa dependen en gran medida de invertir la cadena de suministro para que las empresas puedan identificar y categorizar correctamente los productos devueltos para su disposición, un área que ofrece muchas oportunidades de ingresos adicionales, esto teniendo en cuenta que la logística inversa es mucho más que simplemente contar los artículos defectuosos devueltos por los clientes, y más complejo que el envío de salida en el sentido de que los clientes y/o consumidores inician una devolución, lo que lo convierte en un proceso de envío de entrada que es menos predecible. Concluyen que la ciencia de la logística inversa incluye la administración de la política de devolución, los protocolos de retirada de productos, el procesamiento de reparaciones, el re embalaje de productos, la gestión de piezas, el reciclaje, la gestión de eliminación de productos, la maximización de los valores de liquidación entre otros. Es bastante simple decir que el ciclo debe cerrarse y los productos deben fluir de regreso a la cadena de suministro, ya sea como producto a reparar, como componente de materia prima o como fuente de energía.

Ahora bien, según investigaciones, la forma en que se planifica y gestiona el proceso de logística inversa determina su eficiencia. Por lo cual, los aspectos críticos que contribuyen al desempeño de este proceso son los siguientes:

---

<sup>27</sup> GREVE, Curtis y DAVIS, Jerry. *Recovering Lost Profits by Improving Reverse Logistics*. Wexford, Pensilvania, Greve-Davis Company, 2018. p. 5

<sup>28</sup> ABERDEEN GROUP. *Reverse Logistics: Driving Returns* [en línea]. Bostón: The Company [citado 21 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://aberdeenresearch.wordpress.com/2010/01/13/reverse-logistics-driving-improved-returns-directly-to-the-bottom-line/>>

<sup>29</sup> GREVE y DAVIS, op. cit., p. 8

- ” La existencia de buenos controles de ingreso.
- Estandarización y mapeo de procesos.
- Reducción del tiempo de ciclo.
- Implementación de sistemas de información.
- Planificación de la red logística.
- Desarrollo y mantenimiento de la relación de colaboración entre clientes y proveedores”<sup>30</sup>.

Al respecto, *Martins*<sup>31</sup> afirma que, el buen funcionamiento de la logística inversa depende también de aspectos como la gestión de costos y las estrategias de marketing.

Por otro lado, autores como *Leite* expone que se debe tener como objetivo clasificar los aspectos que intentan estructurar la actividad de logística inversa para que sean aplicables a diferentes sectores empresariales de acuerdo con las principales funciones de la logística las cuales son:

- Transporte: se relaciona con la función logística del transporte y el intento de identificar el flujo logístico inverso de acuerdo con los modos de transporte y los procedimientos de recolección (ruta, frecuencia, prioridades y acondicionamiento de la carga). Se deben conocer sus costos y se debe perseguir su optimización para lograr la eficiencia productiva y la reducción de costos.
- Almacenamiento y Recursos - se asocian principalmente a la función logística de gestión de inventarios, que implica el control sobre la recepción de productos devueltos, consolidación estandarizada, cuantificación y categorización de productos por tipo de producto y disposición a ubicaciones específicas de almacenamiento. Los costos de almacenamiento deben controlarse estrictamente. Los recursos considerados aquí son mano de obra y equipo de manipulación de carga.
- Flujo de información y contratos - estos se relacionan principalmente con la función logística de gestión de la información, la cual considera la necesidad de establecer sistemas de información que estén especialmente dedicados al manejo de productos devueltos, incluyendo la formalización de cómo se generan, restablecen los flujos de retorno controlado.

---

<sup>30</sup> MESSIAS LOPES, Diana Mery; DE ALMEIDA D'AGOSTO, Márcio; FERNANDES FERREIRA, Amanda y MACHADO De OLIVEIRA, Cintia. Improving post-sale reverse logistics in department stores: a Brazilian case study. *En: Journal of Transport Literature*. April, 2014. vol. 8, no. 2, p. 329

<sup>31</sup> MARTINS, V. M. A. Reverse logistics in Brazil: State-of-the-art. M. Sc. Dissertation. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brazil, 2005.

➤ Procedimientos generales - se relacionan con las funciones logísticas de información y manejo de inventarios mediante la estandarización y control de cómo los productos devueltos ingresan a la cadena logística inversa.

➤ Revalorización: se relaciona con el marketing empresarial y se refiere a la revalorización de los productos devueltos en términos financieros y de imagen corporativa. Esta serie de actividades estimula el manejo cuidadoso de los productos devueltos con la disposición definida y controlada por la empresa<sup>32</sup>.

Por otro lado, se encontró que la implementación de la logística inversa a nivel internacional ofrece principalmente, dos oportunidades en sus operaciones, estas son aplicación en las áreas de gestión de devolución de productos y gestión de piezas de servicio. El primero se ocupa de la recepción, procesamiento y disposición de los materiales que regresan del campo o del usuario final, mientras que el segundo se enfoca en tener el inventario correcto en la ubicación adecuada para respaldar las operaciones de reparación del servicio con repuestos.

Según la literatura revisada, la gestión de devolución de productos eficaz ofrece la oportunidad de recuperar valor y reducir costos. Incluso puede agilizar la toma de decisiones de adquisición cuando los materiales devueltos pueden identificarse como materias primas que luego pueden usarse en el flujo de reparaciones. Cuando esto no sea una opción, es posible volver a comercializar las devoluciones de productos. Para una eficiencia óptima, “los materiales devueltos deben clasificarse, inspeccionarse y probarse según las especificaciones del fabricante de inmediato para identificar rápidamente si se puede recuperar el valor y, de ser así, qué solución de recuperación funcionará mejor”<sup>33</sup>. El elemento de recepción del proceso es de particular importancia ya que el material que regresa del campo llega en condiciones desconocidas; la identificación y clasificación adecuadas aseguran un proceso de logística inversa más exitoso.

En cuanto a la gestión de piezas de servicio, según la literatura, un programa eficiente tratará el inventario de piezas de servicio como un costo variable que se puede administrar, mitigar y reducir con el tiempo. La clave es encontrar el equilibrio entre pedir muy pocas piezas de repuesto para satisfacer los requisitos del cliente y tener un inventario antiguo de componentes innecesarios que ocupan un espacio valioso en el almacén, esto teniendo en cuenta que “mediante el uso de métodos como la planificación ajustada, la optimización del inventario y las asociaciones de inventario administradas por el proveedor, una buena estrategia de logística inversa

---

<sup>32</sup> LEITE, P. R. Reverse Logistics: a new area in corporate logistics. En: Tecnológica Magazine. september, 2002. vol 7, no. 78, p. 104.

<sup>33</sup> HELJULA, Mike. Reverse logistics impact the supply chain, says Arrow 2012 [en línea]. London: Electronics Weekly [citado 20 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.electronicsworld.com/news/business/distribution/reverse-logistics-impact-the-supply-chain-says-arrow-2012-04/>>



puede optimizar esta compensación y garantizar que las piezas correctas estén en el lugar correcto en el momento adecuado”<sup>34</sup>.

**2.2.2 Aplicaciones de la logística inversa en Colombia.** A nivel nacional, la logística inversa, se ha centrado igualmente en las cadenas de suministro, convirtiéndose en un nuevo paradigma para incluir la sostenibilidad, de manera tal que las empresas conjunto con los procesos comerciales a través y dentro de ellos ahora buscan lograr objetivos sociales, ambientales y económicos compartidos por las empresas y toda la cadena de suministro, para asegurar que las prácticas logísticas actuales sean sostenibles a largo plazo, por lo tanto, “el concepto de logística inversa pasa a formar parte de la gestión de la cadena de suministro permitiendo la gestión eficiente y eficaz del reciclaje y reutilización de productos”<sup>35</sup>.

Así mismo, según investigaciones, el concepto de logística inversa en Colombia se ha centrado según entrevistas realizadas a empresarios de la ciudad de Medellín a “todas aquellas actividades de la logística de materiales que inician desde el consumidor hacia el productor”; “recolección de los residuos sólidos ósea todo lo que se genera en el proceso” o “gestionar el retorno de los productos al final de la cadena de abastecimiento de manera eficiente al menor costo posible”, es decir lo que todo lo relacionado con el método post-despacho y/o manejo que se da a los materiales y residuos sólidos de determinado producto en una operación inversa desde el cliente de regreso al productor”<sup>36</sup>.

Observándose entonces el poco conocimiento que tienen los empresarios sobre la logística inversa y las oportunidades que ésta brinda en el desarrollo de sus negocios, que se dirigen a llevar a cabo proceso de producción más limpia y sostenible, es decir a través de la cual, las empresas puedan generar ingresos adicionales o reducir costos gracias a la gestión eficiente de la logística inversa en la cual no solo se haga disposición de residuos, sino que además se pueda, generar un “retorno para la reutilización de envases, empaques, embalajes, y unidades de manejo; reutilización de materiales o reacondicionamiento de producto rechazado”<sup>37</sup>, lo que sin duda puede según la Revista de Logística catalogarse como un objetivo estratégico económico, pues agrega valor y diferenciación a las empresas haciéndolas más competitivas y responsables socialmente en cuanto al ámbito ambiental, además de “gestionar de forma eficiente los productos

---

<sup>34</sup> HELJULA, Mike. Reverse logistics impact the supply chain, says Arrow 2012 [en línea]. London: Electronics Weekly [citado 20 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.electronicweek.com/news/business/distribution/reverse-logistics-impact-the-supply-chain-says-arrow-2012-04/>>

<sup>35</sup> PIRACHICÁN MAYORGA, Carolina; MONTOYA TORRES, Jairo R.; JARRÍN, Jairo y HALABI ECHEVERRY, Ana Ximena. Modelling reverse logistics practices: a case study of recycled tyres in Colombia. *En: Latin American J. Management for Sustainable Development*. January , 2014. vol. 1, no. 1, p. 60

<sup>36</sup> GÓMEZ RAMÍREZ, Isabel Cristina; DÍAZ HERRERA, Eliana y GIRALDO SÁNCHEZ, Vanessa. Situación actual de la logística inversa desde la mirada de gerentes logísticos en sectores industriales de Medellín [en línea]. Medellín: Institución Universitaria Esumer [citado 30 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <http://repositorio.esumer.edu.co/bitstream/esumer/1958/1/LOGISTICA%20INVERSA%20%282%29.pdf>>

<sup>37</sup> MIHI RAMÍREZ, Antonio. Nuevos beneficios de la logística inversa para empresas europeas y colombianas. *En: Univ. Empresa*. Junio, 2007. vol. 6, no. 12, p. 48

introducidos en la cadena, con el fin de recuperar el máximo de su valor y contribución”<sup>38</sup>.

Por otro lado, y en lo referente a otras prácticas de logística inversa la investigación realizada por estudiantes de la Universidad Sergio Arboleda en 2015, demostró que en Colombia la logística inversa representa para las empresas, según su caso de estudio, de servicios de telecomunicaciones, un costo y no una actividad auto sostenible; por lo cual, las empresas del sector no hacen parte de iniciativas eco sostenibles si éstas no representan un lucro económico, es decir, los empresarios restan importancia a la reducción del impacto ambiental y prefieren centrarse en el foco financiero. En este sentido, el manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y electrónicos RAEE, es “el mayor acercamiento a las actividades de logística inversa, no porque los empresarios sean realmente conscientes del impacto ambiental que se genera, sino porque es una actividad establecida legalmente en Colombia y por tanto es de “obligatorio cumplimiento y es por esto que invierten pocos recursos en la divulgación de las campañas de recolección, sólo porque esto no es el objetivo del negocio”<sup>39</sup>.

Por otro lado, la investigación realizada en la Universidad del Rosario en 2016, encontró que una de las industrias en las que se ha visto adelantos en cuanto a la aplicación de logística inversa es la de telefonía móvil, sin embargo, se ha demostrado que los esfuerzos que se han adelantado para recuperar y dar una disposición ambiental a estos equipos no han dado los resultados esperados, “logrando aplicar procesos de logística inversa únicamente a cerca del 10% del total de celulares en desuso, lo que provoca que el 90% restante termine su ciclo de vida siendo almacenado indefinidamente por los usuarios o arrojados junto con los demás desechos ordinarios generados en los hogares, impidiendo que se haga una disposición correcta, terminando en rellenos sanitarios y generando focos de infección”<sup>40</sup>. Así mismo, que, los usuarios estarían dispuestos a apoyar procesos de logística inversa siempre y cuando hubiese una compensación por la entrega de los celulares en desuso, ya sea mediante un pago por el equipo o descuentos para la compra de un nuevo terminal.

Ahora bien, otro aspecto en el que se está trabajando en la logística inversa en Colombia es en el desarrollo de proyectos relacionados con la reutilización de llantas recuperadas en todo el país. Estos proyectos también incluyen la

---

<sup>38</sup> BALLI MORALES, Basilio. La logística inversa o reversa. En: Revista de Logística. Octubre, 2015. no. 18. p. 32

<sup>39</sup> DUARTE RAMÍREZ, Jhon Jairo; GÓMEZ RUBIANO, Diego Fernando y RAMOS DE LOS RIOS, Jully Andrea. Importancia de la logística inversa en las empresas de telecomunicaciones en Colombia. Bogotá: Universidad Sergio Arboleda. Escuela de Postgrados. Modalidad trabajo de Especialización en Gerencia Logística, 2015. p. 39

<sup>40</sup> RUIZ ZAMBRANO, Juan Camilo. Logística inversa en la cadena de suministros de teléfonos celulares inteligentes (smartphones) ¿una alternativa viable económicamente en el mercado colombiano?. Bogotá: Universidad del Rosario. Facultad de Administración De Negocios Internacionales. Modalidad trabajo de grado, 2016. p. 96

caracterización de las actividades de reciclaje de neumáticos y el análisis del rol de cada actor en la cadena de suministro y uso actual de los residuos recuperados, y cómo las experiencias de otros países podrían adaptarse al caso colombiano.

Según cifras del sector industrial, se venden en promedio unos cuatro millones de neumáticos al año y aproximadamente el 22% de los neumáticos son producidos en Colombia por empresas multinacionales, (alrededor del 60% del mercado), mientras que la mayor parte del resto se importa de China, Japón y Taiwán. La oferta total se completa finalmente con las importaciones de EE.UU., Brasil, Francia y Alemania.

La parte del mercado que más está demandando corresponde a vehículos y furgonetas con más de 2,5 millones de unidades, seguida de camiones con un millón de unidades. La producción restante se dedica a maquinaria pesada (por ejemplo, tractores). Por otro lado, según cifras verídicas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010), el 24% de las ventas anuales totales de llantas corresponde a llantas para el sector transporte (buses y microbuses), mientras que el resto El 76% corresponde a llantas para autos, taxis y camionetas. Si se considera una duración promedio de 18 meses por cada llanta, la cantidad total de llantas recicladas se puede estimar en 54 toneladas por año, en promedio. Por lo tanto, existe un alto potencial para que este sector industrial genere y proporcione materia prima para otras cadenas de suministro<sup>41</sup>.

En la práctica actual, los neumáticos usados se almacenan informalmente en depósitos clandestinos, techos en casas privadas y áreas públicas (por ejemplo, lagos, ríos, calles, parques) con consecuencias e impactos muy graves en el medio ambiente y la salud pública. Unos pocos sectores industriales explotan neumáticos usados como combustible para este proceso productivo (por ejemplo, fábricas de cemento y ladrillos), pero aun así se hace sin ningún control y por lo tanto genera emisiones tóxicas y pequeñas partículas que nuevamente tienen graves impactos en el medio ambiente y en la salud pública.

En este sentido, se considera que el responsable del uso de los neumáticos después del final de su ciclo de vida son fabricantes / importadores de neumáticos y ensambladores / importadores de vehículos. El sistema de recogida debe permitir a los consumidores devolver los neumáticos en puntos de recogida accesibles sin ningún coste.

### **2.3 ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS DE GESTIÓN DE ELEMENTOS RAEE**

La disposición y reutilización de elementos RAEE, cada vez ha tomado mayor relevancia en el desarrollo ambiental empresarial, dado que el mercado de equipos eléctricos y electrónicos está experimentando un crecimiento exponencial debido a la popularidad de productos como teléfonos móviles y televisores de pantalla plana, así como a la industrialización de las economías emergentes, y que como efecto

---

<sup>41</sup> PIRACHICÁN MAYORGA; MONTOYA TORRES; JARRÍN y HALABI ECHEVERRY, op. Cit., p. 63

que “los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) sean el flujo de residuos de más rápido crecimiento en muchos países del mundo, llegando a una producción de a alrededor de 500 millones de desechos al año y de los cuales solo el 20% es manejado de manera correcta”, cifras que han llevado a que se generen iniciativas que contrarresten los efectos negativos al medio ambiente de este tipo de dispositivos RAEE, dado la necesidad de aplicar tratamientos adecuados al terminar la vida útil, que “puedan recuperar el valor de un producto al final de ésta y reducir su desperdicio y contaminación, por cuanto el objetivo general de las prácticas de recuperación es prevenir la contaminación del medio ambiente y prolongar la vida útil del producto, ya sea recuperando el valor del material (reciclaje) o recuperando el valor del componente (reparación, reutilización o reacondicionamiento)”<sup>42</sup>.

Algunos datos a tener en cuenta en cuanto a RAEE son que algunas de las tendencias para el manejo de RAEE en la esfera de la tecnología se han orientado hacia “el tratamiento de cadmio peligroso procedente principalmente de baterías (63%); el desmontaje de baterías (57%), la recuperación de metales de tierras raras (38%), cintas transportadoras para las operaciones logísticas y de separación de desechos electrónicos (37%), recuperación de plata (25%), recuperación de platino (24%) y recuperación de oro (15%)”<sup>43</sup>; adicionalmente, se evidencia que algunas de las economías desarrolladas han especializado en actividades como el reciclado de plásticos, productos finales como fuente de desechos y extracción de tierras raras, mientras que las economías emergencias se han especializado en extracción de metales no férreos, tratamiento adicional, como fundición o pulverización, componentes específicos como fuente de desechos, tratamiento de materiales peligrosos y técnicas de separación.

**2.3.1 Gestión de elementos RAEE a nivel regional (continentes).** Por otro lado, antes de relacionar algunas experiencias sobre manejo y uso de RAEE a nivel internacional, para tenerlas en cuenta como base a tener en cuenta para aplicarlas en Colombia; a continuación, se presenta un recuento de la situación a nivel regional de los residuos electrónicos y tendencias, tomando como referencia el Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2020 (véase el Cuadro 2).

---

<sup>42</sup> KITSARA, Irene. Los desechos electrónicos y la innovación: aprovechar su valor oculto. En: Revista de la OMPI. Junio, 2014. no. 3, p. 2

<sup>43</sup> Ibid., p. 3

Cuadro 2. Situación a nivel regional de los residuos electrónicos y tendencias

ASPECTO	AFRICA	AMERICAS	ASIA	EUROPA	OCEANIA
Residuos generados	2,9 Megatoneladas (2,5 kg per cápita)	13,1 Megatoneladas (13,3 kg per cápita)	24,9 Megatoneladas (5,6 kg per cápita)	12 Megatoneladas (16,2 kg per cápita)	0,7 Megatoneladas (16,1 kg per cápita)
Residuos recogidos y reciclados adecuadamente	0,03 Megatoneladas - 0,9%	1,2 Megatoneladas - 9,4%	2,9 Megatoneladas - 11,7%	5,1 Megatoneladas - 42,5%	0,06 Megatoneladas - 8,8%
Valor de materias primas en residuos electrónicos	3.200 millones USD	14.200 mil millones USD	26.400 millones USD	12.900 mil millones USD	700 millones USD
Legislación	En 13 países de 49 tienen legislaciones para el reciclaje y manejo de RAEE	En 10 países de 34 tienen legislaciones para el reciclaje y manejo de RAEE	En 17 países de 46 tienen legislaciones para el reciclaje y manejo de RAEE	En 37 países de 39 tienen legislaciones para el reciclaje y manejo de RAEE	En 1 país de 12 tiene legislaciones para el reciclaje y manejo de RAEE
Sistema de Gestión de RAEE	Dominada por recolectores y recicladores informales  No existen sistemas organizados de recogida  No hay disposiciones de licencia para la clasificación y desmantelamiento de residuos electrónicos  Poca sensibilización a empresas y personas	Estados Unidos adopta medidas generales para gestionar RAEE. Utiliza recicladores de certificados  América Latina existen empresas autorizadas y recicladores informales. Falta reconocimiento e integración del sector. Falta conocimientos técnicos	Son bastante diversos, abarcan desde sistemas muy avanzados, hasta actividades informales que coexisten con el avanzado sistema de reciclaje  Sistema de recogida principalmente informal  Escasa conciencia de los consumidores	Recogida formal y especializada  Se exportan residuos para su reutilización, al eliminar los residuos electrónicos junto con los demás residuos y al reciclar residuos electrónicos junto con la chatarra, de forma no conforme con la legislación vigente  Alta concienciación Ambiental empresarial	En algunos países no existe un sistema formalizado general para la gestión de los residuos electrónicos, en otros se implementan planes de gestión  Campaña con un programa de sensibilización comunitaria
Control gubernamental	Mínimo e ineficiente	En Estado Unidos es Permanente  En América Latina es intermitente (faltan regulaciones)	En Asia Central y occidental es Escaso, falta normas para la recogida En Asia oriental es estricto	Estricto y regulado	Se exige a los sectores de la televisión y los equipos informáticos que financien la recogida y el reciclaje

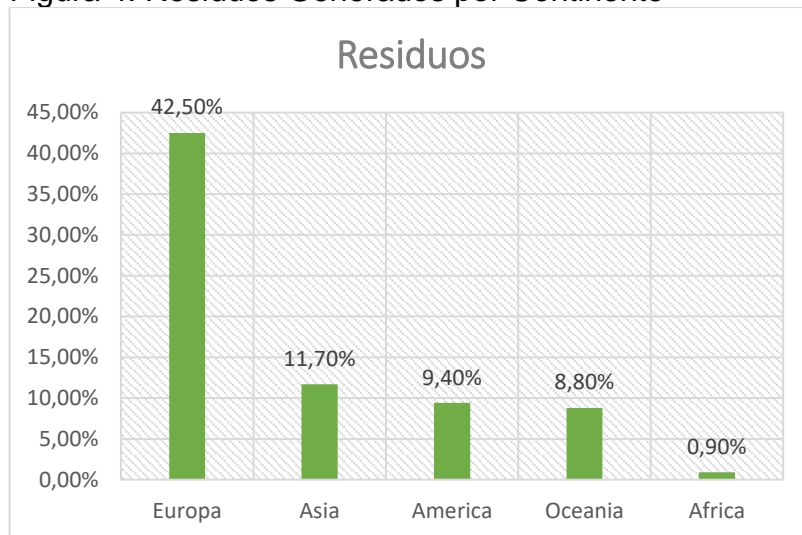
Cuadro 2. (Continuación)

ASPECTO	AFRICA	AMERICAS	ASIA	EUROPA	OCEANIA
Instalaciones de reciclaje	Inadecuadas (patios, casas)	Estados Unidos cuenta con instalaciones de Reciclaje certificadas  América Latina parcialmente adecuada (almacenamiento en sótanos)	En algunos países falta de una infraestructura adecuada de recogida y logística y su Capacidad insuficiente  En otros países como China y Japón cuenta con instalaciones amplias y adecuadas	Existe una infraestructura muy Bien desarrollada y respetuosa con las normas, aunque hay zonas en las que un no se han implementado sistemas formales de recogida	Parcialmente adecuado
Manipulación de residuos	Inadecuada (quema al aire libre, eliminación manual para reventa, desecho en vertederos)	En Estados Unidos se manipulan los RAEE según orientación normativa. En América Latina se aplican programas de eficiencia energética y en el desarrollo de una infraestructura local para la manipulación y el tratamiento adecuados	El Sector formal del reciclaje de residuos electrónicos tiene una alta calidad y capacidad de tratamiento, tiene infraestructura de procesamiento desarrollada  En Asia Central la manipulación es inadecuada terminan en vertederos y basureros ilegales	Adecuada, tienen empresas especializadas en la Restauración para prolongar la vida útil de los equipos  El mayor flujo de residuos electrónicos no conformes con la legislación vigente se trata junto con la chatarra metálica sin los pasos de descontaminación adecuados.	Pocos residuos son reciclados y tratados adecuadamente  Las tecnologías de gestión de residuos son inadecuadas

Fuente. FORTI, Vanessa; PETER BALDÉ, Cornelis; KUEHR, Ruediger y BEL, Garam. Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2020. Rotterdam: Universidad de las Naciones Unidas (UNU), 2020. p.70-81

Como se puede observar en el Cuadro 2 a nivel regional durante el año 2019 se destacaron los siguientes datos (véase la Figura 4)

Figura 4. Residuos Generados por Continente



Fuente. Los Autores

El mayor productor en volúmenes de residuos en megatoneladas estuvo en Asia – alrededor de 24,9 Mt–, seguido de Américas (13,1 Mt) y Europa (12 Mt), mientras que en Oceanía y África se generaron respectivamente 2,9 Mt y 0,7 Mt. Así mismo en 2019, 9,3 Megatoneladas de residuos-e quedaron oficialmente documentados como recogidos y reciclados de manera adecuada, lo que equivale al 17,4% de los residuos-e generados, observándose como las actividades de reciclaje no siguen el ritmo de crecimiento mundial de los residuos-e. Se destaca que Europa es el continente con la tasa más elevada de recogida y reciclaje (42,5%), seguida en la clasificación por Asia (11,7%), las Américas (9,4%), Oceanía (8,8%) y, en último lugar, África (0,9%)<sup>44</sup>.

En cuanto a la gestión de RAEE se tiene que, “en países desarrollados, existen infraestructuras dedicadas a reciclar los residuos de manera adecuada y suficiente, por el contrario, los países menos desarrollados no cuentan con ese tipo de infraestructuras para la gestión y manejo de residuos-e de manera plena y continuada, algunos inclusive, ni siquiera cuentan con ese tipo de infraestructuras. Por consiguiente, la gestión de los residuos-e queda principalmente en manos del sector informal”<sup>45</sup>. En este caso, los residuos-e suelen tratarse en condiciones inferiores, algunas de las prácticas adecuadas se observan principalmente en Estados Unidos y Europa en donde por ejemplo se reutilizan los RAEE como materia prima secundaria o para equipos de segunda mano, en algunos países se

<sup>44</sup> FORTI, Vanessa; PETER BALDÉ, Cornelis; KUEHR, Ruediger y BEL, Garam. Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2020. Rotterdam: Universidad de las Naciones Unidas (UNU), 2020. p. 14

<sup>45</sup> *Ibid.*, p.15

general exportaciones de los mismos es decir se establece un sistema e economía circular que genera ganancias.

**2.3.2 Experiencias de gestión de elementos RAEE en países.** A continuación, se relacionan una serie de experiencias de algunos países respecto a la disposición y reutilización de elementos RAEE

**2.3.2.1 Gestión de residuos RAEE en Reino Unido.** En el Reino Unido gracias a la implementación de la Directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, en uso y manejo de RAEE se ha centrado en el reciclaje y tratamientos para los desechos antes que en la prevención a través de la reutilización de los mismos. En este país se ha “establecido una jerarquía de residuos la cual tiene como primer principio el de reducir, es decir, tomando diversas formas para reducir la cantidad de residuos generados o para reducir la adición de sustancias tóxicas y nocivas mediante un diseño ecológico. Sin embargo, también abarca el comportamiento del consumidor, con prácticas para evitar el desperdicio, como la reutilización de artículos, reparar artículos rotos y resistir compras”<sup>46</sup>.

En cuanto al reciclaje es el método estándar para procesar productos de desechos electrónicos por ser una solución de bajo costo que permite el cumplimiento de las regulaciones ambientales y no está exento de críticas. “Las tecnologías que se utilizan principalmente son la trituración destructiva que recupera un número limitado de metales (acero y aluminio) y plásticos a una fracción de su valor potencial”<sup>47</sup>

Por otro lado, se tiene la reutilización que ofrece beneficios significativos en cuanto a impactos ambientales de los RAEE mediante la extensión de la vida útil de los productos, lo que ralentiza el crecimiento de los desechos electrónicos. Sin embargo, aunque existen mercados de segunda mano para muchos tipos de AEE, la reutilización no forma una parte importante del marco legislativo, además de existir barreras especialmente de reticencia por parte del consumidor a comprar artículos de segunda mano que son principalmente remanufacturados y reacondicionados.

**2.3.2.2 Gestión de residuos RAEE en Argentina.** Según información recopilada, en las provincias argentinas se tienen establecidos recuperadores urbanos asociados a cooperativas contratadas por el gobierno para recolectar adecuadamente los residuos, es decir, prestando el servicio de recogida en residencias y de la recolección de residuos presentes en contenedores y puntos verdes, para luego clasificarlos y acondicionarlos en los centros verdes para su posterior venta, para lo cual se cuenta con alrededor de 60 plantas de clasificación.

---

<sup>46</sup> COLE, Christine; GNANAPRAGASAM, Alex; COOPER, Tim y SINGH, Jagdeep. An assessment of achievements of the WEEE Directive in promoting movement up the waste hierarchy: experiences in the UK. *In: Waste Management*. February 2019. no. 87, p. 420

<sup>47</sup> *Ibid.*, p. 422



Se tiene establecido un registro para la inscripción de datos de los AEE producidos y comercializados, además de la manera como pueden reutilizarse, reciclarse y valorizarse, los residuos recolectados son enviados fuera del territorio y sobre grandes generadores. También incluye el registro de todos aquellos que se identifiquen como “gestor de RAEE”.

Se creó la figura del “gestor refuncionalizador de RAEE”, es decir la persona física o jurídica que de manera exclusiva realiza el desarme, desguace y clasificación de los RAEE en sus componentes, para posteriormente prepararlos para reutilizarlos. Éstas personas se pueden constituir en cooperativas de trabajo, fundaciones, OSC, instituciones educativas e instituciones públicas.

Se estableció el programa “Disposición y Reutilización de Tecnologías en Desuso” (DRTD), funciona dentro de la Dirección de Trabajo Penitenciario del Servicio Penitenciario Bonaerense, donde los reclusos son capacitados durante 3 meses en temas de desarme, armado y reciclado de materiales, para luego recibir los residuos AEE y gestionarlos.

Se hacen donaciones a OSC e instituciones educativas para la recuperación de componentes electrónicos para las prácticas de taller de colegios técnicos.

Se creó el Programa E-Basura se instaló una planta piloto experimental de RAEE, la cual también con un “Laboratorio de Borrado Seguro y Destrucción de Medios de Almacenamiento”<sup>48</sup>.

Así mismo, se ha establecido normativamente que las empresas realicen recuperación de plásticos, metales ferrosos y no ferrosos, cobre y vidrios – destinados al mercado interno–, y circuitos impresos y baterías, que posteriormente son exportados junto con otros componentes recuperados. Finalmente se, crean cooperativas Reciclando Trabajo y Dignidad que gestionan los residuos mostrando productividad equiparable a la de las empresas privadas, esto permite que se establezca un sistema de trabajo formal relacionado con la gestión de RAEE.

**2.3.2.3 Gestión de residuos RAEE en España.** En este país la gestión de residuos RAEE está normalizada legalmente estableciendo un sistema integrado de gestión de características colectivas y un sistema de gestión individual para las empresas que deseen disponer los RAEE propiamente, cada uno de los sistemas debe cumplir una serie de requerimientos. Algunos de los aspectos de gestión de RAEE son:

La recolección domiciliaria de RAEE se lleva a cabo a través de eco parques (zonas situadas cerca a las poblaciones donde se recogen de manera separada los residuos urbanos), y los centros de voluminosos (instalaciones que recogen los residuos urbanos de gran tamaño generados en los hogares), se recogen de acuerdo al tamaño de los estos. Tienen instalaciones de desmonte y descontaminación de

---

<sup>48</sup> MAFFEI, Laura y BURUCUA, Andrea. Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y empleo en la Argentina. Buenos Aires; Oficina de país de la OIT para la Argentina, 2020. p. 29-47

RAEE que funcionan desde el año 2000 y la selección y eliminación de residuos de los frigoríficos con clorofluorocarbonos y los residuos que contienen mercurio.

Por otro lado, hay una planta dedicada al tratamiento de frigoríficos, incluidos los que contienen CFC (RAEE grupo 1, grandes electrodomésticos). En las cuales se inicia el proceso en el momento en que éstos elementos ingresan a la planta, para que de éstos se extraigan aceites presentes en los sistemas de refrigeración, como los clorofluorocarbonados (CFC) para luego ser enviados a gestores autorizados y tratamiento final. Los demás residuos (plásticos, metales, etc.) son triturados y clasificados para su posterior reciclaje.

Así mismo cuentan con plantas de desmontaje y descontaminación de tubos de rayos catódicos, como equipos de sistemas y telecomunicaciones: computadores, escáner, impresoras, televisores o vídeos. En el momento en el que se separan los materiales de RAEE, éstos se clasifican y se destinan a gestores autorizados para su posterior revalorización o reciclaje.

Se establece la obligación de promover la prevención en la generación de los RAEE por parte de los mismos fabricantes de AEE e implementar la gestión adecuada a través de distintivos que indican la recogida separada de este tipo de aparatos<sup>49</sup>.

Finalmente, el gobierno desarrolla una serie de medidas de prevención como campañas de información y sensibilización ciudadanas y realización de un primer estudio de costes de las recogidas y transporte de RAEE desde los eco parques y demás puntos de entrega.

**2.3.2.4 Gestión de RAEE de Europa y Estados Unidos.** La gestión de RAEE tanto en la Unión Europea como en Estados Unidos se basa en estándares establecidos, cuyos enfoques muestran grandes diferencias, por ejemplo, el estándar europeo da más importancia a la valorización y recuperación de materiales y al cumplimiento de tasas de reciclaje. Al mismo tiempo, el reúso de aparatos tiene más importancia en los estándares estadounidenses que en los de Europa.

A continuación, se muestran las características principales del estándar europeo y estadounidense para la gestión de elementos RAEE (véase el Cuadro 3).

---

<sup>49</sup> GENERALITAT VALENCIANA. Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos [en línea]. Valencia: Consejería de infraestructura, territorio y medio ambiente [citado 4 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <http://agroambient.gva.es/documents/20549779/161513659/10.+Residuos+de+aparatos+el%C3%A9ctricos+y+electr%C3%B3nicos+%28RAEE%29/6675a7ab-88f3-4f1a-be51-2c9147f40a78>>

Cuadro 3. Comparativo Estándar Europeo y de Estados Unidos para la Gestión de elementos RAEE

<b>Aspecto de Gestión</b>	<b>Estándar Europeo</b>	<b>Estándar de Estados Unidos</b>
<b>Operadores</b>	Deben estar certificados no se permiten intermediarios	Deben estar certificados y cumplir normatividad
<b>Formación del personal</b>	Tienen requisitos	No contiene directivas en este punto
<b>Recogida y transporte</b>	Contiene más detalles a través de documentos específicos para la recogida y para el transporte (logística).	No tiene incluye especificaciones manera completa;
<b>Almacenamiento y manipulación</b>	<p>Establecen una cantidad máxima de almacenamiento con una duración máxima de 12 meses para residuos peligrosos</p> <p>contienen bastantes detalles con respecto a la estructura de las instalaciones y la protección contra las condiciones climáticas</p> <p>Contienen directivas sobre la manipulación (debido cuidado, prohibición de la manipulación que dificulte o impida el posterior tratamiento).</p>	<p>Solamente dan requisitos generales/vagos de estructura de las instalaciones y la protección contra las condiciones climáticas</p> <p>No contienen directivas sobre manipulación adecuada</p>
<b>Principios generales del tratamiento</b>	<p>Les da mayor importancia a los flujos de materiales: requieren que los materiales extraídos estén separados, exigen tasas de reciclaje y prohíben la dilución de materiales con el fin de bajar la concentración de contaminantes.</p> <p>Requieren la destrucción de datos</p>	<p>Enfatizan en el cumplimiento de la jerarquía del tratamiento de residuos y que se desarrolle una política para la gestión de RAEE</p> <p>Requieren la destrucción de datos, salvo previa autorización del cliente a no hacerlo</p>
<b>Preparación para la reutilización</b>	<p>Contiene unos requisitos generales como obtener permisos y documentación</p> <p>Operador solamente puede vender o donar aparatos para el reuso cuando sean completamente aptos para funcionar</p>	<p>Tienen requisitos más detallados sobre permisos y documentación.</p> <p>Los operadores pueden vender aparatos con funcionalidad clave (las funcionalidades que son suficientes para servir a los propósitos del equipo), e incluso aparatos sin funcionalidad (para la reparación). Además, el operador no necesita cumplir con los requisitos de descontaminación y los requisitos sobre exportaciones para equipos con funcionalidad clave o entera</p>

Cuadro 3. (Continuación)

Aspecto de Gestión	Estándar Europeo	Estándar de Estados Unidos
<b>Principios generales de la descontaminación</b>	Refiere al listado de los componentes o tipos de materiales que deben removerse	Describe los componentes o tipos de materiales que deben removerse
<b>Valorización y reciclaje</b>	Fijan tasas de reciclaje Contienen directivas detalladas sobre el cumplimiento de tasas y la supervisión de ese cumplimiento mediante herramientas como balance de materia, tanto general como por lotes. Además, hay directivas sobre la ejecución de estas herramientas y la documentación	No fijan tasas de reciclaje
<b>Disposición final</b>	Prohíben la incineración y el enterramiento de residuos peligrosos	Prohíben la incineración y el enterramiento de residuos peligrosos, aunque lo permite en algunos casos (deben argumentarse circunstancias extremas y raras).
<b>Documentación</b>	Tiene directivas detalladas con respecto a la documentación. Dan un tiempo específico durante el cual se debe guardar la documentación  Requiere la documentación de los flujos de materiales  Tienen directivas adicionales para el aseguramiento de la calidad de la descontaminación.	Tiene directivas detalladas con respecto a la documentación. Dan un tiempo específico durante el cual se debe guardar la documentación  Requiere la documentación de los flujos de materiales  No se tienen tasas de reciclaje, tampoco tienen obligaciones específicas con respecto al aseguramiento y documentación de la calidad de la descontaminación.

Fuente. MIOTTI, Marco; Böni, Heinz; HERNÁNDEZ, Carlos A. y SCHLUEP, Mathias. Estándares técnicos y ambientales para el tratamiento de RAEE Comparación de estándares RAEE de Suiza, Europa y Estados Unidos. Suiza: SRI - Sustainable Recycling Industry, 2015. p. 11-14

### 3. APLICACIÓN DE LOGÍSTICA INVERSA DE RAE EN EL ÁMBITO EMPRESARIAL COLOMBIANO

#### 3.1 ANÁLISIS DE EXPERIENCIAS DE IMPLEMENTACIÓN EXITOSA DE LOGÍSTICA INVERSA DE RAE EN EMPRESAS COLOMBIANAS

**3.1.1 Gerdau Diaco.** Es una siderúrgica multinacional que está ubicada en Colombia y cuenta con 3 sedes principales en el país, Tocancipá, Sibaté y la más importante Tuta Boyacá, es el mayor reciclador de chatarra en el país cuenta con plantas de producción de aceros largos y centros de acopio e industrialización de chatarra, “con las 36.000 toneladas de chatarra que compran producen entre 30.000 y 33.000 toneladas de acero mensualmente. Es la primera recicladora de chatarra de Latinoamérica pertenece a la multinacional Gerdau que tiene presencia en 11 países en Latinoamérica”<sup>50</sup>.

En Colombia emplea a 1300 trabajadores y se caracteriza por producir acero con sentido social y ambiental desarrolla un compromiso sostenible y responsabilidad social empresarial sobresale por su innovación y práctica de desarrollos sustentables.

Desarrolla proyectos que benefician al medio ambiente y a las comunidades la inversión y educación de materia ambiental, entre sus iniciativas están programas de Educación para concientizar a cerca del cuidado de la naturaleza la minimización del consumo energético, la recuperación hídrica, la arborización con especies nativas.

Adicional a esto la industria metalúrgica produce enormes cantidades de desechos sólidos conocidos con el nombre de escoria, este es un material fundido que se origina durante el refinado del metal, la necesidad de eliminar este residuo genera grandes costos debido a el espacio que ocupa, el transporte, la transformación, el almacenaje y la disposición y no haciendo a un lado el perjuicio natural que genera a largo plazo por lanzarlo en lugares alejados para el deterioro ambiental. Entre la búsqueda alternativas para la eliminación de este residuo Se creó la posibilidad de utilizar esta escoria con materiales de construcción para la fabricación de adoquines. Se considera que la escoria por su alto nivel de material de hierro genera una gran resistencia a la compresión con el concreto generando excelentes materiales de construcción para la fabricación de vías de acceso<sup>51</sup>.

---

<sup>50</sup> DIARIO BOYACÁ SIETE DÍAS. Gerdau DIACO, una empresa generadora de empleo y solidez económica en Boyacá [en línea]. Tunja: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://boyaca7dias.com.co/2020/03/05/gerdau-diaco-una-empresa-generadora-de-empleo-y-solidez-economica-en-boyaca/>>

<sup>51</sup> GERDAU DIACO. Somos una compañía socialmente responsable con el entorno con que interactuamos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.gerdaudiaco.com/responsabilidad-social/>>

**3.1.2 Lityo S.A.S.** Tiene presencia en las principales ciudades del país, la compañía nace por la necesidad de ofrecer un tratamiento adecuado para los residuos industriales sólidos y materiales peligrosos y a su vez la contribución sostenible y la protección del medio ambiente. Para responder de manera acertada a dichas necesidades es necesario la investigación de procesos, aprovechamiento, almacenamiento, transformación y manejo final de residuos industriales, el desperdicio se convierte en una nueva fuente de recursos, ahorro energético, oportunidades laborales y beneficios ambientales.

Especialmente en el sector eléctrico, electrónico y telecomunicaciones “producen una cantidad razonable de desperdicios entre ellos algunos altamente contaminantes que mal manejados pueden poner en peligro la salud humana y medio ambiente”<sup>52</sup>. Esta empresa ofrece servicio de desmonte de equipos en desuso aprovechamiento de equipos eléctricos en aceite, recuperación de metales estratégicos, tratamiento y procesamiento de todo tipo de cable recuperación de excedentes que una vez extraídos pueden ser reutilizados como materia prima.

Cuenta con una planta de gran capacidad y personal capacitado equipos y tecnología de punta que producen alta eficiencia en los procesos, generan estudios ambientales y de contaminación, realizan investigación y limpieza de suelos contaminados y gestionan el destino final de los componentes.

Alguno de los componentes peligrosos que deben ser almacenados con seguridad son eléctricos contaminados, residuos mercuriales, tubos fluorescentes, bombillería y aparatos de mercurio, pilas alcalinas, pilas de teléfono y celdas fotoeléctricas.

Colombia no cuenta con la tecnología y los espacios adecuados para el almacenamiento de estos elementos por eso es necesario exportarlos a Europa allí se encargan de su aprovechamiento o eliminación total, esta compañía cuenta con alianzas estratégicas directamente en el manejo de productos peligrosos.

Como todas las organizaciones esta compañía trabaja para alcanzar los objetivos incluyendo personas con movilidad restringida, madres cabeza de hogar y beneficia fundaciones de niños de escasos recursos y personas vulnerables.

**3.1.3 Gaia Vitare.** Empresa fundada por ingenieros ambientales, su nombre significa tierra viva en latín y está ubicada en Fontibón Bogotá. El proyecto pionero dentro de la compañía ha sido el manejo de aparatos eléctricos y electrónicos desde 1999, se recolecta cualquier aparato que funcione con corriente eléctrica RAEE, desde el generador de residuos que pueden ser personas naturales, entidades gubernamentales y empresas privadas para acceder a este servicio los residuos se deben separar del reciclaje convencional, la empresa se encarga de hacer la

---

<sup>52</sup> LITO. Sobre la empresa [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://litolda.com/>>

recolección dependiendo del volumen, para iniciar su proceso cómo es la separación y clasificación dependiendo de los componentes.

Cuenta con alianzas estratégicas con algunos productores de tecnología para “diseñar planes pos consumo y trabajan bajo el decreto 1609 con una flota de vehículos de transporte de residuos, cuentan con personal capacitado para la manipulación de residuos, del generador son llevados a la planta donde se despieza se selección y se retiran los componentes que pueden ser reutilizados, uno de los objetivos de la compañía es maximizar la vida útil de esos componentes para minimizar el impacto ambiental”<sup>53</sup>, trabaja para ser una compañía integral en el residuo y el compromiso con el medio ambiente generando procesos innovadores de mejora continua para maximizar el crecimiento sostenible.

**3.1.4 Belmont Trading.** Sede principal está en Colombia ubicándose en Bogotá, es reconocida por ser el primer gestor ambiental en Ecuador, Perú, Chile y Venezuela en campañas de recolección de móviles. Los fabricantes se han preocupado bastante por el funcionamiento de los equipos, pero cuando ya no se utilizan, no se almacenan en condiciones ideales y contaminan el medio ambiente, porque contienen sustancias agotadoras de la capa de ozono, agua y suelo.

Se han creado programas de recuperación como el que adoptaron el gobierno y los proveedores de teléfonos celulares financiados en centenares de lugares a lo largo del país de recolección de equipos en desuso, equipos obsoletos, baterías, etc. los aparatos son recogidos por esta firma privada y se transportan vía marítima hacia México y Estados Unidos para su aprovechamiento y destino final.

Algunos de los servicios que presta esta compañía son:

- “Servicios de Testeo y auditoria de telefonía móvil.
- Compra de excesos de inventario.
- Extensión del ciclo de vida de partes y componentes, así como de materias primas a través de actividades de reciclaje y refinería de metales, para equipos de telecomunicación y electrónico, en exceso de inventario, obsoletos, o al final de su vida útil”<sup>54</sup>.

**3.1.5 Ecocómputo.** Colectivo empresarial que recibe desechos tecnológicos para brindar disposición vida útil y disposición final, recibe componentes empresariales y personales maneja los residuos de forma segura con licencia ambiental y certificación de disposición final. “Las empresas que lo conforman cumplen con la Resolución 1512 de 2010, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo

---

<sup>53</sup> GAIAVITARE. Manejo integral de residuos electrónicos y eléctricos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.gaiavitare.com/site/>>

<sup>54</sup> BELMONT-TRADING. Acerca de Belmont [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.belmont-trading.com/colombia/es/about-us/>>

Sostenible que vigila la recolección selectiva y gestión ambiental de computadores y residuos periféricos, actualmente cuenta con un cubrimiento en las ciudades de Barranquilla, Bogotá, Cali y Medellín en Bogotá cuenta con 70 puntos de recolección de computadores, tiene función en Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla”<sup>55</sup>.

**3.1.6 C.I. Recyclables S.A.S.** Gestión de Excedentes Industriales, Residuos Aprovechables, Peligrosos y Aparatos Eléctricos y Electrónicos - RAEE. “Es una empresa dedicada a la gestión integral de excedentes industriales, residuos aprovechables, RAEE, cumple con la normativa y el personal capacitado para la manipulación de dichos elementos, utilizamos procesos de última tecnología asegurando la plena satisfacción a nuestros proveedores y clientes, contribuyendo a la preservación del ambiente”<sup>56</sup>.

**3.1.7 RAEE Colombia SAS.** Ubicada en cota Cundinamarca y su segunda sede en barranquilla. “Realiza una adecuada disposición de residuos electrónicos ayudando a las organizaciones a cumplir con las obligaciones ambientales de acuerdo con la ley 1252 de 2008, así mismo mitigando los posibles impactos negativos sobre el medio ambiente”<sup>57</sup>.

**3.1.8 Social RAEE.** Certifica y gestiona los residuos electrónicos y trabaja en los procesos de reforestación para contribuir con la reducción del carbono.

**3.1.9 WEEE Global.** Es una compañía con 9 años de experiencia en el sector de recolección de residuos industriales aprovechables y peligrosos, cuenta con consultoría ambiental y manejo de disposición final de los RAEE en Colombia ofreciendo procesos 100% certificables.

Aunque trabaja más en el sector Industrial también trabaja en el sector doméstico, cuentan con puntos de recolección denominados colecta, normalmente ubicados en las grandes superficies y centros comerciales, adicional a esto, cuenta con empresas que tiene por clientes que desean desechar sus equipos de cómputo, pantallas, teléfonos máquinas y demás, por obsolescencia planificada, vida útil de los componentes y o actualización tecnológica.

Según un estudio de la universidad de las Naciones Unidas en el 2018, “un colombiano promedio genera 5.1 kg de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al año”<sup>58</sup>. Los equipos obsoletos que ya no se utilizan tanto en la

---

<sup>55</sup> ECOCOMPUTO. ¿Cómo lo hacemos? [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.ecocomputo.com/como-lo-hacemos>>

<sup>56</sup> C.I. RECYCLABLES S.A.S. Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos – RAEE [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://recyclables.co/services/aparatos-electricos-y-electronicos/>>

<sup>57</sup> SOCIAL RAEE. Gestión RAEE [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://socialraee.com.co/raee/>>

<sup>58</sup> WEEE GLOBAL. Sobre nosotros [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://weee.global/sobre-nosotros/>>



industria como en los hogares son importantes fuentes de materias primas secundaria, normalmente son depositados en la basura sin ser aprovechados por el contrario se sumará la contaminación ambiental al desprender toxinas al suelo, aire y agua. Por cada aparato electrónico que es adquirido actualmente queda uno en desuso al instante y este pasa hacer parte del relleno sanitario, se considera que no llegamos a reciclar ni siquiera el 5% de los elementos que han sido reemplazados.

Esta empresa se encarga de recoger, seleccionar, desensamblar los materiales reutilizables para ser de nuevo enviados al mercado ya sea como partes o como material de fundición.

Los elementos que llegan a las bodegas de la empresa empiezan un proceso, el material eléctrico y electrónico es seleccionado, etiquetado y pesado y es pagado al cliente dependiendo de los componentes que contienen esas tarjetas, algunos de ellos estaño, silicio, hierro, aluminio algo de oro y una variedad de plásticos, por otro lado, algunos contiene grandes bancos de condensadores, rectificadores, bobinas, gotas de mercurio altamente tóxicos todos ellos presentes en gran cantidad en las computadoras y microcontroladores, estos son enviados a empresas ensambladoras y son reutilizados para minimizar los costos de producción.

El primer paso dentro de la empresa es la recepción del material eléctrico se clasifica y se pesa, el segundo paso es desmantelarlo, retirar sus componentes, el tercer paso es la limpieza de las piezas y por último se almacena según la clasificación final y es exportado para que otras compañías inicien el proceso de fundición e iniciar la recuperación de los metales y plásticos.

Las tarjetas plásticas son trituradas y enviados a empresas que producen bolas de PET para elaborar casi cualquier elemento base de plástico de alto rendimiento, por otro lado, algunos componentes o microcontroladores contienen oro obviamente en cantidades mínimas pues se sabe que éste es uno de los elementos con mayor conductividad, y existen procesos para extraer este mineral precioso que van más allá de baños de ácido nítrico y agua para recuperar el oro.

Algunos de los servicios que esta compañía ofrece son gestión integral de residuos aprovechables, gestión de los residuos peligrosos, servicios integrales, administración de centros de acopio, asesoría e implementación de programas de pos consumo.

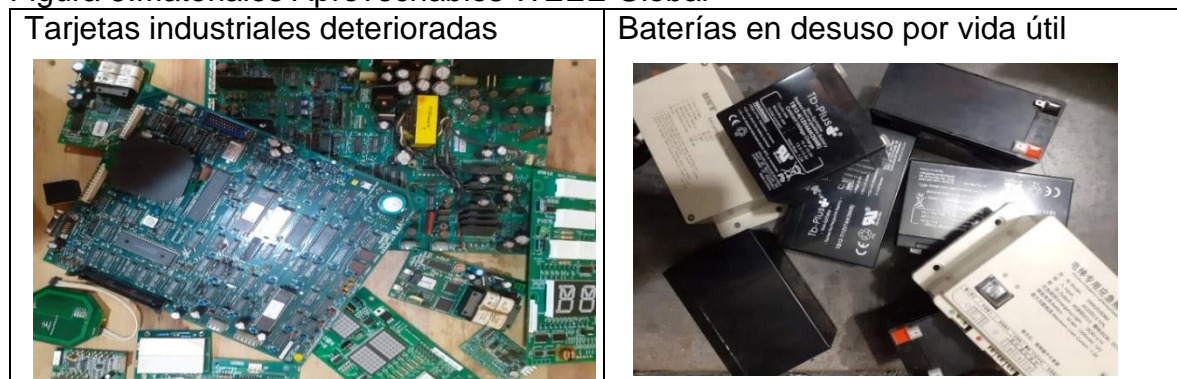
Dentro de la implementación de programas de pos consumo ofrece asesorías para certificables y eficientes ante las autoridades ambientales, campañas educativas con la intención de optimizar la gestión integral de residuos y generar economía circular, recolección de residuos desde el generador hasta un distribuidor final, con personal calificado<sup>59</sup>.

---

<sup>59</sup> WEEE GLOBAL. Sobre nosotros [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://weee.global/sobre-nosotros/>>

Con respecto la gestión integral de residuos aprovechables ofrece la compra y la venta de excedentes industriales de materiales aprovechables con impacto social con precios competitivos en el mercado (véase la Figura 5)

Figura 5. Materiales Aprovechables WEEE Global



Fuente. Los Autores. Carol Ramírez, Johnattan González.

### 3.2 SUSTANCIAS PELIGROSAS DE LOS RAEE Y ALTERNATIVAS DE SEPARACION PARA LAS TARJETAS

A continuación, se presentan las sustancias peligrosas presentes en los equipos RAEE (véase el Cuadro 4) y las alternativas de separación de tarjetas presentes en los equipos RAEE y que pueden ser aprovechables (véase el Cuadro 4).

Cuadro 4. Tarjetas Presentes en los Equipos RAEE

Sustancia	Presencia en RAEE
Compuestos Halogenados	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Condensadores, transformadores (Componentes termoplásticos, cables, tarjetas madre, circuitos, revestimientos, plásticos, etc.)</li> <li>➤ Unidades de refrigeración, espumas aislantes.</li> </ul>
Metales Pesados Y Otros Metales	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Arsénico (Procesadoras de pantallas de cristal líquido LCD)</li> <li>➤ Bario (Cámaras de ventilación de pantallas TRC y lámparas fluorescentes.)</li> <li>➤ Berilio (Cajas de suministro eléctrico.)</li> <li>➤ Cadmio (Baterías recargables, fotocopiadoras, interruptores.)</li> <li>➤ Cromo VI (Discos duros y almacenamientos de datos.)</li> <li>➤ Plomo (Tarjetas de circuitos, cableado y soldaduras.)</li> <li>➤ Mercurio (Sistemas de iluminación de pantallas planas, cafeteras eléctricas o despertadores con desconexión automáticas.)</li> <li>➤ Níquel (Baterías recargables.)</li> <li>➤ Selenio (Fotocopiadoras antiguas.)</li> <li>➤ Sulfuro de Zinc (Interior de Monitores TRC.)</li> </ul>
Otros	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Equipos médicos y detectores de fuego, detectores de humo, etc.</li> </ul>

Fuente. RESIDUOS ELECTRÓNICOS. Guía RAEE MADS 2011 [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 30 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia\\_RAEE\\_MADS\\_2011-reducida](http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia_RAEE_MADS_2011-reducida)>

Cuadro 5. Alternativas de tratamiento para las Tarjetas de circuito impreso TCI

ALTERNATIVA	DESCRIPCIÓN	OBERVACIONES
Separación mecánica	Proceso mecánico que se pulveriza los tableros y fracciones de material que se separan por los varios métodos de procesos sea: magnética, corriente, etc.) Los retardantes en la materia prima generalmente no es posible quitar o sustituir algunos de esos contaminantes de los circuitos de las tarjetas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No generan escapes de gases contaminantes.</li> <li>• No es posible remover todos los contaminantes.</li> </ul>
Proceso de fundición	El proceso de fundición tiene una ventaja es que maximizan las producciones del metal, después de ser pulverizadas las tarjetas, se calienta a un 1250°C, esto ayuda a incinerar el plástico y una parte de los agentes contaminantes. Los metales se funden y se puede recuperar por separado el refinamiento del metal, este proceso debe ser cumplido de acuerdo a la legislación vigente en materia de emisiones atmosféricas.	<p>Se aprovecha el proceso térmico de los plásticos, ya que es una solución ideal, ya que en el reciclaje es difícil debido a la presencia de retardantes.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se lleva una buena recuperación del metal.</li> <li>➤ El metal sin plástico se puede transferir a plantas de fundición de cobre para recuperar los metales preciosos.</li> <li>➤ El proceso genera emisiones atmosféricas.</li> <li>➤ Alto consumo de energía.</li> </ul>
Pirólisis	El proceso de la Pirólisis es destruir la tarjeta para tener acceso a los metales para derretirse.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Se produce un aprovechamiento térmico de los plásticos que un reciclaje es imposible de a la presencia de posibles retardantes de llama.</li> <li>➤ Se lleva a cabo una buena recuperación de metales.</li> <li>➤ El proceso genera emisiones atmosféricas.</li> <li>➤ Alto consumo de energía.</li> </ul>
Recuperación con proceso químicos.	Los procesos de hidrometalurgia apuntan a separar fracciones del metal por medio de varios solventes o corrosivos subsecuentes a la pulverización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Manera rápida y fácil de recuperar valor de las tarjetas.</li> <li>➤ El retorno económico es directo.</li> <li>➤ Eficiencia baja.</li> <li>➤ Los residuos tienen una disposición final adecuada de los ácidos.</li> <li>➤ Se logra la recuperación de pocos metales.</li> <li>➤ La parte plástica de la tarjeta sigue en disposición.</li> </ul>
Recuperación en paneles de circuitos impresos.	El acero se rompe cuando se enfría a -70°C o menos, mientras que el cobre y el aluminio incrementa su dureza. Por ende, los paneles de circuitos impresos, cortados en piezas de 20 x 20 mm., se enfrían con nitrógeno líquido y se muelen en porciones aún más pequeñas con un molino de martillo, separándose los polímeros de las piezas metálicas. Además de enfriar, el nitrógeno impide que los polímeros se oxiden. La separación de las diferentes fracciones de recursos se efectúa por métodos convencionales, como imanes o separadores de corriente de Foucault, etc. El metal secundario se presenta de tal modo, que se puede separar relativamente fácil, y entonces se recicla.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Separación relativamente fácil del metal secundario.</li> <li>➤ Es necesario disponer los plásticos.</li> </ul>
Exportación	En países de Europea y Norteamérica, existen fundiciones especializadas para extraer el oro, el iridio y demás metales preciosos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Probablemente se realiza una recuperación más eficiente de recursos.</li> </ul>

Fuente. RESIDUOS ELECTRÓNICOS. Guía RAEE MADS 2011 [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 30 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia\\_RAEE\\_MADS\\_2011-reducida](http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia_RAEE_MADS_2011-reducida)>

## 4. ANÁLISIS DE PROCESOS PARA EL MANEJO Y DE DISPOSICIÓN DE RAEE

### 4.1 PROCESOS DE SELECCIÓN Y SEPARACIÓN DE COMPONENTES DE LOS EQUIPOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Los desechos electrónicos de los equipos eléctricos y electrónicos que están desactualizados, dañados o que funcionan mal, se ha convertido en el flujo de residuos de más rápido crecimiento debido al avance tecnológico, el estilo de la moda, la expansión del mercado, el fin de la vida útil del producto y el mal uso o la falta de mantenimiento de este tipo de los equipos, convirtiéndose en una de las principales fuentes de problemas ambientales, esto debido a la presencia de sustancias tóxicas en sus componente, razón por la cual una gestión inadecuada puede contribuir a la contaminación ambiental y provocar efectos adversos en la salud humana, el medio ambiente y los sistemas ecológicos. Así los aparatos RAEE tienen presencia de materiales valiosos que deben considerarse como fuentes de generación de ingresos pues:

Los materiales de un computador de escritorio son plásticos (10%) y acero de baja aleación (65%). Los metales preciosos como Ag (170ppm), Au (27ppm), y Pd (12ppm) se encuentran solamente en concentraciones bajas. Analizando la importancia económica, los metales preciosos hacen la mayor contribución al total de ingresos (31% Au y Pd 7%). Además, en particular el cobre (12%) y los diversos plásticos (15%) muestran un porcentaje relativamente alto. Por otra parte, hay una fuerte disminución de la importancia de los materiales ferrosos (15%) en comparación con el material que representan. Por otro lado elementos potencialmente peligrosos como el plomo, el selenio y el arsénico, entre otros, también tienen un valor económico que no puede ser despreciado<sup>60</sup>.

En este sentido, en la última década se han venido desarrollando una serie de técnicas orientadas a la selección y separación de metales pesados en los equipos eléctricos y electrónicos, a continuación, se relacionan algunos de los procesos implementados.

**4.1.1 Reciclaje físico.** La primera etapa de este proceso de manejo de residuos RAEE, es la relacionada con el reciclaje físico de los equipos, la cual se basa en la clasificación que se ha dado para este tipo de equipos por entes internacionales y nacionales, como la Directiva europea que clasifica los RAEE en cuatro categorías:

- La categoría 1 comprende los grandes electrodomésticos (frigoríficos, lavadoras, acondicionadores de aire, etc.);
- La categoría 2 comprende los pequeños electrodomésticos (aspiradoras, tostadoras, freidoras, etc.);

---

<sup>60</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Bogotá: Centro Nacional de Producción más Limpia 2009. p. 12

➤La categoría 3 cubre los equipos de telecomunicaciones y TI (ITTE) (PC, tabletas, portátiles, teléfonos inteligentes, etc.);

➤La categoría 4 cubre equipos de consumo (por ejemplo, televisores, sistemas estéreo, cámaras digitales, etc.)<sup>61</sup>.

Teniendo en cuenta estas categorías, se puede hacer una clasificación de productos más completa, basada en un enfoque alternativo que se apoya en el concepto de familia de productos. “Una familia de productos se conforma por productos que comparten algunos puntos en común que son importantes para su gestión al final de su vida útil”<sup>62</sup> (véase el Cuadro 6).

Cuadro 6. Categorización de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) en la UE según la Directiva RAEE de 2002

Categorías	AEE considerados en la categoría	Equivalencia con la Directiva 2002
1. Aparatos de intercambio de temperatura	Neveras, congeladores, aparatos que suministran automáticamente productos fríos, aparatos de aire acondicionado, equipos de deshumidificación, bombas de calor, radiadores de aceite y otros aparatos de intercambio de temperatura que utilicen fluidos diferentes al agua.	Grandes electrodomésticos únicamente de refrigeración y calefacción).
2. Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm <sup>2</sup>	Pantallas, televisores, marcos digitales para fotos con tecnología LCD, monitores, computadores portátiles, incluidos los de tipo notebook y tabletas.	Equipos de informática y telecomunicaciones (únicamente equipos de informática con pantallas de tamaño superior a 100 cm <sup>2</sup> ).
3. Lámparas	Lámparas fluorescentes rectas, fluorescentes compactas y fluorescentes; lámparas de descarga de alta intensidad,	incluidas las de sodio de presión y las de haluros metálicos; lámparas de sodio de baja presión y lámparas LED. Aparatos de alumbrado excepto las luminarias.
4. Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm)	Lavadoras, secadoras, lavavajillas, cocinas, cocinas y hornos eléctricos, hornillos eléctricos, placas de calor eléctricas, luminarias; aparatos de reproducción de sonido o imagen, equipos de música (excepto los órganos de tubo instalados en iglesias), máquinas de hacer punto y tejer, grandes ordenadores, grandes impresoras, copiadoras, grandes máquinas tragamonedas, productos sanitarios de grandes dimensiones, grandes instrumentos de vigilancia y control, grandes aparatos que suministran productos y dinero automáticamente, paneles fotovoltaicos.	Grandes equipos (con una dimensión exterior superior a 50 cm) de todas las categorías excepto los equipos de refrigeración y calefacción y las lámparas.

<sup>61</sup> VERMEŞAN, H.; TIUC, A-E y PURCAR, M. Advanced Recovery Techniques for Waste Materials from IT and Telecommunication Equipment Printed Circuit Boards. *En: Sustainability*. January, 2020. vol.12, no. 74, p. 2.

<sup>62</sup> *Ibid.*, p. 3

Cuadro 6. (Continuación)

Categorías	AEE considerados en la categoría	Equivalencia con la Directiva 2002
5. Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm)	Aspiradoras, máquinas de coser, luminarias, hornos microondas, aparatos de ventilación, planchas, tostadoras, cuchillos eléctricos, hervidores eléctricos, relojes, maquinillas de afeitarse eléctricas, básculas, aparatos para el cuidado del pelo y el cuerpo, calculadoras, aparatos de radio, videocámaras, aparatos de grabación de vídeo, cadenas de alta fidelidad, instrumentos musicales, aparatos de reproducción de sonido o imagen, juguetes eléctricos y electrónicos, artículos deportivos, ordenadores para practicar ciclismo, submarinismo, carreras, remo, etc., detectores de humo, reguladores de calefacción, termostatos, pequeñas herramientas eléctricas y electrónicas, pequeños productos sanitarios, pequeños instrumentos de vigilancia y control, pequeños aparatos que suministran productos automáticamente, pequeños aparatos con paneles fotovoltaicos integrados.	Pequeños equipos (sin una dimensión exterior superior a 50 cm) de todas las categorías excepto las lámparas.
6. Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)	Teléfonos móviles, GPS, calculadoras de bolsillo, encaminadores, ordenadores personales, impresoras, teléfonos.	Equipos de informática y telecomunicaciones (con pantalla menor a 100 cm <sup>2</sup> o dimensión exterior menor a 50 cm)

Fuente. COLOMBA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Categorización de los aparatos eléctricos y electrónicos y los RAEE [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 20 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book\\_rae\\_/contenido\\_2\\_1\\_2.html](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_1_2.html)>

Desde la perspectiva de la gestión y el manejo de los respectivos residuos, su clasificación se da de la siguiente manera (véase el Cuadro 7).

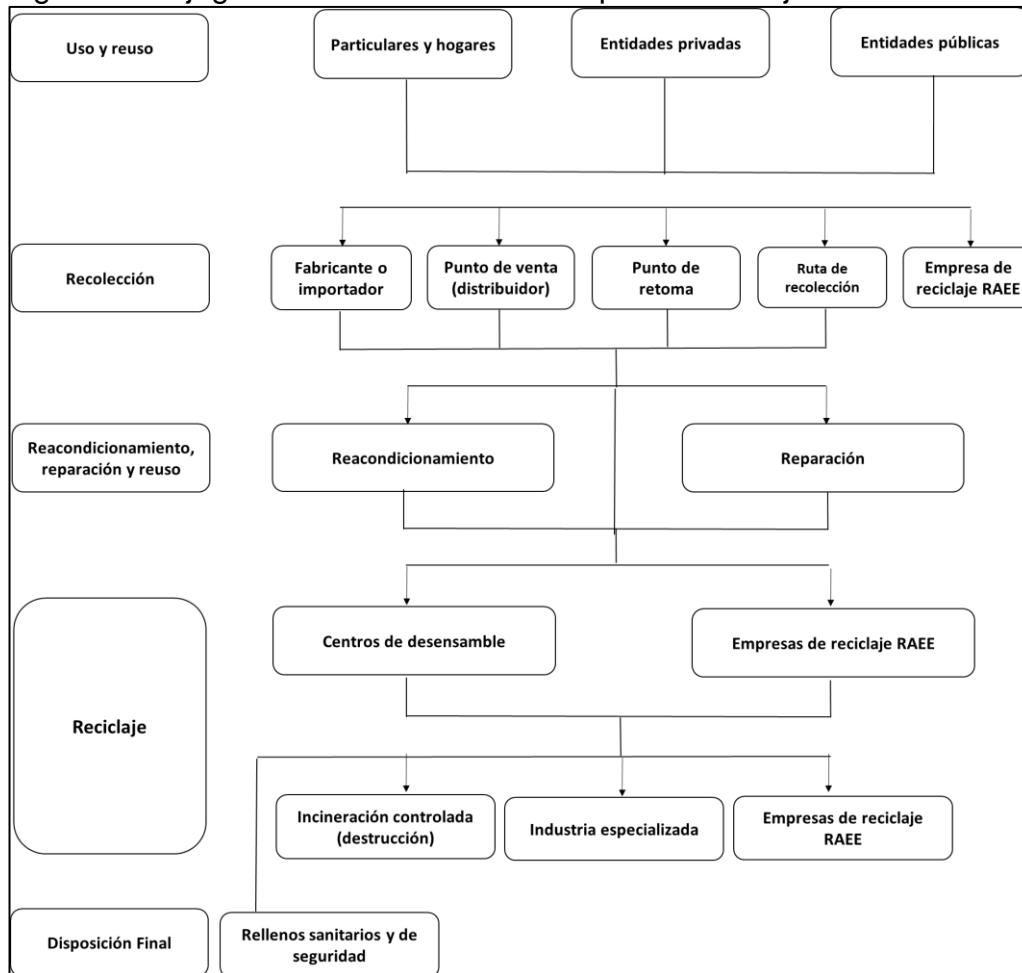
Cuadro 7. Clasificación de RAEE desde una Perspectiva de su Gestión y Manejo

No.	Categorías	Ejemplos	Justificación
1	Aparatos destinados.	Neveras, congeladores, otros refrigerantes.	Requieren un transporte seguro (sin roturas) y el consecuente tratamiento individual.
2	Electrodomésticos grandes y medianos (menos equipos de la categoría 1).	Todos los demás electrodomésticos grandes y medianos.	Contienen en gran parte diferentes metales y plásticos que puede ser manejados según los estándares actuales.
3	Aparatos de iluminación.	Tubos fluorescentes, bombillos.	Requieren procesos especiales de reciclaje, valorización o disposición final.
4	Aparatos con monitores y pantallas.	Televisores, monitores TRC, monitores LCD.	Los tubos de rayos catódicos requieren un transporte seguro (sin roturas) y el consecuente tratamiento individual.
5	Otros aparatos eléctricos y electrónicos.	Equipos de informática, oficina, electrónicos de consumo, electrodomésticos de la línea marrón (excepto los mencionados en categorías anteriores)	Están compuestos en principio de los mismos materiales y componentes y por consiguiente requieren un tratamiento de reciclaje o valorización muy semejante.

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Bogotá: Centro Nacional de Producción más Limpia 2009. p. 10

De acuerdo con esas clasificaciones se procede a el trámite de los RAEE según las fases de manejo explicadas. Transporte, recolección, reciclaje, almacenamiento, reusó y disposición final (véase la Figura 6).

Figura 6. Flujograma de las diferentes etapas de manejo de los RAEE



Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Bogotá: Centro Nacional de Producción más Limpia 2009. p. 18

**4.1.1.1 Proceso de desmontaje.** Luego de realizar la recogida y separación de los equipos eléctricos y electrónicos se realiza el desmantelamiento o desmontaje selectivo, en el cual la mejor técnica es el manual, después del desoldado y la liberación metal-no metal con trituración en dos pasos logrando con esto la reducción de tamaño de los equipos. En este aspecto los productos peligrosos (Radiadores de Al, condensadores, baterías, etc.), productos valiosos (Microprocesadores y memorias) y accesorios metálicos y plásticos se eliminan por completo para evitar mayor contaminación durante los procesos de reciclaje.

La eliminación de componentes peligrosos y la recuperación de materiales reciclables requiere una variedad de herramientas. El desmontaje es un enfoque sistemático que permite separar componentes de un producto (desmontaje parcial) o la separación de un producto en todas sus partes (desmontaje completo) para un propósito específico. El desmontaje es un paso esencial para un proceso de reciclaje de RAEE eficiente.

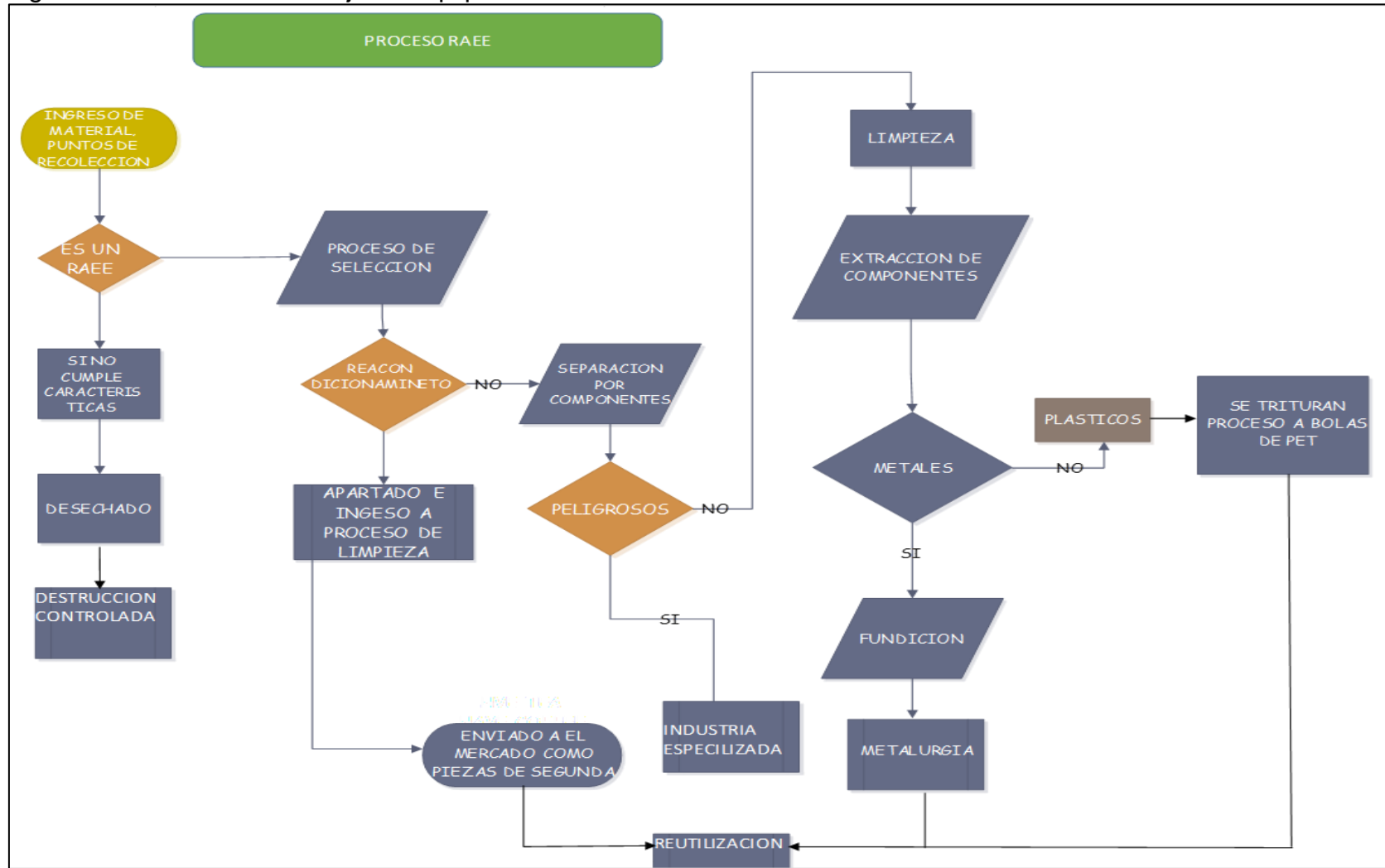
El objetivo de la planificación del proceso de desmontaje es desarrollar procedimientos y herramientas de software para estrategias de desmontaje y configuraciones de sistemas de desmontaje. Los siguientes pasos han sido sugeridos por diferentes investigaciones, para el diseño de un plan de sistema de desmontaje de RAEE

- Análisis de productos de entrada y salida. Durante la primera fase, se especifican los componentes y materiales reutilizables, importantes y peligrosos. El desmontaje óptimo se define después de un análisis de costes preliminar.
- Análisis de montaje. Los componentes adjuntos, la jerarquía de piezas y las secuencias de ensamblaje anteriores se analizan durante la segunda fase.
- Análisis de problemas de incertidumbre. Las piezas o juntas defectuosas en el material entrante o la mejora / degradación del producto durante el uso pueden causar inestabilidad en el desmontaje y daños en el desmontaje.
- Determinación de la estrategia de desmantelamiento. La fase final determina si se utilizará un desmontaje destructivo o no destructivo.
- La implementación del desmontaje requiere herramientas altamente eficientes y versátiles. Algunos métodos de desmontaje patentados, empleaba robots. A pesar del potencial para el desmontaje automatizado sofisticado de equipos electrónicos, solo hay unos pocos proyectos piloto relacionados con teclados, monitores y PCB, y las máquinas en sí mismas no tienen una solución automática.

El desmontaje selectivo (desmantelamiento) es un mecanismo importante en la práctica del reciclaje de RAEE ya que: La reutilización de componentes es una prioridad; el desmontaje de componentes peligrosos es esencial; Los productos valiosos y los materiales de alta calidad, como los componentes electrónicos, los cables y la ingeniería de plásticos, se desmantelan aún más para simplificar la posterior recuperación de materiales (véase las Figuras 7 y 8).



Figura 7. Proceso de Reciclaje de Equipos RAEE



Fuente. Los Autores. Carol Ramírez, Johnattan González

Figura 8. Desmontaje Manual de Equipos Electrónicos



Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Bogotá: Centro Nacional de Producción más Limpia 2009. p. 18

**4.1.2 Reciclaje mecánico.** Aunque todas las tecnologías de reciclado tienen desventajas de costo, rendimiento y peligros ambientales, el reciclado mecánico se utiliza de manera rentable para obtener productos de alta calidad, reemplazando polímeros vírgenes y reduciendo así los impactos ambientales y previniendo el agotamiento de recursos. En general, se considera la mejor opción de gestión de residuos. No obstante, este proceso puede resultar complicado, debido a la composición heterogénea de los residuos. Por ejemplo, los bioplásticos, que sustituyen a los plásticos tradicionales, pueden mezclarse erróneamente con residuos plásticos en lugar de residuos húmedos, "contaminando" el flujo de residuos plásticos. Algunos autores consideran que el reciclaje mecánico suele requerir cuatro pasos de tratamiento:

- Corte / triturado, para reducir el tamaño de las partículas y obtener una forma adecuada para su posterior procesamiento.
- Separación en condiciones secas, para eliminar impurezas como papel, polvo y otros materiales no plásticos.
- Clasificación de polímeros, para separar polímeros por tipo
- Extrusión, para homogeneizar el tamaño de partícula de plásticos de un solo polímero.

Actualmente, las técnicas utilizadas en las plantas de recuperación de polímeros se basan más comúnmente en procesos de flotación, diferencias de densidad, fuerzas electrostáticas y propiedades ópticas.

Otros autores clasifican los procesos de reciclaje mecánico en lavado, secado y triturado. Los materiales desmontados se lavan para eliminar las impurezas adheridas y se secan. A continuación, los polímeros se muelen en un molino de

cuchillas. Estas actividades dan como resultado aguas residuales (del proceso de lavado) y polvo, ruido y vibraciones (del proceso de molienda). Por lo tanto, se requieren más medidas para reducir el impacto ambiental.

➤ Tamizado. El tamaño de partícula afecta directamente a la separación triboelectrostática. Así, se realiza una separación granulométrica, utilizando tamices acoplados a un agitador vibratorio.

➤ Lavado y secado secundario. Las partículas desmontadas pueden adquirir cargas superficiales durante los procesos de trituración y tamizado. Esto afecta a la eficiencia de carga, así como a la calidad y cantidad de productos resultantes del proceso global. Una forma de neutralizar esta carga parásita es aplicar un lavado y secado posteriores, con el fin de neutralizar las partículas desmontadas.

**4.1.3 Métodos de separación electromecánica.** La separación mecánica y la separación por conductividad eléctrica (o resistividad) (como la separación por corrientes parásitas), la separación electrostática, la separación electrostática en corona y la separación triboeléctrica se han desarrollado como técnicas efectivas para aislar otros componentes (metales no ferrosos y plásticos) de los RAEE (véase el Cuadro 8).

Cuadro 8. Procesos de Separación Electromecánica

Procesos	Criterios de separación	Principios de separación	Tarea de clasificación	Rango de tamaño de partícula viable
Triturar, lavar, tamizar	Trituración: Fuerzas mecánicas. Tamizado: Vibratorio.	Lavado: Para eliminar las impurezas adheridas. Tamizado: Mediante tamices acoplados a un agitador vibratorio.	Trituración: Trituración y trituración. Lavado: Separación de las impurezas del material útil. Tamizado: separación por tamaño de partículas.	3-5 mm
Separación magnética	Campo magnético.	El uso de imanes para separar materiales magnéticos de mezclas.	Separación de metales ferromagnéticos de metales no ferrosos y otros desechos no magnéticos.	3-5 mm
Separación por corrientes de Foucault	Densidad y conductividad eléctrica.	El uso de un potente campo magnético para separar metales no ferrosos.	Separación de metales no ferrosos / no metales.	> 5 mm
Separación electrostática corona	Conductividad eléctrica.	Diferentes cargas de partículas que resultan en diferentes fuerzas entre partículas.	Separación metal / no metal.	0,1-5 mm (10 mm para partículas laminares)
Separación triboelectrostática	Constante dieléctrica.	Tribo-carga con diferentes cargas (+ o -) de las direcciones de fuerza de los componentes.	Separación de plásticos (no conductores).	<5 (10) mm

Fuente. VERMEŞAN, H.; TIUC, A-E y PURCAR, M. Advanced Recovery Techniques for Waste Materials from IT and Telecommunication Equipment Printed Circuit Boards. En: Sustainability. January, 2020. vol.12, no. 74, p. 6.

**4.1.3.1 Trituración, lavado y tamizado.** La trituración implica “la disminución del tamaño de partícula (3-5 mm) del material para su posterior procesamiento. Actualmente, se utilizan diferentes máquinas, trituradoras de metales, martillos y

molinos de cuchillas para triturar los equipos RAEE<sup>63</sup>. Según Namias<sup>64</sup>, los beneficios incluyen sistemas automatizados más rápidos, menores riesgos de seguridad y salud pública, mayor rendimiento y menor volumen de transporte. Los problemas incluyen la pérdida de producto (hasta un 40%) como polvo, una mayor inversión en activos y un nivel reducido para operaciones posteriores. El lavado elimina los materiales tóxicos para mejorar la eficiencia de la extracción de metales (véase la Figura 9).

Figura 9. Trituración de RAEE



Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Bogotá: Centro Nacional de Producción más Limpia 2009. p. 32

Se pueden aislar diferentes tipos de materiales de los RAEE después de la trituración mediante varios métodos como separación de densidad y flotación para separar metales y plásticos en la mezcla.

Los residuos RAEE de alta calidad, es decir, tarjetas PCI, placas base, PCB de disco

<sup>63</sup> KUMAR, A.; HOLUSZKO, M. y ESPINOSA, D.C.R. E-Waste: An Overview on Generation, Collection, Legislation and Recycling Practices. *En: Resour. Conserv Recycl.* January, 2017. no. 122, p. 35.

<sup>64</sup> NAMIAS, J. The Future of Electronic Waste Recycling in the United States: Obstacles and Domestic Solutions [en línea]. New York: Columbia University [citado 25 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Namias\\_Thesis\\_07-08-13.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Namias_Thesis_07-08-13.pdf)>

duro, módulos de memoria, CPU de cerámica, etc. también se pueden triturar a granel para separar los metales ferrosos de la chatarra de tamaño reducido. No obstante, “debido a los diferentes tipos de productos de componentes electrónicos, como metales, plásticos y resinas, pueden mezclarse durante las etapas de preprocesamiento (trituración, pulverización), lo que ocasiona cierta dilución del proceso de reciclado o restricciones técnicas”<sup>65</sup>.

Según investigaciones, la trituración fina no selectiva puede resultar en la pérdida de compuestos valiosos, incluidos múltiples metales preciosos y raros que se pueden encontrar en componentes electrónicos (en particular, PCB). “Estas pérdidas ocurren durante la trituración como resultado de la dispersión y la contaminación relevante para la masa de metales preciosos con metales básicos, metales ferrosos y plásticos. Los PCB de calidad inferior y las placas de potencia suelen tener un alto contenido de Cu, Al, Fe y acero, pero una proporción muy baja o nula de metales preciosos”<sup>66</sup>. Por lo tanto, se recomiendan procesos de trituración, gravedad, campos magnéticos y / o de separación eléctrica para la separación de metales ferrosos, Cu y Al. Los PCB de calidad inferior y los metales de desecho se procesan a menudo en una planta de recuperación pirometalúrgica para extraer los metales básicos

**4.1.3.2 Separación magnética.** La separación magnética se implementa comúnmente para separar los metales no ferrosos y otros desechos no magnéticos de los metales ferromagnéticos. Durante la última década, “se ha logrado un progreso sustancial en el desarrollo y funcionamiento de separadores de campo magnético de alta intensidad, mediante la introducción de imanes permanentes de aleaciones de tierras raras. La última generación de imanes permanentes puede ofrecer intensidades de campo muy altas”<sup>67</sup>.

El proceso de separación magnética se puede utilizar para separar los materiales de metales ferrosos presentes en la mezcla de la trituradora de RAEE desmontada de los que son menos magnéticos o no. Normalmente, “los separadores electromagnéticos de banda cruzada se emplean para recuperar materiales como acero galvanizado, hierro y acero recubierto de estaño, y materiales magnéticos como transformadores eléctricos y bobinas de chip. Las partículas de acero inoxidable en los restos triturados son poco magnéticas y se pueden clasificar mediante un fuerte campo magnético”<sup>68</sup>. El método de separación magnética tiene un gran inconveniente asociado con la unión de partículas no ferrosas a los materiales ferrosos, lo que disminuye la productividad del proceso (véase la Figura 10).

---

<sup>65</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, op. cit., p. 31

<sup>66</sup> CHANCEREL, P.; MESKERS, C.E.M.; HAGELÜKEN, C. y ROTTER, V.S. Assessment of Precious Metal Flows during Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment. *En: J.Ind.Ecol.* July, 2009. no. 13, p. 797.

<sup>67</sup> VERMEŞAN; TIUC y PURCAR, op. Cit., p. 6

<sup>68</sup> CHANCEREL; MESKERS; HAGELÜKEN y ROTTER, op. cit, p. 799

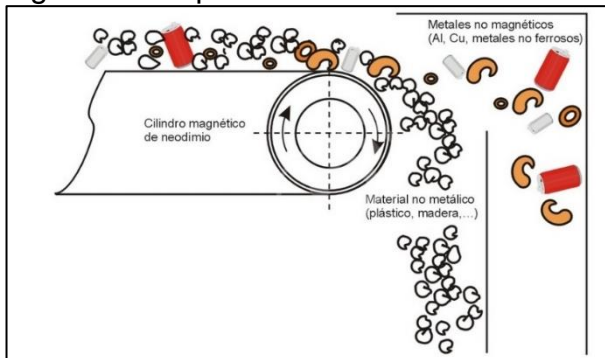
Figura 10. Separación Magnética de Metales de Equipos RAEE



Fuente. STEINERT GLOBAL. Separación magnética [en línea]. Madrid: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://steinertglobal.com/es/separadores-iman-es-sensores/separacion-magnetica/>>

**4.1.3.3 Separadores de corrientes de Foucault.** Los separadores de corrientes de Foucault son ideales para separar grandes cantidades de piezas no ferrosas de RAEE y son especialmente adecuados para manipular elementos de tamaño grueso. La separación por corrientes de Foucault, además de la separación electrostática, “puede ser útil para la concentración de metales no ferrosos como Cu o Al a partir de tamaños de partículas de residuos entre 2 y 50 mm. Como el Al tiene la relación más alta de conductividad eléctrica / valor de densidad ( $13,1 \times 10^3 \text{ m}^2 / \Omega \cdot \text{kg}$ ), con los separadores de corrientes parásitas, se puede separar fácilmente”<sup>69</sup>. Sin embargo, la separación por corrientes parásitas no permite la separación de acero inoxidable, vidrio y plástico contenidos en la mezcla de desechos, ya que estos materiales tienen una relación de conductividad eléctrica / densidad extremadamente baja. Para ello, es imposible aislar metales como Cu y Al de aislamientos plásticos (véase la Figura 11).

Figura 11. Separadores de corrientes de Foucault



Fuente. MAGSY. Estructura del separador de metales no magnéticos [en línea]. Madrid: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.magsy.es/25100-separadores-magneticos-de-los-metales-no-magneticos>>

<sup>69</sup> RUAN, J.; QIAN, Y. y XU, Z. Environment-Friendly Technology for Recovering Nonferrous Metals from e-Waste: Eddy Current Separation. *En: Resour Conserv Recycl.* October, 2014. no. 87, p. 112.

La separación basada en densidad y la separación por corrientes parásitas de metales no ferrosos no se recomiendan para la separación de metales preciosos, ya que se producirán pérdidas importantes. Además, antes de la trituración, los metales de gran tamaño (es decir, disipadores de calor de Cu o Al, películas de hierro o acero) deben eliminarse de los elementos RAEE de calidad superior.

**4.1.3.4 Separador electrostático de corona.** El proceso de separación electrostática de Corona se utiliza para aislar metales (incluidos los metales no ferrosos) de una mezcla heterogénea de plásticos cerrados.

El proceso funciona “sobre la base de las diferencias extremas de densidad y conductividad eléctrica entre materiales metálicos y no metálicos, la separación electrostática en corona se considera un método prometedor para la extracción de metales de residuos pulverizados”<sup>70</sup>. Los metales y los no metales podrían separarse mediante separación de corona electrostática con buen rendimiento en la condición de tamaño de partícula de los RAEE, si están entre 0,6 y 1,2 mm, sin embargo, el efecto Corona puede generar compuestos tóxicos como el óxido de nitrógeno y el ozono. “El éxito del rendimiento de la separación Corona está determinado por muchos factores, tales como el uso de alto voltaje, configuración de electrodos, frecuencia de alimentación, tamaño de los gránulos, velocidad del rodillo y condiciones ambientales”<sup>71</sup>. El separador de rollo se puede aplicar para reciclar metales y plásticos de residuos de PCB, como resultado de las interacciones de estas variables.

**4.1.3.5 Separación triboelectrostática.** El interés en la separación triboelectrostática ha aumentado por ser el primer método seco que no requiere procesos de tratamiento de aguas residuales para separar partículas de densidad y resistividad eléctrica similares. “El principio básico de la separación triboelectrostática es la clasificación selectiva de una especie polarizada o cargada bajo un campo eléctrico en función de sus características de carga superficial. La superficie de los materiales plásticos se carga mediante electrificación por fricción (o tribocarga) frotando materiales poliméricos entre sí”<sup>72</sup>. A través de la tribocarga, los diferentes materiales poliméricos desarrollan polaridades opuestas y se pueden desviar y separar en el campo eléctrico.

Los investigadores han demostrado muchos beneficios claros de la separación electrostática triboeléctrica para el procesamiento de residuos plásticos de RAEE, como la independencia de la forma de las partículas, el bajo consumo de energía y la alta eficiencia. Este método es ideal para partículas finas de 0,1 a 5 mm. Sin embargo, la mayoría de los estudios abordan los plásticos vírgenes de los residuos sólidos urbanos, más que los productos pos consumo.

---

<sup>70</sup> LIU, W.; LIANG, C.; QIN, W.Q. y JIAO, F. A New Technology for Recovery of Metals from Waste Printed Circuit Boards. *En: Appl. Mech. Mater.* October, 2014, no. 675, p. 698.

<sup>71</sup> VERMEŞAN; TIUC y PURCAR, op. Cit., p. 7

<sup>72</sup> *Ibid.*, p. 7

**4.1.4 Separación por gravedad.** Los separadores de densidad, como mesas de aire, ciclones de aire y separadores centrífugos, se utilizan para “extraer metales base de fracciones no metálicas como Cu, Au y Ag. La separación de partículas basada en la densidad, como la separación por hundimiento-flotación, también se utiliza para extraer metales de materiales no metálicos de PCB de desecho. Se utilizan varias técnicas para separar los materiales pesados de los ligeros”<sup>73</sup>. La separación se realiza en función de la diferencia de densidad en las partículas de desecho (véase el Cuadro 9).

Cuadro 9. Procesos de separación por densidad utilizados en la separación de metales no metálicos

Proceso de separación de densidad	Tamaños de piezas trabajables (mm)	Residuos plásticos	Chatarra de aluminio	Desecho de cable	Chatarra electrónica	Chatarra de acero ligero
Separación por fregadero-flotador: líquidos		✓		✓		✓
Separación por fregadero-flotador: separador por gravedad	5-150		✓		✓	
Separación por fregadero y flotador: hidrociclón	<50					✓
Separación de fregadero-flotador — Aero-chutes	0,7-3			✓		
Separación de sumidero-flotador: separación de canal de lecho fluidizado	0,7-5			✓		
Clasificación por plantillas hidráulicas	2-20					✓
Clasificación por plantillas neumáticas	<3			✓		
Clasificación en aero-chutes	0,6-2			✓		
Clasificación en Aero-tablas	<4			✓		
Separación hidráulica corriente arriba	5-150	✓				✓
Separación neumática aguas arriba	<300			✓		

Fuente. VERMEŞAN, H.; TIUC, A-E y PURCAR, M. Advanced Recovery Techniques for Waste Materials from IT and Telecommunication Equipment Printed Circuit Boards. En: Sustainability. January, 2020. vol.12, no. 74, p. 6.

Los diferentes materiales son “separados por su movimiento relativo en respuesta a la fuerza de la gravedad y posiblemente a otras fuerzas, como la resistencia al agua o al aire. El movimiento de una partícula hacia un fluido depende de la densidad, el tamaño y la forma de la partícula, y las partículas grandes se ven más afectadas que las pequeñas”<sup>74</sup>. En la práctica, es importante reducir el efecto del tamaño y, por lo tanto, es necesario controlar la dimensión aproximada de los alimentos en los procesos de gravedad.

<sup>73</sup> CUI, J. y FORSSBERG, E. Reciclaje mecánico de equipos eléctricos y electrónicos de desecho: una revisión. En: J. Hazard. Mater. Abril - mayo, 2003. no. 99, p. 244.

<sup>74</sup> Ibid., p. 245



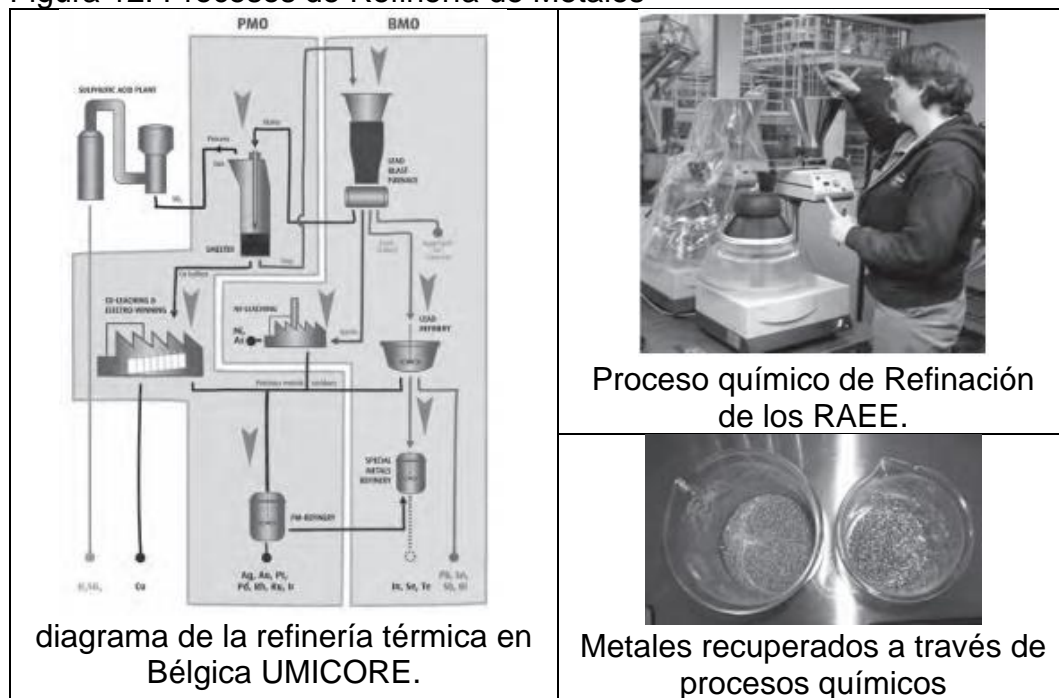
**4.1.5 Refinación térmica y química.** El proceso de refinación comprende la separación de metales preciosos de otros metales, componentes o materiales que pueden ser incluidos en este proceso son los catalizadores usados minerales algunos componentes electrónicos y aleaciones metálicas.

El proceso de refinación de los metales preciosos es complejo y costoso, consiste en aislar esos metales y para ello se utiliza el proceso denominado pirólisis e hidrólisis. En la pirólisis el proceso consiste en separar los metales no preciosos de los preciosos por medio de la oxidación o la fundición, en el proceso de la hidrólisis se disuelve en agua (ácido nítrico y compuesto de ácido clorhídrico) o también es utilizada una solución de gas de cloro y ácido clorhídrico. Esta clase de metales pueden ser reducidos en sal o gas orgánico, pasado este proceso se disponen a las fases de recristalización o limpieza.

De esta manera el metal precioso es separado por calcinación de la sal, los metales nobles son primero hidrolizados y después pirolizados<sup>75</sup>.

Métodos de refinación de metales (véase la Figura 12).

Figura 12. Procesos de Refinería de Metales



Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Bogotá: Centro Nacional de Producción más Limpia 2009. p. 38

<sup>75</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, op. cit., p. 38

Cabe mencionar que en el sector latinoamericano y el Caribe aún no existen industrias con la última tecnología para la extracción de metales preciosos de los tan mencionados elementos electrónicos en este sector se hace la extracción de los materiales de manera manual y después se empieza la clasificación para estimar su precio y proceder a la venta de sus componentes como materia prima en mercados internos o exportarlos a los mercados y refinerías norteamericanas y europeas donde este material es utilizado con mayor eficiencia.

**4.1.6 Incineración.** La incineración tiene como objetivo principal “asegurar la disposición o la transformación segura del material en una forma inerte; sin embargo, también se dirige a utilizar el poder calorífico contenido en los materiales para recuperar energía, lo cual constituye un nivel más alto en la jerarquía de la gestión de desechos y establece una mejor opción ante la quema sin la recuperación de energía o su disposición”<sup>76</sup>, ya que proporciona oportunidades para el suministro de energía no fósil. Sin embargo, este proceso genera peligros ambientales más aún cuando no se tienen buenas medidas de control, encontrándose que provocan emisiones de mercurio, dioxinas y furanos presentes en materiales como los plásticos.

El proceso de la incineración de los RAEE es complejo por la alta contaminación que producen en el aire cómo por los altos volúmenes de plomo que estos contienen y son transferidos a la ceniza concentrándose en escorias que deben ser manipuladas de formas adecuadas.

## **4.2 ANÁLISIS GENERAL**

Como se pudo los procesos de manejo y aprovechamiento de residuos RAEE son varios, cada uno con un propósito diferente, razón por la cual antes de cualquier cosa, se debe determinar el tipo de material RAEE que es para de esta manera saber qué tipo de tratamiento usar por esto a continuación se presenta un esquema de las variables de tratamientos de los aparatos eléctricos y electrónicos (véase el Cuadro 10)

---

<sup>76</sup> Ibid., p. 40

Cuadro 10. Esquema de las variables de tratamientos para los diferentes aparatos eléctricos y electrónicos en países desarrollados y en vías de desarrollo

RAEE	Países en vía de desarrollo	Países desarrollados
Computadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Reacondicionamiento</li> <li>• Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares</li> <li>• Desensamble manual completo. Reciclaje, recuperación y/o exportación de residuos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se Trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente</li> <li>• Trituración mecánica con separación automática de materiales</li> </ul>
Periféricos de las TIC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reacondicionamiento</li> <li>• Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se Trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente</li> <li>• Trituración mecánica con separación automática de materiales</li> </ul>
Impresoras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reacondicionamiento</li> <li>• Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se Trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente</li> <li>• Trituración mecánica con separación automática de materiales</li> </ul>
Fotocopiadoras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se Trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente</li> <li>• Trituración mecánica con separación automática de materiales</li> </ul>
Monitores con tubos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Reacondicionamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se Trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente</li> <li>• Trituración mecánica con separación automática de materiales</li> </ul>
Pantallas planas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todavía no hay muchos equipos en desuso</li> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se Trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente</li> <li>• Trituración mecánica con separación automática de materiales</li> </ul>

Cuadro 10. (Continuación)

RAEE	Países en vía de desarrollo	Países desarrollados
Celulares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Reacondicionamiento</li> <li>• Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares</li> <li>• Desensamble manual. Reciclaje, recuperación y/o exportación de los residuos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente</li> <li>• Trituración mecánica con separación automática de materiales</li> </ul>
Juegos eléctricos y electrónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Almacenamiento de equipos en desuso en los hogares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuso directo por parte de otros usuarios (segunda mano)</li> <li>• Desensamble en parte manual con separación de componentes. Los restantes se trituran mecánicamente y luego son separados automáticamente</li> <li>• Trituración mecánica con separación automática de materiales</li> </ul>

Fuente. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Bogotá: Centro Nacional de Producción más Limpia 2009. p. 79

Ahora bien, con la descripción de las alternativas se pudo determinar que los residuos de los equipos RAEE son muy heterogéneos y complejos en cuanto a forma, tamaño, elementos y materiales. Por lo tanto, se debe realizar un análisis detallado con el objetivo de comprender mejor como procesarlos.

Un aspecto interesante que se encontró es que los residuos RAEE debe triturarse en partículas finas, uniformes y diminutas, generalmente de menos de 10 mm de tamaño, para separarlas y que su reutilización implica la separación mecánica de partículas finas, así mismo que los métodos de separación electromecánica incluyen trituración, lavado y tamizado, mientras que los métodos de separación magnética incluyen la separación por corrientes de Foucault, la separación electrostática en corona y la separación triboelectrostática, que son procesos importantes desarrollados para reutilizar varios tipos de materiales de desecho. Estos métodos se adaptan muy bien a la reutilización de equipos electrónicos y eléctricos debido al aumento de su volumen y la variedad de sus composiciones.

Por otro lado, el uso de técnicas de reciclaje químico y electroquímico para recuperar materiales críticos y metales preciosos podría ser un paso hacia el logro de una economía circular. De la revisión de la literatura sobre el reciclaje de RAEE, la contribución de los metales preciosos es tan alta que influye en la mitad del potencial de recuperación económica. Incluso el reciclaje de materiales de bajo valor económico puede ofrecer contribuciones relevantes si están disponibles en cantidades suficientes.

## 5. CONCLUSIONES

Con lo expuesto anteriormente se puede concluir lo siguiente:

La logística inversa se centra en la gestión de la recuperación de productos una vez que ya no son deseados o ya no pueden ser utilizados por los consumidores, con el fin de obtener un retorno económico mediante la reutilización, remanufactura o reciclaje. En este sentido, la evolución de la logística inversa para productos manufacturados en los últimos años, se ha convertido en un asunto de importancia estratégica, pues se ha estado desarrollando en proporción directa a los rápidos avances en la tecnología y la consiguiente erosión de los precios de los productos a medida que los productos nuevos y mejorados ingresan a la cadena de suministro a un ritmo más rápido.

Así mismo, se pudo determinar que la logística inversa en la actualidad se proyecta no solo como una actividad orientada a la conservación del medio ambiente a través de la gestión de residuos, sino a una nueva fuente de ingresos o rentabilidad económica para las empresa que la desarrollan de manera adecuada, pues aquellas organizaciones con la infraestructura para capturar y comparar el valor compuesto de los componentes con un análisis inteligente en tiempo real y una disposición basada en cambios en el costos de renovación, valor de reventa, repuestos, reparación y demanda general no solo serán más rentables, sino también serán productos con alto nivel de flexibilidad y escalabilidad, permitiendo aportar no solo al mejoramiento del medio ambiente, sino a la consolidación de una economía circular.

Igualmente, se pudo determinar que inicialmente la logística inversa centro su atención en la devolución de mercancías dañadas, defectuosas o no deseadas, lo que implicaba para los empresarios tener la capacidad de facilitar al consumidor el retorno de los estos productos y que se consolidó en un diferenciador competitivo convincente en el comercio minorista, convirtiéndose en una condición normal del negocio y los procesos para devolver mercancías defectuosas se volvieron una práctica estándar; sin embargo, en la actualidad la logística inversa, se consolida no solo en los retornos de mercancías, sino en el aprovechamiento y/o reutilización de los componentes o elementos de éstas como piezas de repuesto y los materiales en el mismo almacén que la mercancía devuelta, para finalmente llevar el concepto un paso más allá, consolidando las operaciones de reparación de garantía de depósito dentro de la misma instalación para maximizar la utilización de piezas, mano de obra, almacén y materiales, a la vez que genera ingresos o reduce costos.

En el contexto colombiano, la logística inversa es un concepto poco conocido por los empresarios, especialmente en relación a las oportunidades que ésta brinda en cuanto a la reutilización de componentes, reducción de costos o generación de nuevos ingresos, generalmente, se tiene el pensamiento erróneo que la logística inversa acarrea inversiones adicionales y no representa lucro alguno, además que

restan importancia a la reducción del impacto ambiental, prefiriendo centrar su atención en el foco financiero.

En cuanto al manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), se puede establecer que a nivel internacional los adelantos en esta materia son grandes en Europa y Estados Unidos no solo se tienen legislaciones muy estrictas, sino que además tienen sistemas de recolección, manejo, reutilización y disposición de aparatos RAEE con tecnologías y equipos avanzados, para poder recuperar elementos comercializables y sustancias tóxicas para ser tratados correctamente. Esto teniendo en cuenta que, los desechos RAEE se ha convertido en el flujo de residuos de más rápido crecimiento debido al avance tecnológico, el estilo de la moda, la expansión del mercado, el fin de la vida útil del producto y el mal uso o la falta de mantenimiento de este tipo de los equipos, convirtiéndose en una de las principales fuentes de problemas ambientales.

Dado lo anterior, se pudo determinar que existen diversas técnicas para separar y manejar los elementos y componentes que los aparatos RAEE de manera segura, sin embargo, en Colombia son pocas las empresas que se dedican a esta labor, ya que se requiere no solo de infraestructura adecuada sino conocimientos y especialización en cada una de las técnicas, estas empresas se especializan en el reciclaje de chatarra, y equipos electrónicos como celulares, computadores y tablets, hacen el manejo de residuos peligrosos para evitar que lleguen al medio ambiente. Estas empresas, están generando impacto en la marca por su estrategia al reutilizar o reducir los residuos con el concepto de negocios verdes, destacándose la compañía Diaco planta generadora de acero reciclado que apoya los empleados, se preocupa por la naturaleza y reutiliza la esquila para construir ladrillos de construcción, así mismo se destaca por promover a la utilización de baterías recargables, ya que de esta manera se puede ahorrar dinero, contribuir con el medio ambiente y dejar de generar desechos difíciles de tratar.

Existen mercados que producen aparatos con obsolescencia planificada lo que hace referencia a la fabricación de productos que dejan de funcionar después de una cierta cantidad de tiempo, a la hora de comprar un producto no se debe comprar un producto de mala calidad ya que pronto dejará de prestarnos un servicio convirtiéndose en un desecho, generando contaminación, basura electrónica un problema ambiental, obviamente el mercado lo hace para incrementar la necesidad de consumir y evidenciar grandes utilidades pensando en dinero y no en el cliente y menos en el planeta, actualmente hay leyes que prohíben en Europa la elaboración de dichos componentes pero también hay personas que por “ahorrar dinero” recurren a esta clase de tecnología que a la larga no genera ahorro, presta un servicio corto y contamina el medio ambiente, por otro lado no dejemos que la publicidad que en muchas ocasiones vende obsolescencia percibida influya en nuestras decisiones, la obsolescencia percibida es generar una necesidad y una motivación por cambiar de elementos tecnológicos sin necesitarlos, no es correcto dejarse llevar de caprichos y de modas para desechar los elementos que aún

cuentan con vida útil y mucho menos deshacerse de los RAEE sin conciencia ambiental o ignorancia por falta de capacitación, información que deberían incluirse en las propagandas televisivas.

Se pudo concluir que en Colombia si bien existen políticas y lineamientos técnicos establecidos para el manejo de aparatos RAEE y sus residuos, las acciones adelantadas para promoverlas no son muy representativas, razón por la cual se observa por ejemplo como la recolección o recogida de estos aparatos es realizada en su mayoría por recicladores sin ningún tipo de entrenamiento, ellos mismos son los que se encargan de realizar la separación de elementos a través de quemas a cielo abierto o en lugares poco aptos para tal fin, lo que genera un mayor riesgo de contaminación ambiental. Así mismo, no se observan acciones dirigidas por el gobierno colombiano para llevar a cabo todo el ciclo de manejo de RAEE, como lo hacen país de la región como Argentina, que además de tener políticas y normas tienen un sistema estructurado y regulado permitiendo eficiencia en el proceso y mayor participación de las comunidades y las empresas.

## 6. RECOMENDACIONES

Como primera recomendación se tiene promover campañas a través de medios digitales y audiovisuales que generen conciencia y brinde un primer paso a la formación de las personas y las empresas para el manejo inicial de elementos RAEE así como consumo responsable.

Se recomienda que se oriente a las empresas para el establecimiento de políticas y acciones más representativas en temas ambientales como la logística inversa, para que puedan desarrollar mejores manejo y disposición final de los residuos generados o mercancías devueltas, para minimizar los impactos que éstas generen al no tener un adecuado lineamiento en desechos electrónicos.

Para futuras investigaciones sobre la actualización de la logística inversa en los RAEE se recomienda indagar a fondo sobre el proceso de la extracción del oro y del polvo de oro presentes en los microcontroladores y algunos impresos.

Se recomienda hacer una visita presencial a la diferentes empresas o entidades que desarrollan la actividad para poder tener mayor información sobre los procedimientos y las técnicas utilizadas para encontrar material de segunda disponible en los RAEE.

Para futuras investigaciones se aconseja generar estudios sobre los beneficios de procesos más eficientes, menor uso de materiales y energía y por ultimo generar un plan de conciencia ambiental dentro de un área determinada.



## BIBLIOGRAFÍA

ABERDEEN GROUP. Reverse Logistics: Driving Returns [en línea]. Bostón: The Company [citado 21 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://aberdeenresearch.wordpress.com/2010/01/13/reverse-logistics-driving-improved-returns-directly-to-the-bottom-line/>>

ALGARRA FAGUA, Diana Stella. Logística de recogida para residuos sólidos derivados del plástico en la planta de acopio del barrio la alquería en la ciudad de Bogotá. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería Industrial. Modalidad trabajo de Maestría en Ingeniería Industrial, 2016.

APONTE GUTIÉRREZ, David. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía, 2013.

BALLI MORALES, Basilio. La logística inversa o reversa. En: Revista de Logística. Octubre, 2015. no. 18. p. 32

BBC NEWS MUNDO. La basura electrónica en 4 gráficos: cómo el mundo desperdicia US\$62.500 millones cada año [en línea]. Bogotá: BBC News [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47032919>>

BELMONT-TRADING. Acerca de Belmont [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.belmont-trading.com/colombia/es/about-us/>>

BELTRÁN PUENTES, Cociña. Gestión y prevención de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): una propuesta para promover la economía circular. En: Actualidad Jurídica Ambiental. Noviembre, 2018. no. 84.

C.I. RECYCLABLES S.A.S. Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos – RAEE [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://recyclables.co/services/aparatos-electricos-y-electronicos/>>

CHANCEREL, P.; MESKERS, C.E.M.; HAGELÜKEN, C. y ROTTER, V.S. Assessment of Precious Metal Flows during Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment. En: J.Ind.Ecol. July, 2009. no. 13

COLE, Christine; GNANAPRAGASAM, Alex; COOPER, Tim y SINGH, Jagdeep. An assessment of achievements of the WEEE Directive in promoting movement up the waste hierarchy: experiences in the UK. In: Waste Management. February 2019. no. 87

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Bogotá: Centro Nacional de Producción más Limpia 2009.

-----. Definiciones de aparatos eléctricos y electrónicos y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 8 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book\\_rae\\_/contenido\\_2\\_1\\_1.html](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_1_1.html)>

-----. Marco normativo 2.2.2 Internacional [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 8 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book\\_rae\\_/contenido\\_2\\_2\\_2.html#:~:text=As%C3%AD%2C%20a%20partir%20de%202016,alternativamente%2C%20del%2085%20%25%20de%20los](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosAmbientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_2_2.html#:~:text=As%C3%AD%2C%20a%20partir%20de%202016,alternativamente%2C%20del%2085%20%25%20de%20los)>

-----. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Anexo general del RETIE Resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes [en línea]. Bogotá: El Ministerio [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>>

-----. Cartilla Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE [en línea]. Bogotá: UPME Unidad de Planeación Minero Energética [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.upme.gov.co/Docs/Cartilla\\_Retie.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Cartilla_Retie.pdf)>

CORTÉS ROMERO, Lady Stephania. Actualización del Estado del Arte sobre Logística Verde: Aplicación en la Industria Colombiana. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Modalidad trabajo de Investigación, 2019.

CUI, J. y FORSSBERG, E. Reciclaje mecánico de equipos eléctricos y electrónicos de desecho: una revisión. En: J. Hazard. Mater. Abril - mayo, 2003. no. 99.

DIARIO BOYACÁ SIETE DÍAS. Gerdau DIACO, una empresa generadora de empleo y solidez económica en Boyacá [en línea]. Tunja: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://boyaca7dias.com.co/2020/03/05/gerdau-diaco-una-empresa-generadora-de-empleo-y-solidez-economica-en-boyaca/>>

DUARTE RAMÍREZ, Jhon Jairo; GÓMEZ RUBIANO, Diego Fernando y RAMOS DE LOS RIOS, Jully Andrea. Importancia de la logística inversa en las empresas de telecomunicaciones en Colombia. Bogotá: Universidad Sergio Arboleda. Escuela de Postgrados. Modalidad trabajo de Especialización en Gerencia Logística, 2015.

ECOCOMPUTO. ¿Cómo lo hacemos? [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.ecocomputo.com/como-lo-hacemos>>

ESCOBAR OCAMPO, Diego; LÓPEZ ARIAS, Andrea; CAMACHO LOZANO, Ángel Eduardo y CAMELO MARTÍNEZ, Edwin. Política nacional para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017.

FORTI, Vanessa; PETER BALDÉ, Cornelis; KUEHR, Ruediger y BEL, Garam. Observatorio mundial de los residuos electrónicos 2020. Rotterdam: Universidad de las Naciones Unidas (UNU), 2020.

GIAVITARE. Manejo integral de residuos electrónicos y eléctricos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.gaiavitare.com/site/>>

GENERALITAT VALENCIANA. Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos [en línea]. Valencia: Consejería de infraestructura, territorio y medio ambiente [citado 4 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <http://agroambient.gva.es/documents/20549779/161513659/10.+Residuos+de+aparatos+el%C3%A9ctricos+y+electr%C3%B3nicos+%28RAEE%29/6675a7ab-88f3-4f1a-be51-2c9147f40a78>>

GERDAU DIACO. Sobre la empresa [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 12 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.gerdaudiaco.com/sobre-gerdau/>>

-----. Somos una compañía socialmente responsable con el entorno con que interactuamos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.gerdaudiaco.com/responsabilidad-social/>>

GÓMEZ RAMÍREZ, Isabel Cristina; DÍAZ HERRERA, Eliana y GIRALDO SÁNCHEZ, Vanessa. Situación actual de la logística inversa desde la mirada de gerentes logísticos en sectores industriales de Medellín [en línea]. Medellín: Institución Universitaria Esumer [citado 30 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <http://repositorio.esumer.edu.co/bitstream/esumer/1958/1/LOGISTICA%20INVERSA%20%282%29.pdf>>

GREVE, Curtis y DAVIS, Jerry. Recovering Lost Profits by Improving Reverse Logistics. Wexford, Pensilvania, Greve-Davis Company, 2018.

HELJULA, Mike. Reverse logistics impact the supply chain, says Arrow 2012 [en línea]. London: Electronics Weekly [citado 20 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.electronicweekly.com/news/business/distribution/reverse-logistics-impact-the-supply-chain-says-arrow-2012-04/>>

IGLESIAS LÓPEZ, Antonio. Qué es la Logística Verde y qué beneficios aporta [en línea]. Bogotá: ESIC Business & Marketing School [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.esic.edu/rethink/management/que-es-la-logistica-verde-y-que-beneficios-aporta>>

INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN Y PROMOCIÓN DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS PARA ZONAS NO INTERCONECTADAS (IPSE). Protocolo para manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos – RAEE. Bogotá. IPSE, 2019.

JIMÉNEZ TOVAR, Ginna Alejandra y PARRA PINILLA, Mario. Lixiviación de cobre contenido en tarjetas de computador PCB para la extracción de metales preciosos [en línea]. Bogotá: Revista UPTC [citado 12 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria\\_sogamoso/article/view/11873](https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/11873)>

KITSARA, Irene. Los desechos electrónicos y la innovación: aprovechar su valor oculto. En: Revista de la OMPI. Junio, 2014. no. 3

KUMAR, A.; HOLUSZKO, M. y ESPINOSA, D.C.R. E-Waste: An Overview on Generation, Collection, Legislation and Recycling Practices. En: Resour. Conserv Recycl. January, 2017. no. 122

LEITE, P. R. Reverse Logistics: a new area in corporate logistics. En: Tecnológica Magazine. september, 2002. vol 7, no. 78

LITO. Sobre la empresa [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://litolda.com/>>

LIU, W.; LIANG, C.; QIN, W.Q. y JIAO, F. A New Technology for Recovery of Metals from Waste Printed Circuit Boards. En: Appl. Mech. Mater. October, 2014, no. 675

MAFFEI, Laura y BURUCUA, Andrea. Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) y empleo en la Argentina. Buenos Aires; Oficina de país de la OIT para la Argentina, 2020.

MAGSY. Estructura del separador de metales no magnéticos [en línea]. Madrid: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.magsy.es/25100-separadores-magneticos-de-los-metales-no-magneticos>>

MARTINS, V. M. A. Reverse logistics in Brazil: State-of-the-art. M. Sc. Dissertation. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brazil, 2005.

MESSIAS LOPES, Diana Mery; DE ALMEIDA D'AGOSTO, Márcio; FERNANDES FERREIRA, Amanda y MACHADO De OLIVEIRA, Cintia. Improving post-sale reverse logistics in department stores: a Brazilian case study. En: Journal of Transport Literature. April, 2014. vol. 8, no. 2

MIHI RAMÍREZ, Antonio. Nuevos beneficios de la logística inversa para empresas europeas y colombianas. En: Univ. Empresa. Junio, 2007. vol. 6, no. 12

NAMIAS, J. The Future of Electronic Waste Recycling in the United States: Obstacles and Domestic Solutions [en línea]. New York: Columbia University [citado 25 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Namias\\_Thesis\\_07-08-13.pdf](http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Namias_Thesis_07-08-13.pdf)>

NARASHIMMAN, Lakshmi. The History, Evolution, and Future of Reverse Logistics. Mumbai: LOCUS, 2020.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Los peligros de la basura electrónica [en línea]. Bogotá: NG [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: [https://www.nationalgeographic.com/es/mundo-ng/peligros-basura-electronica\\_13239](https://www.nationalgeographic.com/es/mundo-ng/peligros-basura-electronica_13239)>

NOTICIAS ONU. Las emisiones de CO2 rompen otro récord: un calentamiento global catastrófico amenaza el planeta [en línea]. Madrid: News UN [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://news.un.org/es/story/2020/12/1485312#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20informe%2C%20las%20emisiones,a%20causa%20del%20COVID%2D19.&text=Los%20cient%3%ADficos%20calculan%20que%20el,el%20calentamiento%20global%20para%202050>>

PIRACHICÁN MAYORGA, Carolina; MONTOYA TORRES, Jairo R.; JARRÍN, Jairo y HALABI ECHEVERRY, Ana Ximena. Modelling reverse logistics practices: a case study of recycled tyres in Colombia. En: Latin American J. Management for Sustainable Development. January , 2014. vol. 1, no. 1

REDBIRD LOGISTICS SERVICES. How does reverse logistics impact supply chain management? [en línea]. Oklahoma:RLS [citado 20 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://redbirdlogisticsservices.com/how-does-reverse-logistics-impact-supply-chain-management/#:~:text=Cost%20Reductions&text=As%20such%2C%20they%20also%20work,value%20through%20repair%20or%20recycling>>

RENTERO, Antonio. La logística inversa: ¿qué es y para qué sirve? [en línea]. Bogotá: Hiberus [citado 5 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/la-logistica-inversa-que-es-y-para-que-sirve/>>

RODRIGUEZ, Jean-Paul; SLACK, Brian y COMTOIS, Claude. The Geography of Transport Systems. B.15 – Green Logistics. 5 ed. Nueva York: Routledge, 2020.

RUAN, J.; QIAN, Y. y XU, Z. Environment-Friendly Technology for Recovering Nonferrous Metals from e-Waste: Eddy Current Separation. En: Resour Conserv Recycl. October, 2014. no. 87

RUIZ ZAMBRANO, Juan Camilo. Logística inversa en la cadena de suministros de teléfonos celulares inteligentes (smartphones) ¿una alternativa viable económicamente en el mercado colombiano?. Bogotá: Universidad del Rosario. Facultad de Administración De Negocios Internacionales. Modalidad trabajo de grado, 2016.

SIDER NNOVA. Escoria para agregados de concreto, una solución sólida [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 12 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/investigacionExtension/nuestrosResultados/documentos/3escoriaAgregadosConcreto.pdf>>

SOCIAL RAEE. Gestión RAEE [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://socialraee.com.co/raee/>>

STEINERT GLOBAL. Separación magnética [en línea]. Madrid: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://steinertglobal.com/es/separadores-iman-es-sensores/separacion-magnetica/>>

UAEH BIBLIOTECA DIGITAL. Estrategia logística verde [en línea]. México: La Biblioteca [citado 12 marzo, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/132strategico>>

VERMEŞAN, H.; TIUC, A-E y PURCAR, M. Advanced Recovery Techniques for Waste Materials from IT and Telecommunication Equipment Printed Circuit Boards. En: Sustainability. January, 2020. vol.12, no. 74.

WEEE GLOBAL. Sobre nosotros [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 28 abril, 2021]. Disponible en Internet: <URL: <https://weee.global/sobre-nosotros/>>