

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MONTAJE DE UNA PLANTA DE RECICLAJE  
DE RESIDUOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS EN CARTAGENA**

**KENNY FAJARDO SUAREZ**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**ESCUELA DE ADMINISTRACION**

**MAESTRIA EN ADMINISTRACION**

**MEDELLIN**

**2013**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MONTAJE DE UNA PLANTA DE RECICLAJE  
DE RESIDUOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS EN CARTAGENA**

**KENNY FAJARDO SUAREZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en  
Administración**

**Asesor**

**JOSE IGNACION VILLAREAL**

**MAGISTER EN ADMINISTRACION**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**ESCUELA DE ADMINISTRACION**

**MAESTRIA EN ADMINISTRACION**

**MEDELLIN**

**2013**

# **ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL MONTAJE DE UNA PLANTA DE RECICLAJE DE RESIDUOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS EN CARTAGENA**

**Kenny Fajardo Suárez**  
[kfajardo@gmail.com](mailto:kfajardo@gmail.com)

## ***Resumen***

Cada día los adelantos tecnológicos son mayores y el ser humano se acostumbra cada vez más a estar conectado y actualizado con lo que está pasando en el mundo. Para poder lograr esto, es necesario el uso de equipos tecnológicos como computadores, celulares, neveras, cámaras, televisores, videojuegos, entre otros, que al poco tiempo de uso se vuelven obsoletos y deben ser reemplazados por unos nuevos. Todos los días estos equipos obsoletos sumados a los dañados generan millones de toneladas de la llamada basura electrónica. El objetivo de este trabajo de grado es realizar un estudio de factibilidad para el montaje una planta de reciclaje en la ciudad de Cartagena, Colombia, que nos permita procesar esta nueva basura electrónica con el fin de rescatar los metales preciosos que estos poseen o reutilizar las partes que aun estén en buen estado, por lo cual este estudio nos permitirá saber si es un negocio rentable desde el punto de vista económico y ambiental.

## ***Palabras clave***

RAEE (Residuos de aparatos Eléctricos y Electrónicos), desechos electrónicos, reciclaje, desecho peligroso, reacondicionamiento

## ***Abstract***

Everyday technological advances are greater and human being increasingly used to be connected and updated with what's going on in the world. In order to achieve this, is necessary the use of technical equipment such as computers, phones, refrigerators, cameras, TVs, video games and others that use shortly become obsolete and should be replaced with new ones. Everyday these obsolete equipment added to the damaged one are generating millions of tons of electronic waste. The aim of this work is to study the feasibility for mounting a recycling plant in the city of Cartagena, Colombia, allowing us to process this new electronic waste, in order to rescue the precious metals that this waste possess or reuse parts that still are in good condition, so this study will allow us to know if it is a profitable business from the standpoint of economic and environmental.

***Key words***

WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment), electronic waste (e-waste), recycling, hazardous waste, reconditioning

## INTRODUCCIÓN

Gracias a los adelantos tecnológicos y al aumento de las condiciones de calidad de vida, cada vez son más los aparatos eléctricos y electrónicos que brindan gran ayuda en las tareas diarias tanto del hogar como en nuestros trabajos. Es así como en estos últimos años ha surgido un nuevo tipo de basura: los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), en inglés *e-waste*.<sup>1</sup> Estos residuos, por su estructura específica, deben ser tratados de forma especial; es decir, de manera que se puedan prevenir impactos negativos en el medio ambiente y en la salud humana.

Se estima que la generación de residuos eléctricos y electrónicos (RAEE) se incrementará cada día más, hasta alcanzar millones de toneladas por año. Esto nos lleva a afrontar otra cara del modelo de consumo masivo que se vive en el mundo, cuyos residuos —también masivos—, de no hacerse nada, podrán amenazar la integridad de la sociedad y el medio ambiente. Hoy día la mayoría de equipos eléctricos y electrónicos desechados terminan en botaderos, en los que con el tiempo se descomponen y empiezan a verter sustancias tóxicas a la tierra, el aire y a las fuentes de agua.

En respuesta a esto, numerosos países están en proceso de implementar, o ya han implementado, normas y regulaciones para la recolección y el reciclaje de residuos electrónicos. Como resultado del Convenio de Basilea, los países miembros han avanzado

---

<sup>1</sup> Estos términos se explicarán en detalle en el *Marco teórico*.

en desarrollos de tecnologías y procesos que ayudan a reducir riesgos en los procesos de extracción de recursos valiosos provenientes de los RAEE. Los estudios y experiencias conseguidas en los últimos años por los países miembros de este convenio los han encaminado hacia técnicas eficientes y económicamente factibles, en la gestión de residuos electrónicos.

Los países en vías de desarrollo, como Colombia, tienen un gran potencial de materia prima, en cuanto a residuos eléctricos y electrónicos se refiere, y el reciclaje de RAEE puede ser un negocio lucrativo debido a los componentes valiosos que estos contienen, tales como oro y plata.

Hoy en día, en Colombia un gran porcentaje de RAEE se entierra o se incinera sin ningún tratamiento previo. Ante tal problemática, surge la idea de conformar en nuestro país E-RECYCLEAN, una empresa de reciclaje de basura electrónica.

Las empresas de reciclaje electrónico vienen generando importantes fuentes de empleo y beneficios socioambientales. Varios estudios realizados por miembros del *ewasteguide.info*<sup>2</sup> muestran ejemplos de empresas exitosas de reciclaje electrónico alrededor del mundo, dando a entender que son una oportunidad de negocio viable desde el punto de vista financiero, pero que para que tengan éxito y sus actividades sean sostenibles se requiere de un considerable desarrollo en la inversión de la responsabilidad social en el país y el apoyo de aliados estratégicamente constituidos. Bajo este punto, luego de analizar

---

<sup>2</sup> <http://ewasteguide.info/>

los avances logrados en el tema de responsabilidad social empresarial en Colombia, se puede afirmar que nuestro país presenta un enorme potencial en el campo de las empresas de reciclaje electrónico. Sin embargo, se requiere profundizar en el aspecto operativo, el económico y el técnico de esta oportunidad empresarial u oportunidad de inversión para garantizar su éxito y entrar a competir con los mercados representativos del reciclaje electrónico.

A través del presente trabajo de grado se quiere confirmar la factibilidad económica del montaje de una planta de reciclaje de residuos eléctricos y electrónicos en la ciudad de Cartagena.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los equipos eléctricos y electrónicos, incluyendo celulares, computadores, impresoras y monitores, han venido creciendo de forma exponencial durante las últimas décadas. Desde el lanzamiento de la primera computadora personal hasta estos últimos años se fabricaron billones de computadores y equipos electrónicos.

El rápido crecimiento de la industria de tecnologías de información ha dado origen a un nuevo problema social y ambiental debido a los grandes volúmenes de residuos electrónicos provenientes de equipos obsoletos utilizados en su mayoría en telecomunicaciones y sistemas informáticos.

Si se le da una disposición final inadecuada a los RAEE, como mantenerlos en rellenos sanitarios o incinerarlos, entonces los equipos electrónicos post consumo se estarían convirtiendo en residuos contenidamente peligrosos y de alto impacto para el medio ambiente y la salud humana, ya que estos contienen compuestos tóxicos.

De otro lado, los metales preciosos y otros componentes que pueden recuperarse a través del reciclaje de esta clase de desechos, tienen un valor económico significativo en el mercado del reciclaje. En Colombia, y sobre todo en Cartagena, donde se encuentra uno de los puertos más importantes del país, el reciclaje de RAEE constituye una oportunidad

importante de negocio, teniendo en cuenta el volumen de equipos electrónicos que se mueven en esta zona.

Mientras más competitivos sean los precios de los equipos electrónicos, el consumo de los mismos será cada vez mayor. Un ejemplo claro de esto es que hace una década un computador o un teléfono celular solo podían ser comprados por unas pocas personas, debido a que eran costosos y eran vistos como un lujo. Hoy en día, estos equipos se han vuelto de primera necesidad, cuentan con un tiempo de vida útil cada vez más corto y, además, están sometidos a la tendencia de ser cambiados por otros de última gama, ya sea por funcionalidad o vanidad.

La cantidad de productos electrónicos desechados alrededor del mundo se ha disparado durante los años recientes. Cada año, en la tierra se generan cerca de 50 millones de toneladas de RAEE, siendo estos en promedio más del 5% de la basura sólida en el mundo.

En Colombia, el incremento de los residuos electrónicos se ve con gran preocupación, debido al continuo incremento en las importaciones de equipos electrónicos traídos desde China y Estados Unidos, principalmente.

Estudios realizados acerca de los sistemas de manejo de residuos sólidos muestran que las condiciones del sector del reciclaje en Colombia se encuentran en seria desventaja con respecto a los países desarrollados. En Bogotá, por ejemplo, se recicla entre el 20% y el 30% del total de los desechos, mientras que en Europa, Asia y Norteamérica la tasa de

recuperación de residuos está entre el 50% y el 65%<sup>1</sup>. Si a este hecho se suma el potencial crecimiento de la basura electrónica en el país (TLC), es posible visualizar la problemática.

Es así como, en el mediano plazo, se ve un gran daño al medio ambiente causado por los grandes volúmenes de desechos en los basureros; lo que no solo conlleva el riesgo constante de las comunidades aledañas a contraer enfermedades, sino el deterioro del medio ambiente y el desperdicio de un gran potencial para la economía nacional. Surge entonces la necesidad de implementar desde ahora soluciones sostenibles, que eviten una grave e irreversible crisis socio ambiental y que, al mismo tiempo, generen empleo, crecimiento al país y rentabilidad económica.

## **1.1 FORMULACIÓN**

Si se llegase a formular y modelar, desde el punto de vista operacional y financiero, el negocio de reciclaje electrónico en Cartagena de Indias, ¿De qué manera podrían identificarse y sugerirse ventajas o desventajas competitivas en función de los recursos disponibles?

---

<sup>1</sup> Fuente: Red de trabajo de la convención de Basilea, coalición de tóxicos del valle del silicio. Exporting Harm, the High-Tech Trashing of Asia Op. Cit. Febrero de 2002. China. <http://www.greenpeace.com.co>

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Demostrar la viabilidad técnica y económica de la creación de una planta de reciclaje de residuos eléctricos y electrónicos en la ciudad de Cartagena de Indias.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar la viabilidad económica con base en el tamaño mínimo requerido para que genere beneficios económicos.
- Analizar la atractividad de la planta de reciclaje eléctrico y electrónico a partir del entorno de negocios existentes.
- Definir el negocio, en términos de misión, visión y objetivos corporativos.
- Construir el modelo operativo y financiero del proyecto.
- Identificar las fuentes de generación de residuos eléctricos y electrónicos y la cantidad de estos que se genera en Cartagena de Indias y en municipios cercanos, para ser procesados en la planta.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El desarrollo y avance de la tecnología en equipos eléctricos y electrónicos en el mundo ha ocasionado que el consumo de estos sea cada vez mayor. Dichos elementos le proporcionan a la sociedad facilidad y comodidad en el quehacer del día a día, y los encontramos en todos los lugares en la vida diaria. Sin embargo, los desarrollos tecnológicos, unidos al incremento del número de consumidores alrededor del mundo, aumentan la frecuencia de cambio o de actualización de estos productos. Por tal motivo, la generación de los residuos electrónicos se seguirá multiplicando en el futuro, lo que nos obliga a afrontar la otra cara de este modelo de consumo, es decir, la multiplicación también de residuos masivos que amenazan al medio ambiente y la sociedad.

Como ya se expresó, los equipos electrónicos desechados terminan en botaderos donde, con el tiempo, se descomponen y empiezan a verter sustancias tóxicas a la tierra, el aire y a las fuentes de agua. Hoy día, la mayoría de los residuos electrónicos y eléctricos se incineran o se entierran sin ningún tipo de tratamiento previo. Ante tal problemática, surge la idea de un estudio de factibilidad, desde el punto de vista comercial y económico, de la creación un negocio de reciclaje de residuos eléctricos y electrónicos en Colombia, más exactamente en Cartagena.

Se espera que la creación de una planta de reciclaje de este tipo de residuos contribuya a la protección del medio ambiente y a la salud de los seres humanos; de comprobarse la rentabilidad de la planta, se contará con un negocio interesante y sostenible que podría traducirse en nuevos ingresos (exportaciones) y puestos de trabajo en la región.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Definición de *e-waste* o RAEE

Acerca de la definición del término *e-waste*, dice Daniel Ott:

El término *e-waste* es una abreviación de *electronic waste*, lo que es equivalente a *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)* y en español, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Otros términos conocidos son: *e-scrap*, *e-trash*, residuos electrónicos, residuo-e o simplemente chatarra electrónica. La palabra *e-waste* se refiere a aparatos dañados, descartados u obsoletos que consumen electricidad. Incluye una amplia gama de aparatos como computadores, equipos electrónicos de consumo, celulares y electrodomésticos que ya no son utilizados por sus usuarios. Por la creciente digitalización de los productos anteriormente eléctricos como hornos, calderas y hervidores esta distinción se puso borrosa. Cada vez estos aparatos contienen más circuitos electrónicos y tarde o temprano terminan siendo *e-waste*. *Daniel Ott, Empa (2008)*.

La Tabla 1 muestra un resumen de diferentes definiciones elaboradas por varias entidades expertas en el tema de reciclaje electrónico.

**Tabla 1:** Definiciones de *e-waste*, según varias entidades expertas en el tema.

Referencia	Definición
Directiva RAEE de la Unión Europea (EU 2002a)	“Todos los aparatos eléctricos o electrónicos que pasan a ser residuos [...]; este término comprende todos aquellos componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte del producto en el momento en que se desecha”. La Directiva 75/442/CEE, Artículo 1(a), define “residuo” como “cualquier sustancia u objeto del cual se desprenda su poseedor o tenga la obligación de desprenderse en virtud de las disposiciones nacionales vigentes” ( <a href="http://www.gestionambiental.com/norma/ley/375L0442.htm">http://www.gestionambiental.com/norma/ley/375L0442.htm</a> ).
Red de Acción de Basilea (BAN) (Puckett & Smith 2002)	“e-waste incluye una amplia y creciente gama de aparatos electrónicos que van desde aparatos domésticos voluminosos, como refrigeradores, acondicionadores de aire, teléfonos celulares, equipos de sonido y aparatos electrónicos de consumo, hasta computadores desechados por sus usuarios”.
OECD (2001)	“Cualquier dispositivo que utilice un suministro de energía eléctrica, que haya alcanzado el fin de su vida útil”.
StEP (2005)	El término ‘residuos electrónicos’ se refiere a “la cadena de suministro inversa que recupera productos que ya no desea un usuario dado y los re acondiciona para otros consumidores, los recicla, o de alguna manera procesa los desechos”.

Fuente: Gestión de Residuos Electrónicos en Colombia - Diagnóstico de Computadores y Teléfonos Celulares (2008)

## 4.2 Categorías

Según la directiva de la Unión Europea sobre RAEE (2002): “Los productos o aparatos que al final de su vida útil pueden constituir residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) se clasifican en 10 categorías (Tabla 2)”.

**Tabla 2:** Categorías de *e-waste* según la directiva de la Unión Europea sobre RAEE (EU, 2002).

Nº	Categoría	Descripción
1	Grandes electrodomésticos.	Grandes equipos refrigeradores. Frigoríficos. Congeladores. Lavadoras. Secadoras. Lavavajillas. Cocinas. Estufas eléctricas. Placas de calor eléctricas. Hornos de microondas. Aparatos de calefacción eléctricos. Radiadores eléctricos. Ventiladores eléctricos. Aparatos de aire acondicionado.
2	Pequeños electrodomésticos.	Aspiradoras. Planchas. Tostadoras. Freidoras. Molinillos. Cafeteras. Cuchillos eléctricos. Aparatos para cortar el pelo, para secar el pelo, para cepillarse los dientes, máquinas de afeitarse, aparatos de masaje. Relojes, relojes de pulsera y aparatos destinados a medir, indicar o registrar el tiempo. Balanzas.
3	Equipos de informática y telecomunicaciones.	Grandes ordenadores. Miniordenadores. Unidades de impresión. Ordenadores personales (incluyendo unidad central, ratón, pantalla y teclado). Ordenadores portátiles (incluyendo unidad central, ratón, pantalla y teclado). Impresoras. Copiadoras. Máquinas de escribir eléctricas y electrónicas. Calculadoras de mesa y de bolsillo. Terminales de fax. Teléfonos. Teléfonos de pago. Teléfonos inalámbricos.

		Teléfonos celulares. Contestadores automáticos.
4	Aparatos electrónicos de consumo.	Radios. Televisores. Videocámaras. Videos. Cadenas de alta fidelidad. Amplificadores de sonido. Instrumentos musicales.
5	Aparatos de alumbrado	Luminarias para lámparas fluorescentes con exclusión de las luminarias de hogares particulares. Lámparas fluorescentes rectas. Lámparas fluorescentes compactas. Lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las lámparas de sodio de presión y las lámparas de haluros Metálicos. Lámparas de sodio de baja presión.
6	Herramientas eléctricas y electrónicas (con excepción de las herramientas industriales fijas de gran envergadura)	Taladradoras. Sierras. Máquinas de coser. Herramientas para torneear, molturar, enarenar, pulir, aserrar, cortar, cizallar, taladrar, perforar, punzar, plegar, encorvar o trabajar la madera, el metal u otros materiales de manera similar. Herramientas para remachar, clavar o atornillar o para sacar remaches, clavos, tornillos o para aplicaciones similares. Herramientas para soldar (con o sin aleación) o para aplicaciones similares. Herramientas para rociar, esparcir, propagar o aplicar otros tratamientos con sustancias líquidas o gaseosas por otros medios. Herramientas para cortar césped o para otras labores de jardinería.
7	Juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre	Trenes eléctricos o coches de carreras en pista eléctrica. Consolas portátiles. Videojuegos. Ordenadores para realizar ciclismo, submarinismo, correr, hacer remo, etc. Material deportivo con componentes eléctricos o electrónicos. Máquinas tragaperras.
8	Aparatos médicos (con excepción de todos los productos implantados o	Aparatos de radioterapia. Cardiología. Diálisis.

	infectados)	Ventiladores pulmonares. Medicina nuclear. Aparatos de laboratorio para diagnóstico <i>in vitro</i> . Analizadores. Congeladores. Pruebas de fertilización.
9	Instrumentos de vigilancia y control	Detector de humos. Reguladores de calefacción. Termostatos. Aparatos de medición, pesaje o reglaje para el hogar.
10	Máquinas expendedoras	Máquinas expendedoras de bebidas calientes. Máquinas expendedoras de botellas o latas, frías o calientes. Máquinas expendedoras de productos sólidos. Máquinas expendedoras de dinero.

Fuente: Directiva 2002/96/EC de la Unión Europea (2003).

Otra forma de categorizar los RAEE es mediante su división en líneas:

**Línea blanca:** son todos los electrodomésticos, pequeños y grandes; por ejemplo, lavadoras, neveras, lavavajillas, cocinas y hornos.

**Línea marrón:** son todos los electrodomésticos de consumo, como equipos de sonido televisores, y reproductores de vídeo.

**Línea gris:** son todos los equipos informáticos (computadores) y de telecomunicaciones (celulares).

Desde el punto de vista de la gestión y manejo de residuos electrónicos, se debería aplicar la clasificación que se presenta en la Tabla 3.

**Tabla 3:** Clasificación de RAEE desde una perspectiva de su gestión y manejo

Nº.	Categorías	Ejemplos	Justificación
1	Aparatos destinados a la refrigeración.	Neveras, congeladores, otros refrigerantes.	Requieren un transporte seguro 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 monitoreo y pantalla.	Televisores, monitores TRC, monitores LCD.	Los tubos de rayos catódicos requieren un transporte seguro 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 por consiguiente requieren un tratamiento de reciclaje o valorización muy semejante.

Fuente: Adaptación propia de ACRR, *La Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - Guía dirigida a Autoridades Locales y Regionales*. 2003.

### 4.3 Características

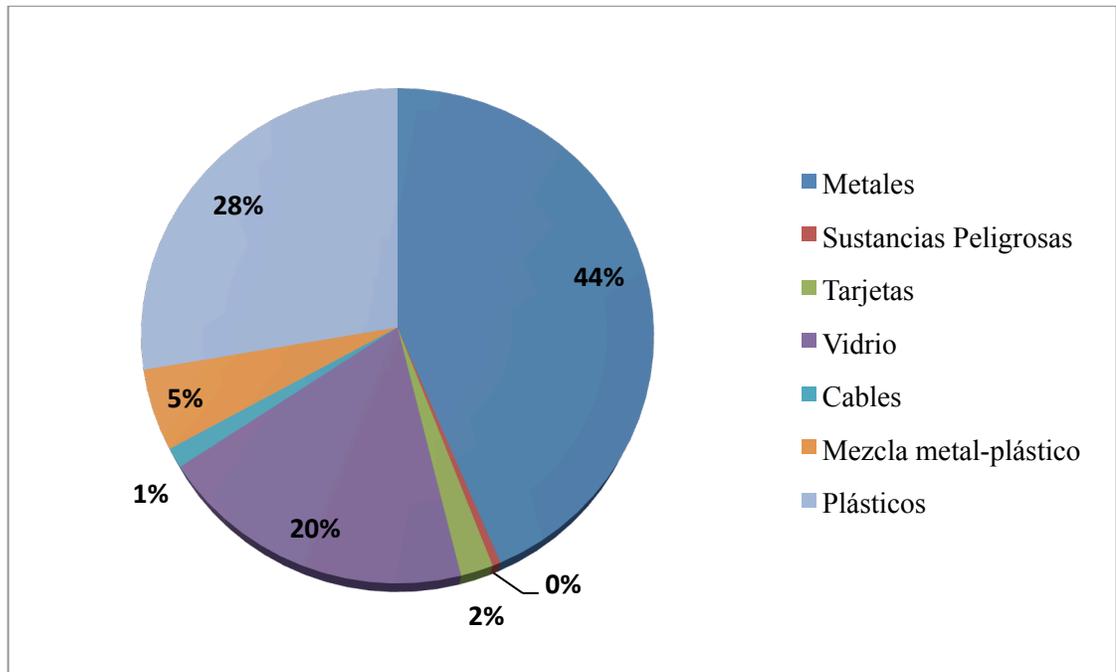
El RAEE también contiene materiales peligrosos o tóxicos: sustancias cancerígenas como arsénico y plomo. Sin embargo, como ya lo hemos afirmado, no todas las sustancias tóxicas contenidas en computadores y electrodomésticos son riesgosas para la salud humana y el medio ambiente. Los equipos eléctricos y electrónicos están

compuestos de muchos materiales valiosos que se pueden recuperar del RAEE, como plata, oro y paladio.

Las emisiones tóxicas durante el reciclaje de RAEE dependen mucho del manejo del mismo. Ciertos métodos de reciclaje como la quemadura de basuras electrónicas utilizadas en su mayoría en países en vía de desarrollo, pueden ocasionar contaminación en el medio ambiente y daños de salud en las personas. Es por esto que el proceso de reciclaje de materiales, además de ser un negocio lucrativo para algunos, también puede ser de alto riesgo para el medio ambiente y la salud humana.

En promedio, más del 70% del peso de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) obsoleta está en los plásticos y metales, y en su respectiva mezcla (Gráfica 1). Los metales preciosos se encuentran en un porcentaje relativamente bajo con respecto al peso total. Otro fragmento importante es el vidrio, en su mayoría procedente de las pantallas de tubo de rayos catódicos. Las investigaciones adelantadas en Suiza con respecto al reciclaje de RAEE dicen que las sustancias y componentes tóxicos o peligrosos representan únicamente el 0,5% del peso total.

**Ilustración 1:** Composición promedio de las TIC obsoletas



Fuente: Swico (2006).

#### 4.4 Materiales valiosos

La fabricación de aparatos eléctricos y electrónicos demanda una mezcla compleja de componentes, entre los que se encuentran varios metales preciosos cuya transformación y extracción generan un impacto ambiental significativo, procedente de su producción primaria.

Aunque el porcentaje de los metales preciosos es pequeño en comparación con el peso total, su concentración, como ocurre con el oro, y a pesar de las bajas cantidades de

metales preciosos que se encuentran en los RAEE, estos son muy importantes por su valor en gramos.

Un computador se encuentra compuesto en su mayoría por acero de baja aleación (65%) y plástico (10%). Los metales preciosos como oro y plata se encuentran en concentraciones bajas. Si lo vemos desde el punto de vista económico, los metales preciosos representan la mayor cantidad de ingresos posibles. Además, el cobre y los diversos plásticos, en particular, muestran un porcentaje relativamente alto.<sup>4</sup>

De otra parte, elementos potencialmente peligrosos como el plomo, el selenio y el arsénico, entre otros, también tienen un valor económico que no puede ser despreciado.

#### **4.5 Materiales peligrosos**

La generación de emisiones peligrosas durante el reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos depende del manejo de los residuos electrónicos. Las sustancias de preocupación en equipos eléctricos y electrónicos, por lo general, están en forma sólida no dispersas, y no hay riesgo de exposición humana o emisión al ambiente por su uso en un contacto normal directo. Es por esto que las sustancias peligrosas que contienen algunos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (Tabla 3) no representan en sí

---

<sup>4</sup> S. Gmuender, Recycling - From waste to Resource: Assessment of optimal manual dismantling depth of a desktop PC in China based on eco-efficiency calculations. 2007, Federal Institute of Technology (ETH) / Federal Institute for Material Science and Research(Empa)

mismos riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Ciertos procesos de recuperación usados principalmente en países en desarrollo o en transición, como someter los residuos a altas temperaturas sin ningún tipo de control o uso de tecnologías diseñadas para tal fin, pueden causar daños al medio ambiente y a la salud humana.

La gestión inadecuada de los residuos electrónicos, tanto la incineración sin control de emisiones como el depósito en rellenos sanitarios junto con los residuos urbanos, hacen que algunos de esos contaminantes puedan llegar al suelo, el aire o a las aguas subterráneas. Por lo tanto, estos residuos deben ser tratados de forma especializada.

**Tabla 4:** Lista de posibles sustancias peligrosas presentes en los RAEE

<b>Sustancia</b>	<b>Presencia de RAEE</b>
Compuestos halogenados: <ul style="list-style-type: none"> <li>• PCB (Policloruros de bifenilo).</li> </ul> Retardantes de llama para plásticos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• TBBA (Tetrabromo-bifenol-A).</li> <li>• PBB (Polibromobifenilos).</li> <li>• PBDE (Polibromodifenilo éteres).</li> <li>• Clorofluorocarbonados (CFC).</li> </ul>	PCB (Policloruros de bifenilo). Retardantes de llama para plásticos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• TBBA (Tetrabromo-bifenol-A).</li> <li>• PBB (Polibromobifenilos).</li> <li>• PBDE (Polibromodifenilo éteres).</li> <li>• Clorofluorocarbonados (CFC).</li> </ul>
<b>Metales pesados y otros metales</b>	
Arsénico.	Pequeñas cantidades entre los diodos emisores de luz, en los procesadores de las pantallas de cristal líquido LCD.
Bario.	“Getters” en los tubos de rayos catódicos (TRC) en la cámara de ventilación de las pantallas TRC y lámparas fluorescentes.
Berilio.	Cajas de suministro eléctrico (fuentes de poder).
Cadmio.	Baterías recargables de Ni-Cd, capa fluorescente (pantallas TRC), fotocopiadoras, contactos e interruptores y en los tubos catódicos antiguos.

Cromo VI	Discos duros y de almacenamiento de datos.
Plomo.	Pantallas TRC, tarjetas de circuito, cableado y Soldaduras.
Mercurio.	Lámparas fluorescentes en LCD, en algunos interruptores con mercurio (sensores). Los sistemas de iluminación de las pantallas planas, las cafeteras electrónicas con desconexión automática o los despertadores contienen relés de mercurio.
Níquel.	Baterías recargables de Ni-Cd y Ni-Hg y pistola de electrones en los monitores TRC.
Elementos raros (ytrio, europio).	Capa fluorescente (monitores TRC).
Selenio.	Fotocopiadoras antiguas
Sulfuro de zinc.	Interior de monitores TRC, mezclado con metales raros.
Otros: Sustancias radioactivas (americio).	Equipos médicos y detectores de fuego, detectores de humo, entre otros.

Fuente: Instructivo para el manejo de residuo de aparatos eléctricos y electrónicos-RAEE (2013).

## 4.6 Impactos en la gestión de RAEE

### 4.6.1 Impactos ambientales

Los impactos ambientales que se obtienen durante el procesamiento de residuos electrónicos tienen que ver más allá de su disposición insostenible en rellenos sanitarios o basureros, debido a que se consume una cantidad significativa de combustibles fósiles para la fabricación de las nuevas generaciones de estos equipos. Para hacer una computadora se requieren alrededor de 2 toneladas de materias primas, mientras que para fabricar un chip de 2 gramos se requieren 1,6 kilogramos de combustibles fósiles, 72 gramos de químicos y 32 gramos de agua ”*Círculos de Innovación y Tecnología.*

*Universidad de Cádiz, 2010*”. Esto, sin contar con todos los impactos ambientales que se generan en el ciclo de vida de los equipos electrónicos y de su funcionamiento.

En caso de no existir normas y método de reciclaje en los países, los RAEE serían retirados y enterrados en basurales, rellenos sanitarios o, sencillamente, incinerados. De acuerdo con la Asociación de Ciudades y Regiones para el Reciclaje (ACRR, 2011): “La incineración de los residuos electrónicos en la Unión Europea significa una generación de 36 toneladas de mercurio y 16 toneladas de cadmio al año. Debido a las grandes cantidades de plásticos contenidas en los equipos electrónicos, además de las emisiones de metales pesados, a través de la incineración se liberan una serie de gases peligrosos a la atmósfera”.

Mientras que un computador o algún otro tipo de equipo electrónico, permanece almacenado sin sufrir roturas o daños, no representa un riesgo ambiental; si este mismo equipo se desecha y se entierra, fácilmente se puede convertir en una fuente tóxica y liberar sustancias que contaminarían la tierra, el agua de ríos hasta afectar la salud humana.

Estas sustancias tóxicas se denominan *bioacumulativos persistentes*, y se acumulan en el agua y el aire que consumimos a diario, pudiendo ocasionar complicaciones en nuestros organismos.

#### **4.6.2 Impactos económicos**

El impacto económico, a diferencia del ambiental, puede ser positivo. Si recuperamos las partes valiosas de los RAEE que necesitaron grandes cantidades de combustibles fósiles para ser fabricadas, podemos prolongar la vida de un equipo electrónico, reducir el impacto ambiental y el consumo de energía, además de generar empleo, mediante la creación de nuevas empresas. Esto, en conclusión, generaría ingresos económicos importantes, siendo así este negocio muy atractivo para los empresarios que deseen contribuir con el medio ambiente y, al mismo tiempo, generar ingresos de capital.

Si queremos que esta empresa sea sostenible, debemos utilizar procedimientos y métodos viables alineados con la normalización del país.

#### **4.7 Panorama global de los RAEE**

Hoy la fabricación alrededor del mundo de aparatos electrónicos crece a un ritmo jamás registrado en la historia: según cifras de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2012): “El comercio mundial de las TIC alcanzó el 7,7% del producto mundial bruto en 2004, la mayor parte procedente de China<sup>5</sup>. Se estima que en 2006, se vendieron en todo el mundo 230 millones de computadores y mil millones

---

<sup>5</sup> Oecd, OECD Information Technology Outlook. 2004.

de teléfonos celulares, lo que corresponde a 5.848.000 de toneladas<sup>6</sup>. Como consecuencia, los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos son, por mucho, el componente de los residuos de más rápido crecimiento”.

En Europa, los RAEE están en un proceso de crecimiento del 3% al 5% al año, aproximadamente 3 veces más rápido que el total de los residuos totales generados<sup>7</sup>. La cantidad actual de RAEE generados en los 27 países miembros de la Unión Europea (EU27) se estima en 8,7 millones de toneladas al año, mientras que la cantidad recogida y reciclada se estima en solo 2,1 millones de toneladas; es decir, el 25%<sup>8</sup>. Esta estimación incluye todas las categorías de los desechos electrónicos definidas por la legislación europea.

En los EE. UU., menos del 20% de las categorías como televisores, computadores y periféricos, incluidos los teléfonos móviles, fueron separados de las otras corrientes de desechos, para “tratamiento y recuperación posterior”. Esta cifra incluye parte de la exportación de desechos electrónicos a países como India y China. El resto es incinerado, enviado a los rellenos, almacenado, reutilizado o exportado.

En 1994 se estimaba que aproximadamente 20 millones de computadores personales (PC), cerca de 7 millones de toneladas, quedaron obsoletos. Hacia 2004, esa cifra se

---

<sup>6</sup> M. Cobbing, Toxic Tech: Not in our backyard, Uncovering the Hidden Flows of e-Waste. 2008, Greenpeace.

<sup>7</sup> [www.conama.cl/rm/568/article-38368.html](http://www.conama.cl/rm/568/article-38368.html)

<sup>8</sup> J. Huisman, et al., 2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) - Final Report. 2007, Aea Technology United Nations University, Gaiker, Regional Environmental Centre for Central and Eastern Europe, Delft University of Technology, for the European Commission.

había incrementado a más de 100 millones de PC. En cifras totales, cerca de 500 millones de PC alcanzaron el fin de su vida útil entre 1994 y 2004<sup>9</sup>.

En total, el crecimiento de productos electrónicos desechados a escala mundial se calcula entre 20 y 50 millones de toneladas generadas cada año.<sup>10</sup>

#### **4.7.1 Panorama en América Latina**

En América Latina, el reciclaje profesional de RAEE es una actividad relativamente nueva en comparación con los países europeos. En países latinoamericanos como Argentina y Perú, empresas de reciclaje de metales han encontrado el nuevo mercado de reciclaje de RAEE. A pesar de esto, aún se encuentran muy pocas cantidades de materiales reciclados, debido a la normatividad e infraestructura de los países.

En Chile, el reciclaje formal de los RAEE alcanza solo de un 1,5% a un 3% de las cantidades generadas<sup>11</sup>, un porcentaje que es igual o incluso menor en comparación con el de los demás países de la región.

---

<sup>9</sup> J. Puckett and T. Smith, Exporting Harm: The high-tech trashing of Asia. 2002, Silicon Valley Toxics Coalition.

<sup>10</sup> S. Schwarzer, et al., E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use. 2005, Unep.

<sup>11</sup> B. Steubing, e-Waste generation in Chile, situation analysis and estimation of actual and future computer waste quantities using material flow analysis. 2007, Federal Institute of Technology (EPFL) / Federal Institute for Material Testing and Research (EMPA): Lausanne / St.Gallen, Switzerland.

Se estima que en los países de América Latina se están generando aproximadamente 120.000 toneladas al año, una cantidad que se triplicaría hacia 2015<sup>12</sup>.

#### **4.7.2 Situación en Colombia**

A la pregunta sobre si el tema de los residuos electrónicos ya ha alcanzado una masa crítica en América Latina y el Caribe, Ripley<sup>13</sup> responde lo siguiente:

El potencial de LAC (Latin American & Caribbean) para generar cantidades considerables de RAEE ha crecido drásticamente en los últimos años. Las ventas de computadores personales y teléfonos celulares se han disparado. Pero el problema va más allá de computadores y celulares. Una amplia gama de equipos digitales que en los Estados Unidos y Europa ya se dan por sentados, apenas empezaron a conquistar los mercados de LAC. Además se puede observar que los usuarios latinoamericanos ya no se contentan con comprar los modelos de ayer.

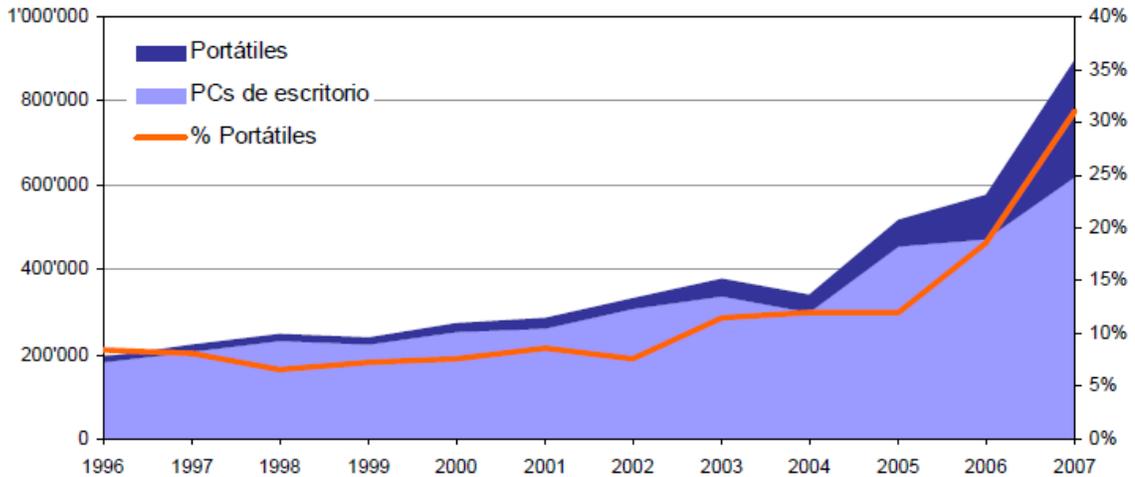
Estas tendencias se pueden ver también en Colombia (Ilustración 1). En los últimos años se han venido disparando los consumos de equipos eléctricos y electrónicos, los cuales en poco tiempo se convertirán en RAEE.

---

<sup>12</sup> H. Boeni, U. Silva, and D. Ott, E-Waste Recycling in Latin America: Overview, Challenges and Potential, in REWAS. 2008: Cancun.

<sup>13</sup> K. Ripley, Reaching critical mass - A movement toward addressing electronic waste in Latin America and the Caribbean has been slowly but steady, as more countries look for a common policy. 2008, Resource Recycling.

**Ilustración 2:** Computadores de escritorio y portátiles vendidos en Colombia entre 1996 y 2007.



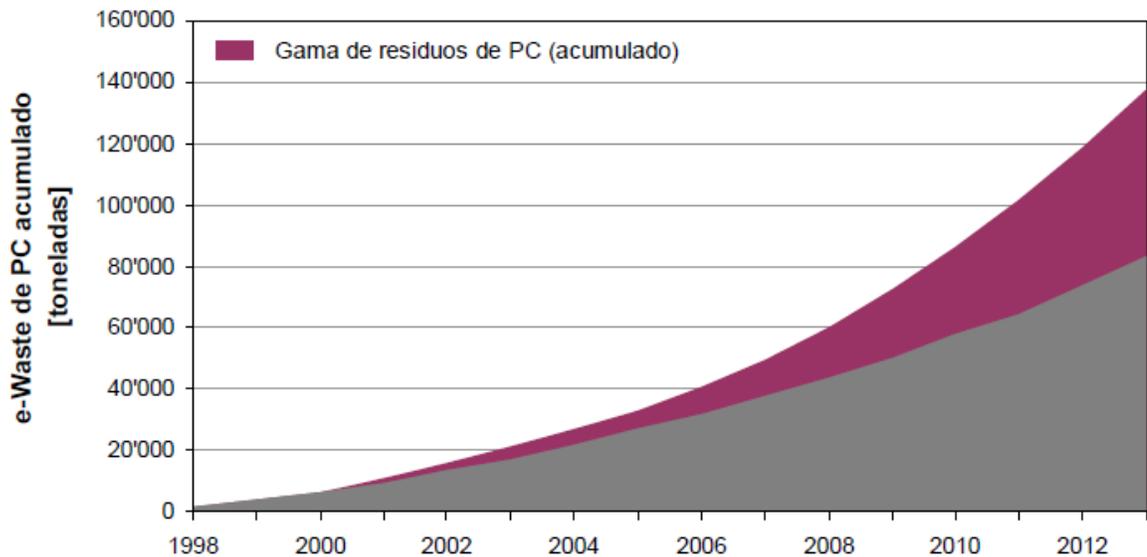
Fuente: IDC Colombia, estimaciones propias (2007).

Entre 2010 y 2014 el país habrá producido cerca de 140.000 toneladas de residuos electrónicos de computadores, el equivalente a 9800 tractomulas cargadas de basura tecnológica, según el Instituto Federal Suizo de Investigación y Prueba de Materiales y Tecnologías, Empa (2008).

Además de los computadores, hay otros aparatos eléctricos y electrónicos, como televisores y celulares, que cuentan con un nivel de penetración bastante elevado y una alta frecuencia de reposición.

Teniendo en cuenta la encuesta del Centro de Investigación de Mercados (CIM)<sup>14</sup>, alrededor del 70% de los usuarios privados donan o venden sus computadores personales obsoletos. El 9% termina en rellenos sanitarios o en manos de un reciclador.

**Ilustración 3:** Residuos de computadores, monitores y periféricos acumulados con proyección hasta 2013.



Fuente: Gestión de Residuos Electrónicos en Colombia Diagnóstico de Computadores y Teléfonos Celulares. (2008).

#### 4.8 Leyes y regulación concerniente a los residuos electrónicos

<sup>14</sup> Cim, Estudio de Hábitos de Uso y Manejo de Aparatos y Equipos Electrónicos y sus Partes. 2008, Centro De Investigación De Mercados.

#### **4.8.1 Convenio de Basilea**

El Convenio de Basilea se fundó en 1989, liderado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), exponiendo la cantidad más grande de acuerdos y normatividades sobre RAEE que se pueda encontrar en el mundo. El Convenio de Basilea cuenta con más de 160 países miembros y, además, guarda la librería más grande y completa en el mundo referente a los residuos eléctricos y electrónicos.

En Argentina, El Salvador y Uruguay se encuentran los centros que representan el convenio de Basilea para la zona de Latinoamérica y el Caribe. Estos centros son los encargados de ayudar y apoyar a los países en desarrollo, para que cumplan con los objetivos pactados en el mismo<sup>15</sup>.

Los temas principales del Convenio de Basilea abarcan la normalización de traslados entre fronteras de materiales y sustancias peligrosas; es decir, que dichas sustancias sean procesadas de forma segura. Esta iniciativa ha ayudado a bajar un poco los traslados de sustancias peligrosas en los países desarrollados; sin embargo, todavía hay una tarea larga por realizar, para que se cumpla en su totalidad.

---

<sup>15</sup> Secretariado del Convenio de Basilea.

#### **4.8.2 Regulación en Europa**

Hoy día las regulaciones y normas más claras referentes a RAEE se aplican en la Unión Europea (UE). Existen regulaciones muy fuertes para el tratamiento de basuras eléctricas y electrónicas y el manejo de sustancias peligrosas; además existen directivas que se encargan de cuidar la capa de ozono y de incentivar programas ecológicos.

El éxito que ha logrado en Europa es debido a que los productores son los directamente responsables del daño que pueda ocasionar el mal manejo de los residuos electrónicos. Esta directriz ayuda a que los productores creen programas ecológicos y cuiden el medio ambiente. Si no se tuvieran estas regulaciones, los mismos productores se encargarían de incinerar los residuos o de enviarlos a países en vía de desarrollo, donde el manejo podría ser peor.

#### **4.8.3 Regulación en Latinoamérica y el Caribe**

La mayoría de los países de América Latina y del Caribe pertenecen al Convenio de Basilea. Sin embargo, el tratamiento de los RAEE sigue siendo incorrecto, debido a la poca normalización en los países y al bajo flujo de información entre gobierno y empresa.

En el año 2006, varios países de América Latina, entre ellos Brasil y Argentina, firmaron un acuerdo para un mejor tratamiento de los RAEE. Al mismo tiempo, varias empresas privadas y gobiernos locales iniciaron campañas con el objetivo de mejorar dichos tratamientos. El objetivo de estos tratados es comenzar con pie derecho a tratar la problemática creciente del mal manejo de residuos electrónicos.

Existen iniciativas, principalmente lideradas por los gobiernos locales, cuyo objetivo primordial es reutilizar los computadores desechados por las grandes empresas, para que se puedan utilizar en colegios y comunidades de bajos ingresos. Canadá fue el primer país en implementar dicho programa, bajo el nombre de computadores para colegios. Este modelo ya ha sido aplicado en la mayoría de países de LAC.

En la siguiente tabla se muestran las organizaciones que se encargan del reacondicionamiento de computadores en Latinoamérica.

**Tabla 5:** Organizaciones representativas en LAC encargas del reacondicionamiento de equipos.

<b>Institución</b>	<b>País</b>
Computer Aid International	Brasil
Computadores para Educar	Colombia
World Computer Exchange WCE	EUA
Fundación Todo Chilenter	EUA
Alameda County Computer Resource Center	EUA
Alameda County Computer Resource Center (ACCRC)	EUA
Computer Aid International	Gran Bretaña

Comité para la Democratización Informática CDI	UK
---	----

Fuente: [http://www.residuoselectronicos.net/archivos/investigaciones/efectosusospreciadosLA C4\\_final-farias.doc](http://www.residuoselectronicos.net/archivos/investigaciones/efectosusospreciadosLA C4_final-farias.doc).

#### **4.8.4 Regulación en Colombia**

Cuando hablamos de reciclaje de basura electrónica en Colombia, encontramos que la mayoría de personas del común no conoce el término, e incluso ocurre lo mismo con algunos expertos en el tema de informática.

En 1998 en Colombia se creó una política para el manejo de residuos, que se fundamentó en la Constitución del país. Esta política abarca principalmente los residuos no peligrosos y sólidos. Luego, en el año 2005, se creó una política ambiental para el tratamiento de desechos peligrosos, con el objetivo de promover el buen manejo de dichos residuos, y así ayudar a mantener bajos los riesgos de contaminación ambiental.

### **5. DEFINICIÓN DEL SISTEMA**

#### **5.1 Antecedentes de la idea de negocio**

Desde que comencé mis estudios en la Universidad EAFIT, decidí emprender un sueño, un proyecto distinto e innovador que estuviera relacionado con temas ambientales y sociales. Un proyecto con estructura de *Social Business*.

Colombia, en especial la ciudad de Cartagena de Indias, no están por fuera de la problemática de la nueva basura del siglo XXI, la basura electrónica. Después de estudiar dicha problemática a fondo, y junto al desafío de crear una nueva industria para Cartagena, salió la idea de hacer un estudio de factibilidad para el montaje de una planta de reciclaje de residuos eléctricos y electrónicos en la ciudad, que pueda contribuir positivamente al medio ambiente y a una mayor equidad social.

## **5.2 Visión propuesta**

E-RECYCLEAN, que es el nombre que llevará nuestra empresa, será reconocida como un modelo de emprendimiento de clase mundial, y su finalidad será la creación de valor ambiental, social y económico. Para lograr esto, seremos líderes en sustentabilidad y reciclaje electrónico en la ciudad de Cartagena, mediante el desarrollo de un modelo de gestión sustentable que permita hacer aportes innovadores en la industria del reciclaje en Colombia.

### **5.3 Misión propuesta**

Tratar apropiadamente todos los residuos electrónicos y eléctricos generados por nuestros clientes. Elaborar soluciones sustentables que puedan ayudar de forma responsable al desarrollo de empresa, y convertirnos en un ejemplo de buenas prácticas, en el entorno nacional.

### **5.4 Valores**

Nuestros empleados se basarán en el respeto al momento de relacionarse con todos los colaboradores y en el trabajo en equipo. Para esto, se brindarán oportunidades en el desarrollo del personal, por medio de condiciones laborales justas y seguras.

Nuestros clientes serán atendidos con actos explícitos y claros, garantizándoles servicios con estándares de clase mundial.

Nuestro entorno será saludable y trabajaremos para mejorar la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras.

## **6. RECURSOS**

### **6.1 Recursos tangibles**

- Bodega zona franca: Mamonal Cartagena.
- Capital humano.
- Canal de transporte y fuente natural de agua: Canal del Dique.
- Capital de trabajo.
- Capital tecnológico.

### **6.2 Recursos intangibles**

- Reconocido sentido de responsabilidad social corporativa.
- Cultura de reciclaje responsable y sostenible.
- Alianzas estratégicas con diversas ONG, gobiernos, transportadores.
- Proveedores de tecnología y pares recicladores de basura electrónica.
- Capital tecnológico.

## **7. PRODUCTOS**

Los RAEE se procesarán en nuestra planta con estándares ambientales de alta calidad.

### **7.1 No ferrosos**

En la planta se recibirá todo tipo de metales no ferrosos, en mayor cantidad en forma de chatarra, para luego ser catalogados, limpiados y, por último, reciclados.

#### **Ilustración 4: Residuos no ferrosos**



Fuente: <http://www.recycla.cl/main/servicio/2>

Entre los residuos no ferrosos podemos encontrar: cobre, aluminio, níquel, zinc, cromo, entre otros. Lo que se obtenga en este proceso se podrá vender en el mercado nacional o se podrá exportar a otros países.

### **7.2 E-waste**

Debido al rápido desarrollo tecnológico que vive el mundo en esta época, cada vez los equipos electrónicos quedan obsoletos de forma más rápida, convirtiéndose así en RAEE que pueden ser contaminantes si no se tratan de forma correcta.

#### **Ilustración 5: Residuos *e-waste***



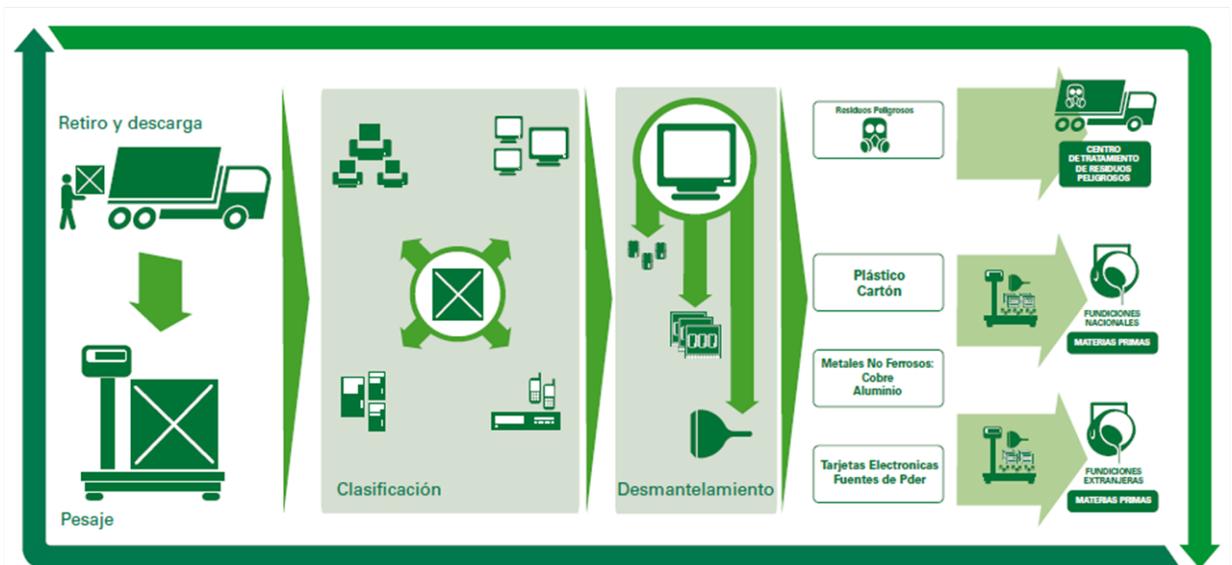
Fuente: <http://www.recycla.cl/main/servicio/15>

En E-RECYCLEAN nos comprometemos a trabajar de forma responsable e integral en el tratamiento de basuras electrónicas (computadores, impresoras, celulares) y de productos de línea blanca (hornos, lavadora, neveras) garantizando la correcta

disposición de estos equipos y utilizando como herramienta las normas establecidas en los estándares internacionales.

## 8. MODELO OPERATIVO

**Ilustración 6:** Proceso de reciclaje



Fuente: Kino-lotería: proceso de reciclaje.

## **8.1 Recepción de los equipos**

La etapa clave y decisiva para un sistema de reciclaje de RAEE es la recolección. Para poder realizar una recolección eficaz se deben utilizar esquemas de recolección accesibles y fáciles para el usuario y se debe recurrir a la divulgación de información a los usuarios de forma coherente y adecuada. Aparte de eso, las experiencias demuestran que la etapa de recolección es la más costosa. Específicamente en el caso de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, que muchas veces pueden ser voluminosos y delicados, lo que resulta en costos representativos que pueden depender principalmente de la distancia, cantidad y calidad de los RAEE.

Además, calcular la capacidad estimada de los aparatos eléctricos y electrónicos recolectados no sería una tarea fácil, debido a las diferencias en la vida útil de los equipos y a la existencia de mercados de segunda, entre otros. La recolección de residuos electrónicos no solo depende de su vida útil; también debemos tener en cuenta la capacidad de almacenamiento en las viviendas. Existen diversas formas de calcular las cantidades de basuras electrónicas generadas por zonas, basadas en estadísticas y estimaciones.



- **Puntos establecidos:** en muchas ocasiones se crean puntos para la entrega o recolección de RAEE.
- **Directa por recicladores de RAEE:** se trata de llevar los residuos directamente a la empresa de reciclaje electrónico. En algunas ocasiones la misma empresa se encarga de recoger los RAEE en los lugares pactados.

## 8.2 Pesaje

Se utilizarán pesómetros calibrados, para llevar un control de peso sobre todos los equipos que entren a la planta.

### Ilustración 8: Pesaje de RAEE



Fuente: <http://www.recilec.com/>

### 8.3 Clasificación por tipo de aparato

El residuo se clasifica teniendo en cuenta su condición. En esta etapa se toma la decisión de cuáles equipos se restauran y cuales se reciclan.

Una vez los equipos en desuso sean entregados, se separan por tipo de aparato, para poderlos almacenar en sus respectivas categorías, y de esa manera se facilita el envío para los procesos posteriores.

#### **Ilustración 9:** Clasificación de RAEE



Fuente: <http://iresiduo.com/noticias/andalucia/12/09/27/recilec-mejora-su-gestion-en-andalucia-oriental-gracias-la-planta-de-loja-18399>

La clasificación y selección de los equipos en desuso se realizará con base en las características físicas que pueden ser determinadas sin encender los equipos; es decir, en esta fase no puede determinarse con seguridad si el equipo es funcionalmente apto para un uso posterior o para que pueda reutilizable.

Algunos criterios permiten establecer de antemano si el equipo cumple con los estándares mínimos que se tienen contemplados:

- **La edad del aparato:** con este criterio se mide el consumo de energía y agua que el aparato realiza, al igual que los riesgos.
- **El tipo y el modelo del aparato:** con este criterio se puede determinar si el equipo se volvió obsoleto por el lanzamiento de tecnologías más nuevas.
- **La demanda de dichos aparatos, según su capacidad, su función y su utilidad:** los aparatos más solicitados por las empresas de economía social son los frigoríficos, los hornos, las lavadoras y los productos de tecnologías de la información y de la comunicación.

- **El estado general del aparato**

De esa manera, se pueden identificar de forma preliminar aquellas unidades que tienen limitaciones en cuanto a la tecnología de sus componentes, su ausencia o el estado en el que se encuentran funcionando. Por lo tanto, se definen las unidades que potencialmente, pueden ser recicladas y las unidades que pueden ser reacondicionadas<sup>16</sup>.

#### **8.4 Almacenamiento**

Los siguientes son requerimientos básicos para las instalaciones de almacenamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos:

- **Protección contra la intemperie:** el almacenamiento debe realizarse a temperatura ambiente y protegido de la intemperie, con el objeto de evitar que agentes contaminantes puedan lixiviar el ambiente debido a los efectos del tiempo, y para permitir el posterior reacondicionamiento o reutilización de los equipos.
- **Pisos:** impermeables, para evitar filtraciones y contaminación de los suelos.

---

<sup>16</sup> ACRR, La Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - Guía dirigida a Autoridades Locales y Regionales. 2003,

- **Capacidad:** adecuada para el manejo de todo el inventario.
- **Protección contra acceso no autorizado:** el desecho electrónico se debe almacenar de manera tal que no se permita el ingreso de personas no autorizadas a las instalaciones, para evitar que se agreguen o sean extraídos equipos en desuso o piezas sin supervisión.
- **Registros:** mantener registros de inventarios, tanto de equipos en desuso enteros, como de piezas recuperadas.
- **Procedimientos:** se deben documentar los procedimientos que se llevan a cabo en el sitio de almacenamiento.
- **Almacenamiento y empaque:** en general, los RAEE se deben almacenar, o sobre estibas, o en cajas de rejillas o de madera, lo que facilita su almacenamiento, carga y transporte hacia procesos posteriores.

### **Ilustración 10: Almacenamiento de RAEE**



Fuente: <http://utreraee.com/node/19>

### **8.5 Desmantelamiento**

En las áreas de desmantelamiento, personal capacitado se encarga de reducir los aparatos a sus componentes básicos, y se reagrupan dependiendo del material del que están hechos.

### **Ilustración 11:** Desmantelamiento de RAEE



Fuente: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=3035>

Una vez desarmados, se clasifican sus componentes y se separan los residuos tóxicos de aquellos que pueden ser exportados. Entre los que pueden exportarse encontramos: aluminio, plástico, acero inoxidable y cobre.

### **8.6 Transporte**

Los procedimientos de transporte de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos dependen del tipo de residuo y nivel de desensamble o reciclaje que se tenga, ya que se pueden transportar equipos enteros en desuso, o sus componentes después de su desensamble. En ambos casos se deben tener en cuenta los requerimientos técnicos que se enuncian a continuación.

### **8.6.1 Condiciones generales para el transporte de RAEE**

- Se debe garantizar siempre la protección contra la intemperie.
- Durante el transporte se debe evitar que las personas no autorizadas tengan acceso a la carga, con el fin de evitar la adición o pérdida de partes o piezas de equipos sin supervisión.
- La carga en el vehículo debe estar correctamente embarcada, para que no ocasione ningún tipo de accidente que pueda afectar a las personas o al medio ambiente.
- Para este fin se recomienda que todo transporte de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de tamaño mediano o pequeño se realice en cajas de madera, de cartón grueso o de rejillas metálicas.
- En caso de transportar los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en estibas, se debe envolver toda la estiba con una película plástica cuando esté cargada.
- Es recomendable no poner más de tres capas de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en las estibas y asegurar que la carga no sobresalga de las cajas.

- Por lo general, no se requieren cartones o espumas entre las capas. Sin embargo, para algunas excepciones se recomienda colocarlos, por ejemplo para el transporte de monitores en desuso.
- En caso de ofrecer los servicios de recolección y transporte de equipos de impresión y fotocopia en desuso, tener un sistema de recolección de derrames de tinta, para evitar contaminación del medio ambiente y de los demás componentes conjuntamente transportados.
- Portar como mínimo dos extintores tipo multipropósito, que sean accesibles en caso de emergencia.

## **8.7 Tratamiento de elementos**

Del proceso de reciclaje se obtienen tres grandes grupos de materiales: plástico, vidrio y metales.

### **8.7.1 Plástico**

Las partes de plástico generalmente se encuentran en carcasas y compartimientos. El reciclaje del plástico obtenido de los equipos electrónicos puede ser más complicado que

el reciclaje de otros materiales, debido a la gran mezcla de componentes y sustancias químicas que contienen, las cuales les dan ciertas propiedades específicas y necesarias para el trabajo de los equipos electrónicos. De esta manera, el objetivo para el reciclaje de estos plásticos está en separar los polímeros del resto de los materiales que fueron agregados para cambiar las propiedades básicas de los mismos.

**Ilustración 12:** Plásticos reciclados



Fuente: <http://renovables.wordpress.com/2010/09/19/ladrillos-de-plastico-reciclado/>



Fuente: <http://www.evom.com.br/plastico-reciclado-com-criatividade>

La mayoría de los recicladores de plástico todavía realizan una clasificación manual. Sin embargo, existen algunas plantas que están empezando a utilizar sistemas automáticos de clasificación, para la identificación de los polímeros.

### **8.7.2 Metales**

Las partes de los equipos electrónicos fabricados a partir de metal pueden ser clasificadas en su mayoría en: ferrosas (acero y hierro) y no ferrosas (aluminio, cobre y otros metales preciosos). Este material es altamente utilizado en la producción de los conocidos como electrodomésticos blancos: lavadoras, cocinas y secadoras, y también en los equipos electrónicos más pequeños, como celulares o computadoras. Los metales pueden ser reciclados un número ilimitado de veces, y su clasificación es bastante

sencilla a través del magnetismo, método que permite separar los materiales ferromagnéticos del resto.

Además de los métodos magnéticos, los metales pueden recuperarse mediante la aplicación de procesos meramente mecánicos, de ser fácilmente identificables, o a través de procesos de triturado o incinerado en fundiciones controladas, cuando están mezclados (por ejemplo en paneles de circuitos impresos).

### **Ilustración 13:** Metales reciclados



Fuente: <http://www.marlex.org/medallas-olimpicas-metales-reciclados/8709/>

### **8.7.3 Vidrio**

La identificación y separación de las partes que contienen vidrios, como los televisores o monitores, es una de las áreas más problemáticas y complicadas del proceso de reciclaje

de componentes electrónicos, ya que contienen sustancias tóxicas y peligrosas que pueden ser transmitidas al medio ambiente, en forma de gases, al momento del desensamblado.

El tubo de rayos catódicos representa la mitad compuesta de un televisor, y se clasifica en vidrio cónico y vidrio de pantalla. El primero está compuesto de bario y estroncio, y el segundo contiene grandes cantidades de plomo, siendo el proceso más complicado separar uno del otro. Para este objetivo, se han probado diversos métodos mecánicos, térmicos y químicos.

Actualmente existen cientos de composiciones diferentes de tubos de rayos catódicos (con y sin plomo) que funcionan con una infinidad de tecnologías. Esta gran variedad de tecnologías y falta de uniformidad hacen que desarrollar una técnica estándar de reciclaje del vidrio contenido en los equipos electrónicos sea prácticamente imposible.

#### **8.7.4 Monitores CRT**

Desensamblar un monitor o un televisor es un proceso bastante complicado, debido a la gran cantidad de plomo y cobre que contienen. Sin embargo, gracias a las experiencias existentes, se puede clasificar este proceso en las siguientes fases.

*Fase 1.* El centro reciclador debe dismantelar la carcasa y clasificar los materiales que se encuentran en las partes exteriores (plásticos, hierro, cables y tarjetas, principalmente). Es muy importante clasificar los plásticos por tipo, tomando en cuenta que cada tipo de plástico tiene su mercado. Por motivos de eficiencia, es más sencillo moler el plástico en pequeñas partes, para que su transporte sea más fácil. En este caso, el centro reciclador requiere de un molino.

*Fase 2.* La segunda fase incluye la separación y clasificación de las partes internas, para que puedan ser reprocesadas y reintroducidas a la cadena productiva. Este es un proceso bastante peligroso de realizarse al aire libre, debido a las altas concentraciones de plomo que tienen los monitores y televisores. Una transmisión de las sustancias peligrosas al medio ambiente puede evitarse utilizando una campana de seguridad, donde el operario esté protegido a través de vidrio acrílico, pudiendo separar y extraer cada componente sin mayor riesgo.

El vidrio que se recupera de este proceso puede ser vendido a empresas productoras y recicladoras que no fabrican envases de comida, además de empresas o fundiciones de plomo, dada su alta concentración en este metal. El cuello del monitor puede ser vendido fácilmente a cualquier fundición que trabaje con cobre, debido a su elevado contenido y fácil separación.

#### **Ilustración 14:** reciclaje monitores CRT



Fuente: <http://www.recyclatec.com/inicio/servicios>

#### **8.7.5 Otros equipos electrónicos**

El desmantelamiento de celulares es relativamente sencillo, debido a la homogeneidad y sencillez de sus partes, en comparación con el de las computadoras. Además, los celulares son productos de mayor calidad y rentabilidad para los recicladores, debido a que la plaqueta o circuito integrado que contiene los metales preciosos abarca un mayor porcentaje de su peso en comparación con el resto de equipos electrónicos. Las partes plásticas de los celulares pueden ser trituradas en un molino, para facilitar el transporte, proceso que además puede resultar conveniente para los fabricantes de los equipos, que muchas veces prefieren su destrucción para que no sean reutilizadas.

En general, el proceso de desmantelamiento incluye el desmontaje y la clasificación de los componentes electrónicos. Se puede decir que el reciclador de equipos electrónicos es un “minero urbano”, que recupera materiales valiosos para su posterior uso, minimizando el impacto al medio ambiente y a la salud de los seres vivos, además de contribuir al desarrollo de la industria y la economía de su ciudad o país.

Posterior al proceso de desmantelamiento sigue la extracción de los materiales de valor. Esta etapa del reciclaje recién está empezando, ya que requiere de tecnología específica y más avanzada, para poder realizarla de una manera segura y ambientalmente sostenible, además de requerir grandes inversiones (aproximadamente de 50 a 60 millones de US\$), que si bien no son prohibitivas para los países de Latinoamérica y el Caribe, no se justifican por la existencia de otros factores, como son los grandes volúmenes de procesamiento necesarios.

## **8.8 Tratamiento de materiales valiosos y tóxicos**

De acuerdo con la Agencia de Protección al Medio Ambiente (EPA) de Estados Unidos, más del 95% de los equipos electrónicos pueden ser reciclados. El aspecto clave es encontrar un mercado para los diferentes materiales; inclusive, elementos potencialmente peligrosos como el cobre, el selenio y el arsénico, entre otros, tienen un valor económico que no puede ser despreciado. El restante 5% de los materiales está compuesto por sustancias peligrosas o riesgosas, las cuales deben ser manipuladas y

tratadas de manera diferenciada. Es altamente recomendable que todo potencial reciclador revise e investigue la regulación existente en este campo y trabaje dentro del marco de la misma.

**Tabla 6:** Tabla general con los contenidos de los materiales encontrados en los equipos electrónicos

Categoría	Metales Ferrosos %	Metales no Ferrosos %	Vidrio %	Plásticos %	Otros %
Grandes Electrodomésticos	61	7	3	9	21
Pequeños Electrodomésticos	19	1	0	48	32
Equipo Tecnologías Información	43	0	4	30	20
Telecomunicación	13	7	0	74	6
TV, radio, etc.	11	2	35	31	22
Lámparas incandescentes	2	2	89	3	3

Fuente: Consejo Industrial para el Reciclaje de Equipamiento Electrónico - *Industry Council for Electronic Equipment Recycling (ICER)* (2000).

## 8.9 Empaquetado de equipos electrónicos

Para el empaquetado se utilizará como guía el método elaborado por la empresa 5r Processors Ltd., de Estados Unidos, la cual establece ciertas condiciones para el empaquetado y a la vez el transporte de los equipos electrónicos<sup>17</sup>, que se exponen a continuación.

<sup>17</sup> <http://www.5rprocessors.com>

### **8.9.1 Procedimientos generales de empaquetado y preparación del equipo electrónico y otros materiales para el transporte**

- Todos los materiales deben ser envueltos con un material de empaque u ordenados en cajas, ya que deberán enviarse en *pallets*<sup>18</sup>, *tarima o paleta* no más grandes de 42 x 42 pulgadas.
- Para este fin, se pueden utilizar cajas Gaylord, las cuales estarán contenidas en *pallets* de acuerdo con su volumen.
- Todas las cajas sueltas que se pongan en los *pallets* deben ser envueltas.
- Todos los *pallets* con equipo apilado deben tener una capa inferior de cartón.
- No se debe permitir que el equipo o las cajas sobresalgan del *pallet*.

### **8.9.2 Empacado y almacenamiento de monitores**

- Se debe colocar una capa de cartón en la parte inferior del *pallet*, seguida de una capa de espuma o material para empaque con burbujas.

---

<sup>18</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Pallet>

- Primera capa de monitores: coloque los monitores con la pantalla hacia abajo, entrando en contacto con la capa de espuma o burbujas. Podrán colocarse de 6 a 9 monitores de 14" o 15" por capa, o menos, si se empacan monitores de 17", sin dejar en ningún momento que la carga sobresalga del *pallet*.
- Coloque otra capa de cartón, seguida de una capa de espuma o material para envolver con burbujas.
- Segunda capa de monitores: repita el mismo procedimiento que en la primera capa.
- Coloque otra capa de cartón, seguida de una capa de espuma o material para envolver con burbujas.
- Tercera capa de monitores: repita el mismo procedimiento que en la primera y segunda capa. Importante: de utilizarse un montacargas para cargar los monitores en un camión con un sistema de elevamiento de puerta trasera, no aplique más de 3 capas. En caso contrario, podría acomodar hasta 4 capas.
- Posteriormente, envuelva todas las capas para su carga en el *pallet*.

- Nota: en lo posible, todos los cables de los monitores deberán ser removidos, para evitar daños. Para este efecto, quizá se necesite desatornillar los conectores, los mismos que deberán ser empacados con los periféricos y bases. Las bases de los monitores serán removidas solo de ser absolutamente necesario. De removerse las bases, y para evitar confusiones, las mismas deberán enviarse en la misma caja que sus monitores; además, los tornillos deberán ser reinsertados en su lugar original antes del envío.

### **8.9.3 Computadoras (*Central Processing Units/CPUs*)**

- Se podrá acomodar todo tipo de computadoras en un *pallet*, para su posterior envío.
- No se requieren cartones entre capas.
- Los *pallets* no deberán estar cargados con equipos electrónicos a una altura superior a los 5 pies.
- Se deberá envolver todo el *pallet* cuando esté cargado.

#### **8.9.4 Impresoras, faxes, fotocopiadoras y otros equipos**

- De ser posible, las impresoras y otros equipos deberán ser empaquetados individualmente.
- Se colocarán los equipos más pesados en la base del *pallet*.
- Si no se dispone de cajas, se deberá colocar una capa de cartón o materia de empaque entre las impresoras y demás equipos de impresión.

#### **8.9.5. Periféricos**

- Coloque en cajas los teclados, ratones, audífonos, micrófonos y otros accesorios y periféricos.
- Apile las cajas en *pallets* y envuélvalas.

## **9. PROCESO DE RECICLAJE**

El reciclaje de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se puede hacer de manera manual, mecánica o combinando ambas técnicas.

El proceso para el tratamiento de RAEE se clasifica en fundición, refinación térmica e incineración.

**Fundición:** es la fundición de los metales ferrosos.

**Refinación térmica y química:** es cuando recuperamos los metales no ferrosos de las tarjetas de circuito, lo cual se realiza por medio de procesos químicos o térmicos.

**Incineración:** cuando los residuos no son de valor, se incineran de forma controlada y bajos los estándares, de tal forma que no contaminen el medio ambiente.

### **9.1 Desensamble**

El desensamble, como su nombre lo indica, consiste en separar los principales componentes que conforman los RAEE o en el desensamble de los mismos en todos sus componentes y materiales, los cuales serán clasificados de forma general.

En el contexto colombiano, el desensamble —sea manual o mecánico— puede ser realizado básicamente por los siguientes actores:

**Centros de desensamble:** se refiere al desensamble manual llevado a cabo en instalaciones que cuentan con la tecnología y los procesos diseñados para tal fin.

**Empresas de reciclaje:** se refiere a que la empresa de reciclaje tiene su propia cadena de desensamble, manual o mecánica.

## **9.2 Desensamble mecánico (trituration)**

Por lo general, en los países desarrollados se utiliza el desensamble mecánico. Al inicio se realiza una descontaminación manual, para luego continuar con el acondicionamiento para los siguientes procesos, como separación y trituración.

La trituración se realiza en trituradoras especializadas, en cuyo resultado se encontrarán fragmentos de materiales que serán separados en diferentes fracciones que luego se pueden comercializar.

Los plásticos son triturados y granulados en otra línea de proceso.

Para separar los componentes de los cables, se utilizan equipos especiales como trituradoras o separadoras de cable.

Lo monitores o equipos que contengan aceites o líquidos se deben procesar separados del resto de los equipos.

**Ilustración 15:** Trituradora de cadena para los RAEE.



Fuente: Global Electric Electronic Processing GEEP.

### **9.3 Desensamble manual**

En los países desarrollados, por lo general el desensamble se realiza de forma mecánica, y utilizan tecnología de punta; sin embargo, en varias partes del proceso se necesita la inclusión del desensamble manual.

En los países emergentes, el desensamble manual sigue siendo válido y recomendable, debido a que por medio de este se puede generar empleo a mano de obra no calificada.

Si lo que se quiere es recuperar materiales para ser reutilizados, lo mejor es utilizar el desensamble manual, ya que de esta forma es más fácil identificar los componentes y se consume menos energía.

**Ilustración 16:** Computador de escritorio y sus principales componentes.



Fuente: Instituto Federal Suizo de la Prueba e Investigación de Materiales y Tecnologías, EMPA.

Es necesario utilizar procesos estandarizados para efectuar el desensamble de los equipos, para asegurar la buena separación de materiales y para su posterior disposición.

En general, primero se debe desensamblar la carcasa, o cubierta plástica, desatornillándola, y a continuación clasificar los materiales que se encuentran en las partes exteriores. Se separan las cubiertas plásticas de los televisores y de los monitores que contienen retardantes de llama, los plásticos, los cables, las tarjetas de circuito

impresas (*printed writing board PWB*), el vidrio y los metales ferrosos de los metales no ferrosos.

Como segundo paso, se extraen las materias primas reciclables; dentro de los materiales aprovechables se encuentran: componentes eléctricos, electrónicos y electromecánicos, plásticos y metales ferrosos y no ferrosos como cobre y aluminio.

Posteriormente, al proceso de desensamble le sigue la extracción de los materiales de valor, como oro (de los conectores), níquel, cobre, hierro, aluminio e imanes permanentes, que vale la pena recuperar como recursos secundarios.

Esta etapa del reciclaje requiere de tecnología específica y más avanzada, para poder realizarla de una manera segura y ambientalmente sostenible; además requiere de grandes inversiones. También se pueden separar componentes aptos para ser reutilizados; los componentes no peligrosos y no aprovechables deben pasar a disposición final.

### **9.3.1 Lineamientos para las instalaciones de desensamble manual**

Las instalaciones para el desensamble de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos contarán con personal capacitado y entrenado correctamente, y con todas las condiciones de seguridad necesarias para disminuir los riesgos a los trabajadores. Además, la

infraestructura del centro de desensamble estará diseñada para prevenir toda clase de contaminación y para poder reaccionar ante cualquier situación de emergencia. Para estos fines, se tendrán en cuenta los siguientes requisitos:

- Techo para la conservación de los equipos electrónicos en desuso. Los RAEE no deben exponerse, ni a la humedad, ni a la luz solar directa, ni a temperaturas altas, en particular cuando los equipos van a ser reacondicionados o reutilizados.
- Extractores, para la evacuación de emisiones.
- Piso de concreto o piso industrial, para realizar más fácilmente la limpieza de polvo o de cualquier otra sustancia.
- Rampas de acceso para cargue y descargue de los equipos en desuso y materiales.
- Detectores de humo y extintores, para velar por la seguridad de los operarios, equipos electrónicos en desuso y las instalaciones de la planta, así como para prevenir el daño al medio ambiente, en caso de presentarse cualquier eventualidad.

- Los almacenes deben estar adecuados para llevar a cabo el inventario de material procesado y sin procesar. Se debe contar con las balanzas de pesaje apropiadas.
- Las instalaciones que utilizan calor para ablandar la soldadura o que trituran varios componentes de los RAEE necesitan diseñar sus operaciones para controlar emisiones atmosféricas.
- Lugar para identificar, manejar y almacenar correctamente los componentes peligrosos que se extraen de algunos residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en desuso durante el desensamble.
- Alarmas de seguridad.
- Rutas de evacuación y señalización de espacios.

### **9.3.2 Herramientas y equipos auxiliares**

Si bien el desensamble y otros procedimientos que se llevan a cabo en los centros de reciclaje de América Latina y el Caribe son principalmente manuales, se requieren equipos de apoyo, los cuales son descritos a continuación:

- Carga y descarga: un montacargas es la mejor opción para trabajar con estibas y realizar la carga y descarga de los camiones.
- Molino: el molino se utiliza para la trituración de las partes de plástico de los RAEE. Este proceso facilita y reduce el volumen de los materiales para el transporte.
- Herramientas: destornilladores, alicates, punzones, estiletes, martillos, etc., son de vital importancia para el desensamble de las piezas (Ilustración 39).
- Destornilladores eléctricos: para destornillar carcasas y componentes y para la destrucción de la información contenida en los discos duros.
- Pequeños contenedores, cajas y estibas: para el almacenamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en desuso, antes, durante y después del proceso de desensamble y para su posterior transporte.

### **9.3.3 Protección del trabajador**

Para garantizar la seguridad del trabajador se utilizarán los siguientes utensilios:

- **Guantes resistentes a los cortes:** un operario que trabaja en el desensamble de los componentes y partes electrónicas debe protegerse contra cortes y astillas.



Fuente: <http://bogotacity.olx.com.co/favricante-de-guantes-industriales-iid-21172803>

- **Lentes de seguridad:** cuando se trabaja en el triturado de partes o, simplemente, en el proceso de desensamble, es muy importante que el operario utilice lentes de protección, para evitar que cualquier partícula entre en sus ojos.



Fuente: <http://www.yokointernational.com/GAFAS-DE-SEGURIDAD-CON-LENESDE-POLICARBONATO-Ref-389>

- **Máscaras o respiradores:** serán necesarios cuando exista exposición al polvo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Durante la trituración de residuos electrónicos es inevitable la generación de polvo que contiene partículas de metales, y los trabajadores podrían correr el riesgo de inhalarlos.



Fuente: <http://www.thebody.com/content/art52624.html>

- **Protectores de oídos:** para usarse en caso de que los sonidos emitidos por una máquina o por simple aplicación mecánica (como golpes con martillos) superen el nivel establecido en las normas de seguridad.



Fuente: <http://tumayorferretero.net/protector-de-oido-/769-protectores-de-oidos-sanifer-.html>

## **9.4 Fundición**

Se refiere al reciclaje de metales ferrosos y no ferrosos, a través de procesos térmicos; es llamado también pirometalurgia. La fundición es el tratamiento térmico de minerales a través calentamiento, y puede ser oxigenada o no.

## **9.5 Refinación térmica y química**

La refinación se realiza cuando separamos los metales preciosos de otros metales. Este proceso de refinación es complejo y costoso.

Para separar los metales preciosos, se manejan procesos como la hidrólisis o la pirolisis.

En Latinoamérica, el desensamble por lo general se realiza de forma manual. La siguiente tabla muestra algunas refinadoras que recuperan metales preciosos de los componentes de los RAEE.

**Tabla 7:** Panorama de algunas refinerías que trabajan con RAEE

<b>Nombre</b>	<b>País</b>	<b>Descripción</b>
Umicore <a href="http://www.umicore.com">www.umicore.com</a>	Bélgica.	Umicore es un grupo empresarial de tecnología de materiales. Sus actividades se centran en cuatro áreas de negocio: materiales avanzados, productos de metales preciosos y catalizadores, metales preciosos y servicios de especialidades de zinc.
Boliden <a href="http://www.boliden.se">www.boliden.se</a>	Suecia.	Boliden es una de las principales empresas europeas de metales. Los principales metales son el zinc y el cobre. Las operaciones se llevan a cabo en tres áreas de negocio: mercadeo, fundiciones y minas.
Norrddeutsche Affinerie AG <a href="http://www.na-ag.com">www.na-ag.com</a>	Alemania.	El Grupo de NA es el mayor productor de cobre en Europa y es el líder mundial en el reciclaje de cobre. Producen alrededor de 1 millón de toneladas de cátodos de cobre y más de 1,2 millones de toneladas de productos de cobre cada año.
Noranda – Xstrata <a href="http://www.xstrata.com">www.xstrata.com</a>	Canadá.	Xstrata es un grupo minero diversificado, cuyas empresas mantienen una significativa posición en siete importantes mercados internacionales de productos básicos: cobre, carbón de coque, carbón térmico, ferrocromo, níquel, vanadio y zinc, con un creciente grupo de platino, exposiciones adicionales de oro, cobalto, plomo y plata, e instalaciones de reciclaje.
SIPI Metals Corp. <a href="http://www.sipimetals.com">www.sipimetals.com</a>	EE. UU.	SIPI Metales Corp. es un refinador de metales preciosos y fabricante de aleaciones de cobre. Su interés está en el refinado de metales preciosos de desechos generados en la electrónica, química, fotografía y las industrias aeroespaciales.
Colt Refining Inc. <a href="http://www.coltrefining.com">www.coltrefining.com</a>	EE. UU.	Colt Refining es una empresa que ofrece los servicios de refinería química y recuperación de metales preciosos.
WC Heraeus GMBH <a href="http://www.heraeus.com">www.heraeus.com</a>	Alemania.	La actividad principal de WC Heraeus GMBH es la recuperación de metales preciosos como oro, plata, metales del grupo platino, paladio, iridio, osmio, rodio, rutenio y de metales especiales (tales como tántalo y berilio).

Fuente: Lineamientos técnicos para el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (2010).

## **9.6 Incineración**

La incineración se realiza principalmente con el objetivo de recuperar la energía.

Teniendo en cuenta lo anterior, el incinerador debe cumplir con la normatividad ambiental vigente en la materia.

Así mismo, cuando los RAEE se incineran, la mayor parte del plomo que contienen se transfiere a la fracción de la escoria. Es por esto que las escorias deben ser tratadas de una forma ambientalmente adecuada.

## **9.7 Disposición final**

La disposición final de los materiales no aprovechables extraídos de los RAEE puede ser a rellenos sanitarios o rellenos de seguridad.

## **10. MODELO FINANCIERO**

La ecuación económica en el negocio del reciclaje electrónico dependerá de variables como aprovisionamiento, almacenamiento, desmantelamiento, clasificación, valorización, empaquetado y transporte de los componentes y de los materiales

clasificados, acompañados de un factor externo sumamente importante: el precio internacional de las materias primas (metales, plásticos, vidrios, etc.).

Al inicio, la mayor parte del reciclaje electrónico será realizado manualmente; por lo tanto, los costos de mano de obra son también una variable clave en la ecuación, sin mencionar la inversión necesaria en la adquisición del terreno o el espacio físico para las instalaciones de la planta. Otros costos como la capacitación, el *marketing*, la electricidad, el agua y los *overheads* (o gastos generales), también deberán ser considerados.

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)<sup>19</sup>, en Colombia, al menos el 45% de los 44 millones de habitantes que tiene el país pertenece a los estratos 4, 5 y 6, los cuales son los estratos de interés para la planta de reciclaje electrónico, debido a su capacidad de adquisición de equipos eléctricos y electrónicos.

Por otro lado, si la brecha digital existente entre Colombia y los países europeos con plantas de reciclaje electrónico se calculara a partir del número de computadores por cada 100 habitantes (64,15 en países europeos contra 5,53 en Colombia)<sup>20</sup>, podría concluirse que en Colombia hay 11,6 veces menos equipos electrónicos que en los países europeos (resultado de dividir 64,15 entre 5,53). Desde este punto de vista, si en

---

<sup>19</sup> Fuente: DANE. Investigación Socioeconómica por Estratos. 2005. <http://www.dane.gov.co>

<sup>20</sup> Fuente: NACIONES UNIDAS. Indicadores de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. División de Estadística de Naciones Unidas. 2004. [http://millenniumindicators.un.org/unsd/mispa/mi\\_series\\_results.aspx?rowId=60](http://millenniumindicators.un.org/unsd/mispa/mi_series_results.aspx?rowId=60)

los países europeos las plantas de reciclaje electrónico recolectan por habitante cuatro (4) kilogramos anuales<sup>21</sup>, en Colombia se recolectarían 0,0344 kilogramos en el mismo período.

Si se multiplican los kilogramos anuales por el número de habitantes con capacidad de compra de equipos eléctricos y electrónicos, resultaría que en el país existe un potencial de RAEE de al menos 6,5 millones de kilos anuales que puede ser utilizado en labores de reciclaje electrónico.

De acuerdo con la capacidad que se planearía instalar, la futura planta de reciclaje electrónico en Cartagena de Indias podría procesar la basura electrónica producida por el 80% de la población de la ciudad correspondiente a los estratos 3, 4, 5 y 6, además de la basura electrónica entregada por el sector industrial de la zona, lo cual podría generar ventas superiores a los 80 millones de pesos anuales.

## **10.1 Costos**

- Precio de las materias primas (residuos electrónicos) y logística: los costos que representa la compra de los residuos o componentes electrónicos pueden variar de un proveedor a otro. Si se trabaja con donaciones de organizaciones internacionales, los mismos pueden variar de 0 a 250 US\$ la tonelada. Si se

---

<sup>21</sup> Sacado de ACCR (ACOSICACIÓN DE CIUDADES Y REGIONES PARA EL RECICLAJE. La Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Bruselas – Bélgica. 2005

compra localmente, los costos variarán de acuerdo con el apoyo de los gobiernos, las ONG y la concientización del público en general, que podrán donar sus equipos y hasta cubrir parte de los costos de transporte, pudiendo oscilar entre los 60 y los 100 US\$/ton. Si se habla de transporte y logística, estos aspectos representarán de un 30% a un 50% del total de los costos del centro de reciclaje.

- Clasificación, desmantelamiento y empaquetado: estas actividades se realizarán manualmente, debido principalmente a los bajos costos de mano de obra y a la necesidad de generar de fuentes de empleo. Estos costos representarán del 25% al 35% de la totalidad de los costos del centro de reciclaje.
- Costos de exportación: estos costos representan la etapa final del proceso de reciclaje. De venderse internacionalmente a empresas de reciclaje o fundiciones, los costos de transporte, manipuleo, permisos e impuestos pueden ser significativos, pudiendo representar aproximadamente el 20% del total de los costos del proceso de reciclaje electrónicos.
- Costos de capital: los costos de terreno, infraestructura, máquinas, equipo, medios de transporte, equipo de seguridad industrial y protección ambiental, entre otros, son las mayores barreras de entrada al sector, ya que son relativamente elevados si se los compara con los de otras industrias, como el reacondicionamiento.

- Costos variables: agua, luz, mantenimiento y otros costos similares. Estos representarían entre el 8% y el 15% del total de costos del centro de reciclaje.

## **10.2 Ingresos**

El propósito esencial del reciclaje de equipos electrónicos es extraer las materias primas para que puedan ser reutilizadas en nuevos equipos o aplicaciones. A continuación se detallan los componentes y materiales más comunes que representan un ingreso para el centro de reciclaje:

- Tarjetas madre, circuitos integrados de primera calidad y otros componentes que contienen los metales preciosos: representan la mayor fuente de ingreso para un centro de reciclaje de equipos electrónicos. Estos serán vendidos a organizaciones internacionales (ya que tienen la tecnología de recuperar los metales preciosos de una manera eficiente, rentable y ambientalmente sostenible) y pueden variar en precio de 2500 US\$/ton a 3500 US\$/ton.
- Tarjetas y plaquetas de menor valor: la concentración de los metales preciosos en las mismas es menor que las primeras, pero pueden representar un ingreso de 1000 US\$/ton a 1600 US\$/ton.

- Plástico: los ingresos varían de acuerdo con el tipo de plástico recuperado. Estos pueden variar de 500 US\$/ton a 800 US\$/ton.
- Vidrio: dependiendo del tipo de aparato electrónico, el vidrio puede contener grandes concentraciones de plomo y fósforo, razón por la cual es más difícil encontrar un mercado estable para este material, cuyo precio está alrededor de los 100 US\$/ton.
- Acero y hierro: las partes electrónicas pueden contener grandes cantidades de hierro o acero, las cuales tienen un precio de mercado entre los 250 US\$/ton a 350 US\$ ton.
- Otros materiales: como metales, conectores, cartones, papel, etc., que pueden ser vendidos en los mercados locales, también representan una fuente de ingreso.

### **10.3 Financiación**

La inversión inicial requerida asciende a \$ 310.000.000 de pesos colombianos. De esta suma se requerirá una financiación del 90%. No obstante ser una tasa significativa, por causa de su naturaleza e impacto socio ambiental, es posible encontrar múltiples fuentes

de financiación entre gobiernos, instituciones sin ánimo de lucro y fabricantes de tecnología que requieran contrarrestar su impacto negativo en el medio ambiente, así como entre la comunidad internacional, por causa de su labor operativa.

Invertir en tecnología ambientalmente sostenible se ha convertido en una tendencia muy popular en los últimos años. En Latinoamérica existen un gran número de organizaciones que operan y que actualmente se encuentran desarrollando “infraestructura verde”, a lo largo de la región. A continuación, se presenta una serie de organizaciones que podrían estar interesadas en apoyar la creación de un centro de reciclaje.

*Global Environment Facility (GEF)*: es una organización financieramente independiente, que otorga préstamos para el desarrollo de proyectos en beneficio de la conservación del medio ambiente y de la promoción de programas sostenibles en comunidades de países en vías de desarrollo.

Desde 1991, el GEF ha financiado 6,2 billones de US\$ en donaciones, con el fin de apoyar el desarrollo de más de 1800 proyectos que producen un beneficio local en 140 países en vías de desarrollo. Los fondos de GEF son obtenidos de países donantes y, en el año 2002 prometieron que entre ese año y 2006 se realizaría una donación de más de 3 billones de US\$.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> <http://www.thegef.org/gef/>

*INSME International Network of SME's*: la Red Internacional para Pequeñas y Medianas Empresas (INSME) es una organización sin fines de lucro abierta a la membresía internacional. Su misión es estimular la cooperación transnacional y entre las sociedades privadas y públicas, en el campo de la innovación tecnológica y su transferencia a las pymes (pequeñas y medianas empresas)<sup>23</sup>.

*World Resources Institute (WRI)*: el Instituto Mundial de Recursos es una iniciativa medioambiental que va más allá de la investigación, y busca maneras prácticas de proteger la tierra y mejorar la calidad de vida de las personas. Su misión es promover que la sociedad civil viva de una manera sostenible, protegiendo el medio ambiente y la vida de las generaciones actuales y de las futuras.<sup>24</sup>

*The Lemelson Foundation*: la Fundación Lemelson es una organización privada creada por Jerome Lemelson, uno de los inventores más reconocidos de los EE. UU., y su familia. Utiliza sus recursos para inspirar, promover y reconocer inventores, innovadores y emprendedores que hacen énfasis en el desarrollo de la innovación sostenible.<sup>25</sup>

---

<sup>23</sup> <http://www.insme.org/>

<sup>24</sup> <http://www.wri.org>

<sup>25</sup> <http://www.lemelson.org>

## CONCLUSIONES

Desde los pequeños centros de reacondicionamiento hasta los avances mostrados e implementados por los centros de reciclaje más importantes del mundo se puede ver cómo la gestión de los residuos electrónicos ha prosperado y continúa haciéndolo en Latinoamérica y el Caribe. Pequeñas, medianas y grandes empresas encuentran la manera de obtener utilidades del tratamiento de los residuos electrónicos, teniendo así un impacto significativamente positivo en el medio ambiente y en la salud de los habitantes del planeta.

La mayoría de iniciativas de reciclaje electrónico en el pasado fueron implementadas por la decisión y emprendimiento de empresas privadas, de ONG y de organismos internacionales, sin la asistencia o ayuda de los gobiernos municipales la mayor parte de las veces. Para que esta industria pueda seguir prosperando, se necesita establecer alianzas estratégicas con comunidades, gobiernos, empresas locales e internacionales, y hasta medios de comunicación, para asegurar un mercado estable tanto para el aprovisionamiento de materia prima como para la venta de productos terminados, además de elevar la concientización de la gente, haciéndola partícipe de la gestión de los residuos electrónicos.

Para Colombia, la oportunidad de implementar una planta de reciclaje de basura electrónica está dada, ya incluso se registran movimientos importantes del Gobierno y la empresa privada, como la implementación de leyes para el fortalecimiento de la gestión ambiental y la disposición de las empresas a mejorar su sentido de responsabilidad socio ambiental. Sin embargo, se requiere de más políticas y de programas más agresivos en el sector industrial, que permitan sostener la rentabilidad de la empresa en el futuro.

En la costa norte del país existen ventajas comparativas que crean un ambiente favorable para la implementación y el desarrollo de una planta de reciclaje electrónico, en especial en la ciudad de Cartagena, debido a su posición privilegiada frente al principal productor de basura electrónica: Estados Unidos.

Se puede decir que el reciclaje electrónico es un negocio altamente atractivo, con un mercado en plena expansión y con grandes beneficios para países en vías de desarrollo como Colombia. Sin embargo, se requiere de la participación y el compromiso de los centros educativos, las empresas y, en general, de los ciudadanos, para la implementación de soluciones sostenibles.

## BIBLIOGRAFÍA

- Manejo de los RAEE a través del sector informal en Bogotá, Cali y Barranquilla, Report, 2010, EMPA-CNPMLTA Uribe, L.; Rodríguez, S.; Hernández, C.; Ott, D.  
Link: [http://raee.org.co/Manejo\\_RAEE\\_SectorInformal\\_BOG\\_CAL\\_BQL](http://raee.org.co/Manejo_RAEE_SectorInformal_BOG_CAL_BQL)
- Strategically important metals, Report, 2011, House of Commons, House of Commons, Science and Technology Committee.  
Link:  
<http://www.publications.parliament.uk/pa/cm201012/cmselect/cmsctech/726/726.pdf>
- International Cooperation for Metal Recycling From Waste Electrical and Electronic Equipment, Journal Article: Journal of Industrial Ecology, 2011, Manhart, A.  
Link:  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.15309290.2010.00307.x/abstract?systemMessage=Wiley+Online+Library+will+be+disrupted+4+June+from+10-12+BST+for+monthly+maintenance>
- Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment, Journal Article; Waste Management, 2011, Tsydenova, O, Bengtsson M.  
Link: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10004393>

- Gestión de residuos electrónicos en Colombia, diagnóstico de computadores y teléfonos celulares, 2008, informe, Daniel Ott, Empa. *Colombia. Swiss e-Waste Programme*. Link:-[http://ewasteguide.info/files/Ott\\_2008\\_Empa-CNPMLTA.pdf](http://ewasteguide.info/files/Ott_2008_Empa-CNPMLTA.pdf)
- Volume II: E-waste Management Manual, 2007, United Nations Environmental Programme Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre Osaka/Shiga  
Link:  
[http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/EWasteManual\\_Vol2.pdf](http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/EWasteManual_Vol2.pdf)
- Directiva 2002/96/EC de la Unión Europea, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (2003).  
Link:[http://www.uc3m.es/portal/page/portal/informatica/Reciclaje\\_Informatico/dir2002\\_96.pdf](http://www.uc3m.es/portal/page/portal/informatica/Reciclaje_Informatico/dir2002_96.pdf)
- SWICO Recycling. Asociación Suiza de la Tecnología de Información y Telecomunicación.  
Link: <http://www.rezagos.com/downloads/Informe-RAEE-SUIZA.pdf>
- Instructivo para el manejo de residuo de aparatos eléctricos y electrónicos-RAEE (2013).  
Link:[http://intranetsdis.integracionsocial.gov.co/anexos/documentos/3.4\\_proc\\_adminis\\_gestion\\_bienes\\_servicios/04\\_instructivo\\_raees.pdf](http://intranetsdis.integracionsocial.gov.co/anexos/documentos/3.4_proc_adminis_gestion_bienes_servicios/04_instructivo_raees.pdf)
- La gestión de los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos – Avances en Colombia (2008).  
Link:[http://ewasteguide.info/files/Ott\\_Avances%20en%20Colombia\\_RESPEL\\_Nov20\\_08.pdf](http://ewasteguide.info/files/Ott_Avances%20en%20Colombia_RESPEL_Nov20_08.pdf)

- Gestión de Residuos Electrónicos en Colombia - Diagnóstico de Computadores y Teléfonos Celulares (2008).  
Link: [http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/080331\\_EMPA-CNPMLTA\\_Diagnostico%20e-waste%20Colombia.pdf](http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/080331_EMPA-CNPMLTA_Diagnostico%20e-waste%20Colombia.pdf)
- Adaptación propia de ACRR, La Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos - Guía dirigida a Autoridades Locales y Regionales. 2003.  
Link: [http://www.residuoselectronicos.net/wpcontent/uploads/2012/03/Guia\\_RA\\_EE\\_MADS\\_2011-reducida.pdf](http://www.residuoselectronicos.net/wpcontent/uploads/2012/03/Guia_RA_EE_MADS_2011-reducida.pdf)
- Archivo - Disminución de la brecha digital a través del reacondicionamiento de computadores.  
Link: [http://www.residuoselectronicos.net/archivos/investigaciones/efectosusospcrecicladosLAC4\\_final-farias.doc](http://www.residuoselectronicos.net/archivos/investigaciones/efectosusospcrecicladosLAC4_final-farias.doc)
- Lineamientos técnicos para el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (2010).  
Link: [http://www.residuoselectronicos.net/wpcontent/uploads/2012/03/Guia\\_RA\\_EE\\_MADS\\_2011-reducida.pdf](http://www.residuoselectronicos.net/wpcontent/uploads/2012/03/Guia_RA_EE_MADS_2011-reducida.pdf)

### **Páginas web**

- Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Colombia:  
<http://www.raee.org.co>
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia:

<http://www.minambiente.gov.co>

- Waste Electrical and Electronic Equipment world:  
<http://www.ewasteguide.info>
- Plataforma Regional de Residuos Electrónicos en Latinoamérica y el Caribe:  
<http://www.residuoselectronicos.net/>
- Programa del Ministerio de las Tecnologías de Información y las Comunicaciones:  
<http://www.computadoresparaeducar.gov.co>
- Greenpeace en Colombia:  
<http://greenpeacecolombia.org/>
- Desechos medio informativo Colombia:  
<http://www.desechos.net/>
- Empa, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology:  
<http://www.empa.ch/>
- Kino-lotería: proceso de reciclaje:  
<http://www.chilecomercios.cl/RESULTADOS-DEL-KINO.htm>
- Industry Council for Electronic Equipment Recycling (ICER):  
<http://www.icer.org.uk/>
- Global Electric Electronic Processing GEEP:  
<http://www.geepglobal.com/>