



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS
DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS
(RAEE) PRINCIPALMENTE COMPUTADORAS.

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

SERGIO FERNANDO BLAISDELL VIDAL



CDMX

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: PROFESOR: JOSÉ AGUSTÍN GARCÍA REYNOSO.
VOCAL: PROFESOR: GEMA LUZ ANDRACA AYALA.
SECRETARIO: PROFESOR: GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ.
1ER. SUPLENTE: PROFESOR: ALEJANDRA MENDOZA CAMPOS.
2DO. SUPLENTE: PROFESOR: DAVID FRAGOSO OSORIO.

SITIO DÓNDE SE DESARROLLÓ EL TEMA

FACULTAD DE INGENIERÍA, DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA,
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL.

ASESORA DEL TEMA:

DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ.

SUSTENTANTE:

SERGIO FERNANDO BLAISDELL VIDAL.



CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

ACRÓNIMOS

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. GENERALIDADES DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE).....	11
1.2. PROBLEMÁTICA.....	12
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	14
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	14
CAPÍTULO 2. RIESGOS A LA SALUD Y AL AMBIENTE DEBIDO A LOS COMPONENTES MÁS TÓXICOS DE UNA COMPUTADORA.....	15
2.1. CADMIO.....	16
2.2. MERCURIO.....	17
2.3. PLOMO.....	17
2.4. EL POLICLORURO DE POLIVINILO (PVC).....	18
2.5. RETARDANTES DE FLAMA BROMADOS (PBDEs).....	19
CAPÍTULO 3. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRONICOS (RAEE).....	21
3.1. CONVENIO DE ESTOCOLMO.....	23



3.2. CONVENIO DE BASILEA.....	24
3.3 LEGISLACIÓN DE LOS RAEE EN ALGUNOS PAISES DE EUROPA.....	26
3.4. LEGISLACIÓN DE LOS RAEE EN ALGUNOS PAÍSES DE ÁFRICA Y ASIA.....	27
3.5. LEGISLACIÓN DE LOS RAEE EN ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA DEL NORTE Y AMÉRICA LATINA.....	28
3.6. LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTION INTEGRAL DE LOS RESIDUOS.	30
3.7. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE.....	31
3.8. NOM 161-SEMARNAT-2011.....	32
CAPÍTULO 4. MINERÍA ELECTRÓNICA.....	33
4.1. TRATAMIENTOS PARA LA RECUPERACIÓN DE METALES VALIOSOS EN UNA COMPUTADORA.....	36
4.1.1. PROCESOS HIDROMETALÚRGICO.....	36
4.2. RECUPERACION DE METALES NO FERROSO POR PIROMETALURGIA.....	37
4.2.1. PROCESO PIROMETALÚRGICO.....	37
4.3. METALES VALORIZABLES DE UNA COMPUTADORA.....	39
4.3.1. ORO.....	40
4.3.2. ORO RECICLADO.....	40
4.3.3. COBRE.....	41
4.3.4. PLATA.....	42
4.3.5. EMPRESAS QUE RECUPERAN Y RECICLAN LOS RAEE EN MÉXICO.....	43
4.3.5.1. RECICLATRÓN.....	43



4.3.5.2. RECUPERA.....	44
4.3.5.3. REMSA.....	45
CAPÍTULO 5. ALTERNATIVAS PARA LOS RAEE DE COMPUTADORAS EN MÉXICO.....	47
5.1. HACER UN CONSUMO RESPONSABLE.....	47
5.2. REUTILIZAR.....	47
5.3. RECICLAJE.....	47
5.3.1. LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA EL MANEJO DE LOS RAEE.....	48
5.4. IMPACTO ECONÓMICO.....	49
5.5. IMPACTO SOCIAL.....	49
5.6. IMPACTO AMBIENTAL.....	50
5.7. IMPACTO POLÍTICO.....	50
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	52
REFERENCIAS.....	76



LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 2.1 Ciclo de una computadora.....	15
Esquema 3.2 Esquema de la Legislación Nacional sobre los Residuos de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos.....	30
Esquema 3.3 Modelo de la economía circular de los RAEE.....	32
Esquema 4.4 Etapas principales en el proceso utilizadas en la Minería Electrónica.....	34
Esquema 4.5 Etapas de pretratamiento para la sección de la parte metálica y no metálica de una computadora.....	35
Esquema 4.6 Diagrama actual de los RAEE.....	46
Esquema 4.7 Diagrama de un sistema de Gestión de los RAEE para las computadoras	51



LISTA DE TABLAS

Tabla 2.2 Componentes tóxicos que contienen las computadoras y sus usos.....	20
Tabla 3.3 Categorías de los RAEE por la Directiva de la Unión Europea.....	23
Tabla 4.4 Valor en porcentaje de metales preciosos en los AEE.....	34
Tabla 4.5 Aprovechamiento de los materiales recuperados de una computadora.....	36
Tabla 4.6 Agentes Lixiviantes más utilizados en un proceso Hidrometalúrgico.....	37
Tabla 4.7 Porcentaje de materiales recuperados en las computadoras.....	39
Tabla 4.8 Principales países recicladores de oro, en toneladas en el año 2014.....	41
Tabla 5.9 Los países mineros del mundo que extraen la plata en el año 2016.....	43
Tabla 5.10 Beneficios que se obtienen al reciclar los materiales de los RAEE.....	44



ACRÓNIMOS

ACRR Asociación de Ciudades y regiones para el Reciclaje.

AEE aparatos eléctricos y electrónicos

ASEGRE Asociación de Empresas Gestoras y Residuos Especiales.

ASIAP Asociación de informáticos en Uruguay

ATSDR Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.

CMIC Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.

COP Contaminantes Orgánicos Persistentes.

E- WASTE Desecho Electrónico

EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

INC Instituto Nacional del Cáncer

INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

LGPIGIR Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.

NESREA Agencia Nacional para la Reglamentación y la Aplicación de las Normas Ambientales

OIT Organización Internacional del Trabajo

OMS Organización Mundial de la salud

PBDEs Éteres de Difenilo Polibromados.

PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

PROFEPA Procuraduría Federal del Consumidor



PVC Policloruro de Polivinilo

RAEE Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

RCRA Ley de Conservación y Recuperación de Recursos.

RELAC Plataforma Regional de Residuos Electrónicos en Latinoamérica y el Caribe.

RME Residuos de Manejo Especial

ROHS Restriction of Hazardous Substances

RSI Residuos Sólidos Industriales

SCT Secretaría de Comunicaciones y Transportes

SEDEMA Secretaria del Medio Ambiente

SEMARNAT Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

STEP solvin the E-Waste Problem

UE Unión Europea

UMOYA Federación de Comités de Solidaridad con África Negra.

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UNU Universidad de las Naciones Unidas

WEEE Waste of electrical and electronic equipment



RESUMEN

En el primer capítulo se plantea los objetivos, la problemática, los alcances y las limitaciones. Se alude que las computadoras en la actualidad, han contribuido significativamente a mejorar y simplificar diversas tareas en la escuela, en las oficinas y en la industria. Hoy tienen un aumento dinámico y cada vez estos dispositivos van creciendo debido a su rápida innovación a su consumismo voraz. Como su ciclo de vida es muy corto, se vuelven obsoletos con rapidez y al ser desechados de una manera inadecuada se genera lo que llama basura electrónica.

En la segunda sección se concentra en las sustancias químicas que integran una computadora, que son potencialmente nocivas para la fauna, flora y el ser humano; algunos como son el cadmio, el mercurio, el plomo, el pvc y los retardantes de flama Bromados.

En la tercera parte se realiza una revisión de las legislaciones internacionales en medios digitales para mostrar un panorama más cercano al problema de los residuos eléctricos y electrónicos en el extranjero y como lo están resolviendo.

En el cuarto episodio se muestra un horizonte de la Minería electrónica que busca ser preponderante en la recuperación de metales valiosos que completan las computadoras como son: el oro, la plata y el cobre; implementando técnicas como la metalurgia y pirometalurgia.

Y finalmente en se procuran, se persiguen y se enlistan alternativas desde la difusión de la información, así como la organización, la recuperación, los sistemas de clasificación y tratamiento apropiados para los RAEE.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE).

En el mundo se generan anualmente 40 millones de basura electrónica. Los RAEE tienen un aumento acelerado, tres veces superior a los residuos sólidos urbanos. La cantidad de basura que se genera es similar a los residuos de plásticos (Payueta, 2017).

El INE en el año 2011 indica que los residuos electrónicos son una diversidad de aparatos eléctricos y electrónicos que han perdido su valor para sus dueños y que pueden presentar problemas serios a la salud y al ambiente si no se minimizan o eliminan adecuadamente.

Una gestión conveniente, sin embargo, de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) al final de su ciclo útil, puede proporcionar un gran potencial para la valorización de sus residuos, lo que se traduce como una oportunidad económica para diferentes sectores de la sociedad. Las computadoras forman un ejemplo significativo del problema; a medida que su avance tecnológico es vertiginoso y su ciclo de vida útil es corta, y su mercado de venta es enorme (INE, 2011).

El INE (2011), menciona también que las computadoras contienen elementos tóxicos que pueden ser perjudicables para el ser humano y al ambiente como son el elemento cadmio, el mercurio, el plomo, además de otras sustancias particularmente tóxicas utilizadas para reducir el grado de inflamabilidad de las computadoras como son los Éteres de Bifenilos Polibromados (PBDEs), en la actualidad existe un movimiento transfronterizo de (RAEE) en todo el mundo, desde países industrializados con regulaciones más estrictas a países en vías de desarrollo como el sudeste asiático, América Latina, Norte de África con legislaciones menos reguladas en materia de los RAEE para su tratamiento o eliminación final, lo que conlleva para estos países tener montañas de residuos electrónicos cada año sin un manejo adecuado (Brigden y Santillo, 2006).

El factor importante de este flujo internacional de los RAEE se debe al contenido de metales de gran valor como son el oro, la plata y el cobre. La recuperación de estos metales y otros generan un mercado muy lucrativo tanto formal como informal (INE, 2011).



1.2. PROBLEMÁTICA

Se comprende por residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) todos los dispositivos y sus componentes que la integran que forman parte del equipo y que han dejado de funcionar, así como los que han dejado de ser provechoso para sus dueños. La vida útil de las computadoras en el presente se ha reducido considerablemente, con la constante innovación tecnológica con novedosas funciones y diseños, esto ha conducido a un constante cambio de equipos electrónicos por parte del consumidor que preocupa (Permanyer, 2013).

Los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), son parte de la actualidad, se han infiltrado en todos lados, facilitando a la sociedad el intercambio de información, además de seguridad, salud y mayor comodidad. Sin embargo, la constante novedades tecnológicas y el alto consumismo, aceleran la sustitución frecuente de los equipos, que lleva a enfrentar la otra realidad detrás del consumo; ¡los residuos! ya que los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) se desechan sin ningún tratamiento adecuado en muchos países (Boada, 2003).

Las computadoras de escritorio y portátiles, así como los periféricos tales como “mouses”, teclados, e impresoras que encierran metales pesados y sustancias químicas tóxicas que son dañinas para el aire, los suelos y la salud del ser humano; son particularmente un potencial peligro para los recuperadores de partes de los RAEE en el negocio informal que maniobran los residuos sin la protección adecuada. Es importante conocer las cifras, las causas, las consecuencias, y las diversas soluciones que deben de dar a los problemas causados por los RAEE (GREENPEACE, 2011).

En México los RAEE crecieron en el año 2010, estudios hechos por el INE (2011) calcularon que llegaron a hacer de 307.224 toneladas, de los cuales solo 55.443 eran computadoras (75% computadora de escritorios y 25% computadoras portátiles). Donde el 10 % se recicla, el 40 % se mantienen en bodegas y el 50% se mandan a rellenos sanitarios, basureros o botaderos a cielo abierto.



En el país los residuos electrónicos no son considerados peligrosos y deben serlo por los daños que ocasionan en el entorno y al ser humano. Los residuos electrónicos contienen además elementos pesados como son: berilio, bario, mercurio, plomo, y algunos retardantes de flamas que son compuestos muy tóxicos. Expuestos a quemas ilegales y verterlos en rellenos sanitarios clandestinos, estos metales se disuelven y entran en mantos acuíferos, cuerpos de agua o son transportados por masas de aire que pueden llegar a lugares distantes perjudicando la salud de la población (Rodríguez, 2017).

La falta de una industria de reciclado formal y regulada es una de las muchas razones por las que México se ha convertido en un imán de residuos electrónicos usados. México como país en desarrollo, debe diseñar programas y políticas sostenibles que resulten amigables al ambiente y económicamente redituables (INE, 2011).

En el año 2005 hubo un aumento de 9 millones de RAEE y se espera que para el 2020 llegue a 12 millones de toneladas de RAEE. En la fabricación de los AEE se utilizan recursos costosos y escasos, uno de ellos es el oro, que se utiliza el 10% del total extraído en todo el mundo (Adminweelabs, 2017).

La Universidad de las Naciones Unidas (UNU), la Interpol y la WEEE (Waste of electrical and electronic equipment) indican que en el año 2012 solo 3.3 millones de un total de 9.9 millones de toneladas de aparatos eléctrico y electrónicos siguieron caminos oportunos y legales para su reciclaje. Un total de 6.2 millones de toneladas fueron exportados y reciclados sin vigilancia o simplemente desechados a contenedores, además de 1.3 millones de toneladas de residuos electrónicos salieron de manera ilegal (Martín, 2015).

Se estima que el 30 % de los RAEE son exportados a los países del tercer mundo de forma ilegal. El 40% recibe técnicas no autorizadas ni adecuadas para su manejo (ASEGRE, 2012).



1.3. OJETIVO GENERAL

Realizar propuestas para el manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) principalmente computadoras basándose en la experiencia internacional.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Investigar la evolución de las computadoras consultando medios impresos y electrónicos.

Revisar la toxicidad de sus componentes a la salud y al ambiente analizando la información publicada en artículos de revistas indizadas.

Llevar a cabo una revisión bibliográfica sobre el manejo y la disposición de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) considerando la legislación internacional y mexicana.

1.5. ALCANCE Y LIMITACIONES.

Para la realización de esta tesis, se revisará la información nacional e internacional publicada del año 2000 a la fecha.

Asimismo, se tomarán en cuenta sólo computadoras personales.



CAPÍTULO 2. RIESGOS A LA SALUD Y AL AMBIENTE DEBIDO A LOS COMPONENTES MÁS TÓXICOS DE UNA COMPUTADORA.

Las computadoras en su fabricación están constituidas por elementos químicos altamente nocivos que perjudican seriamente al entorno una vez que su vida útil a terminado, en esta sección se examinan las sustancias potencialmente dañinas para los seres vivos, así como a los ríos y suelos cuando se abandonan de una manera irracional.

Un Sistema de Gestión Ambiental es una serie de acciones consagradas al uso, cuidado y beneficios que conlleva al control de los recursos naturales del planeta (Smith, 2016).

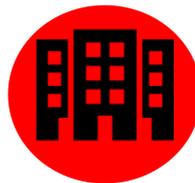
Una computadora tiene un promedio de 9 sustancias químicas tóxicas. Los informes de Greenpeace indican que en México solamente el 30% de los consumidores saben que sustancias dañinas contienen las computadoras. La presencia de sustancias químicas peligrosas que se utilizan en la fabricación de las computadoras, de las cuales, terminan en botaderos ilegales provenientes de montañas de estos dispositivos electrónicos al terminar su vida útil; ponen en riesgo al ser humano y al ambiente (BBC, 2006).

Un monitor de computadora de escritorio comprende un kilogramo de plomo, los monitores de computadoras viejas contienen hasta dos o tres kilogramos de este elemento. Si no se implementan ahora los métodos para aligerar los daños, los problemas ambientales podrían ser alarmantes a corto plazo (Zambrano, 2009).

Las maneras en que influyen las computadoras en el ambiente, comprenden tres etapas (Cárdenas, 2012):



Durante la elaboración de sus componentes



Durante su uso



Final de su ciclo

Esquema 2.1 Ciclo de una computadora.

Fuente: Cárdenas, 2012.



Las personas utilizan una computadora por tres o cinco años, luego las excluyen y adquieren uno nuevo, con este dinamismo del consumismo, ayuda a que los materiales contaminantes que alberga una computadora fomenten el deterioro ambiental (Cárdenas, 2012).

Sustancias químicas presentes en una computadora, potenciales contaminadores del ambiente y del ser humano se mencionan a continuación:

2.1. CADMIO.

El cadmio (Cd) de forma natural se libera al ambiente. Una cantidad se dispone en los ríos por la descomposición de las rocas, por los incendios forestales y otra cantidad por las actividades del ser humano como la manufactura de ciertos productos (Sánchez, 2016).

Cuando el cadmio ingresa al organismo se fija en los tejidos, con mayor localización en el hígado y los riñones. Produce hipertensión e irritabilidad en el sistema digestivo. El cadmio se encuentra en las baterías recargables, contactos y conexiones de los monitores de tubo de rayos catódicos, en los tableros de circuitos y semiconductores (AsIAP, 2005).

Una exposición relativamente alta en los niveles de cadmio es cuando la gente fuma. Otra alta exposición que ocurre, es donde la gente vive alrededor de las fábricas que liberan cadmio al aire, asimismo los trabajadores que laboran en la industria de las refinerías del metal quedan expuestos también (INC, 2015).

Los seres humanos se exponen al cadmio a ingerir alimentos como pueden ser los champiñones, mariscos, mejillones, cacao y algas secas; que tienen concentraciones de cadmio en niveles bajos, pero, el consumo puede incrementar la concentración de este elemento en los seres vivos (Lenntech, 2018).

Otros efectos que pueden tener al consumir cadmio son los siguientes (Ramírez, 2002):

I. Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos.

II. Fracturas de huesos.



III. Daños al sistema inmune.

IV. Posible daño en el ADN y desarrollo de cáncer.

2.2. MERCURIO.

El mercurio (Hg) es un elemento que existe en forma natural en el aire, el agua y los suelos. Estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que es tóxico para el sistema nervioso y el sistema inmunitario, el aparato digestivo, la piel, los pulmones, riñones y ojos. El mercurio es uno de los diez productos químicos que plantean problemas de salud pública (OMS, 2017).

El envenenamiento por mercurio conlleva varias enfermedades, una de ellas es la acrodinia; llamada enfermedad de Rosa, síndrome de Hunter-Russell y la enfermedad de Minamata. Usualmente la contaminación por mercurio es por contacto directo. Además, por alimentarse de animales directamente expuestos; sobre todo el consumo de peces (Granados, 2013).

Los odontólogos ya no utilizan las amalgamas, pues podrían contraer enfermedades como Alzheimer, Parkinson o esclerosis múltiple (ATSDR, 2015).

En los años cincuenta una planta química cercana a la bahía de Minamata en Japón descargó cantidades enormes de residuos de mercurio en el mar, lo cual contaminó la vida marina del lugar como fueron los peces, después los habitantes del lugar consumieron los peces generándose una intoxicación masiva con 121 afectados, 46 muertos y muchos niños con daños irreparables en el sistema nervioso central (Gutiérrez, 2008).

2.3. PLOMO.

El plomo (Pb) es un metal pesado neurotóxico y difícil de eliminar en el organismo. Los síntomas se presentan de acuerdo a la cantidad encontrada de plomo en el cuerpo. El plomo afecta todos los órganos. El nivel sanguíneo de plomo en exceso en las madres aumenta el riesgo fetal y abortos prematuros (ÍNDIGO AMBIENTAL, 2014).

La exposición al plomo en los niños, se manifiesta con ausencias muy frecuentes en la escuela y bajo rendimiento escolar. La plumbemia o saturnismo es una enfermedad que se debe por la



exposición de niveles altos de plomo; puede alterar a los fetos en desarrollo de las madres, a los bebés y niños pequeños afectando su crecimiento, aunque las cantidades de plomo sean mínimas (Poma, 2008).

Se conoce que los niños absorben el 50 % del plomo atmosférico y los adultos el 20% aproximadamente (AsIAP, 2005).

Si no se detecta a tiempo la contaminación con altos niveles de plomo en los niños, pueden sufrir alguno o algunos de los siguientes síntomas (EPA, 2017):

- I. Daño al cerebro y al sistema nervioso.
- II. Crecimiento retardado.
- III. Problemas de audición.
- IV. Problemas de comportamiento y aprendizaje (hiperactividad)

En los adultos con altos niveles de plomo pueden sufrir:

- I. Problemas digestivos.
- II. Dolores articulares y musculares.
- III. Alta presión sanguínea.
- IV. Problemas reproductivos en hombres y mujeres.

2.4. EL POLICLORURO DE POLIVINILO (PVC).

El policloruro de polivinilo es un polímero que empezó a desarrollarse industrialmente a comienzos del siglo XX, debido a su durabilidad el bajo costo, su resistencia y su capacidad de aislamiento térmico y eléctrico. Esta característica permitió desplazar en algunos usos al metal. El pvc presenta átomos de cloro unidos a sus cadenas, lo que lo hace más resistente a la oxidación (Bolívar, 2012).

Es un plástico que alberga cloro y se usa para aislar cables, cuando se fabrican o se incineran; ciertas sustancias que contienen los pvc's como son las dioxinas y los furanos se emiten a la



atmósfera y pueden causar cáncer en los seres humanos. Los pvc's son sustancias persistentes y contaminantes incluso en bajas concentraciones, al encerrar cloro en su estructura molecular, produce lluvia ácida (ATSDR, 2015).

Puede encontrarse también en una variedad de objetos de uso diario como son los cables eléctricos, cubiertas de plásticos y ropa de vestir imitaciones de cuero, al incinerarse libera toxinas que puede causar malformaciones de nacimiento, alteraciones endocrinas, inmunosupresión y cáncer (Hanes, 2017).

2.5. RETARDANTES DE FLAMA POLIBROMADOS (PBDEs).

Los Éteres de Difenilo Polibromados (PBDEs) son sustancias químicas derivados de los bromos y son utilizados como retardantes de flama, estas sustancias son agregadas a los polímeros presentes en las placas electrónicas que se encuentran en las computadoras, televisiones, automóviles, entre otros y sirven para retardar el fuego (Guerra, 2011).

Los PBDEs se encuentran en las tarjetas de circuito de los monitores, plásticos y tarjetas de circuitos de teclado y en el "mouse", tarjeta madre, Conectores. (Román, 2007):

Los PBDEs se asocian con (Rocha, Peralta y Zavala, 2015).

- Tumores cerebrales.
- Potentes disruptores hormonales.
- Posiblemente cáncer.
- Se acumulan estos compuestos en células neurales y el cerebro.



En la tabla siguiente se muestra un resumen de las sustancias químicas que se utilizan como componentes de una computadora.

Tabla 2.2 Componentes tóxicos que contienen las computadoras y sus usos.

Sustancias tóxicas	Usos
Cadmio	Es utilizado en las baterías recargables de los ordenadores contactos y en tubos catódicos antiguos
Mercurio	Se utiliza en los interruptores y en las pantallas de LCD.
Cobre	Se requiere en las tarjetas madres y en los cables de conexión para cuando se encienda un procesador no se sobrecaliente.
Aluminio	Usado como complemento de conductividad y en parte de la estructura de todo la computador.
Cromo	Es muy resistente a la corrosión.
Oro	Las partes doradas son para asegurar la superconductividad.
Plata	Se utiliza para unir la placa del micro procesador a la base del disipador y así refrigerar el procesador.
Plomo	La función es que pueden estirarse para formar una cubierta continua alrededor de los conductores internos.
Fósforo	Utilizado para maximizar la energía y aumentar el rendimiento del monitor.

Fuente: Román, 2007.



CAPITULO 3. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE).

Los residuos eléctricos y electrónicos crecen de una manera acelerada, en este apartado se revisa el Convenio de Estocolmo y el Convenio de Basilea, se analiza las leyes que existen en algunos países de Europa, Asia, África y América Latina referente a su tratamiento adecuado, qué se hace y que está pendiente todavía.

La Unión Europea (UE) pone en marcha medidas con respecto a los RAEE, fomenta el reúso, el reciclado y maneras de valorización de los materiales con que están fabricados las computadoras para reducir su abundancia, también promueve la manera de restringir el uso de sustancias peligrosas en citados aparatos eléctricos (Diario Oficial de la UE, 2003).

La Directiva Europea 2002/96/CE menciona que los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos es una de las primeras medidas esenciales acerca de su tratamiento adecuado. Sus objetivos principales son la producción, reutilización, y el reciclado de los dispositivos electrónicos a fin de disminuir lo mejor posible los residuos de las computadoras; así como el mejoramiento de todos las partes que intervienen en la fabricación de los AEE (Diario Oficial de la UE, 2003).

La Directiva Europea 2002/95/CE señala las restricciones de las sustancias químicas peligrosas como son: el cadmio, el cromo hexavalente, el mercurio, los Bifenilos Polibromados y el Difenil Éter polibromado; asimismo alude la protección de la salud humana, a la valoración de las partes metálicas con que está construida una computadora y la exclusión de la misma adecuadamente (RECÍCLAME, 2003).

Las legislaciones en los diversos países del mundo, están construidas sobre dos pilares esenciales (REZAGOS, 2010):

I. Producir take-back o ERP (Extended Producer Responsibility) que son los fabricantes que sostienen monetariamente y son los responsables de los RAEE una vez que su vida provechosa ha culminado.



II. El ARF (Advanced Reciclyng Fees), en el cual los consumidores o los tributarios son los responsables de los RAEE y deben pagar un gravamen que cubre el reciclaje de los residuos. Esta medida es reprobada porque no contribuye a reducir el tránsito de desechos electrónicos en el mundo. Los impuestos recaen en los consumidores o contribuyentes y los productores se liberan de cualquier compromiso. Sin estímulos para impulsar proyectos más limpios.

En la Unión Europea (UE), con la intención de facilitar la eliminación y recolección de los RAEE, los fabricantes deben colocar en la parte inferior de los equipos electrónicos una huella ecológica que es el cumplimiento de criterios ambientales selectivos para la eliminación de los RAEE, es imperativo que lleven una etiqueta con las letras RoHS (Restriction of Hazardous Substances), que indica la cantidad permitida de seis sustancias tóxicas específicas que se indican a continuación (OPEMED, 2016):

Cadmio (Cd) - 1000 mg/kg

Plomo (Pb) - 1000 mg/kg

Mercurio (Hg) - 1000 mg/Kg

Cromo Hexavalente (Cr (VI)) - 1000 mg/kg

Bifenil Polibromado (PBB) - 1000 mg/kg

Difenil Éter Polibromado (PBDE) -1000 mg/kg

Una clasificación usada para los RAEE comprende una división de tres líneas de color:

- Línea de color blanca son todos los electrodomésticos grandes y pequeños: neveras lavadoras lavavajillas, hornos y cocinas.
- Línea de color gris comprenden los equipos informáticos como las computadoras, teclados, “mouses” y de telecomunicaciones (teléfonos móviles, terminales de mano o portátiles, etc).
- Línea de color marrón se encuentran todos los dispositivos electrónicos de consumo como son televisores, equipos de sonido y de video (Instructivo para el manejo de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos -RAEE, 2013).



La Directiva de la Unión Europea clasifica a los RAEE en 10 categorías que a continuación se presentan (Directiva 2002/96/EC de la Unión Europea, 2003).

Tabla 3.3 Categorías de los RAEE por la Directiva de la Unión Europea.

N°	Categorías	Ejemplos
1	Grandes electrodomésticos	Refrigeradores, congeladoras, lavadoras, lavaplatos.
2	Pequeños electrodomésticos	Aspiradoras, planchas, secadores de cabello, etc.
3	Equipo de informática y telecomunicaciones	minicomputadoras, impresoras y computadoras personales, computadoras portátiles, fotocopiadoras, teléfonos ,etc).
4	Aparatos electrónicos de consumo	Aparato de radio, televisores, cámaras de video, etc.
5	Aparato de alumbrados	Luminarias ,tubos fluorescentes, lámparas de descarga de alta intensidad, etc.
6	Herramientas eléctricas y electrónicas	Taladros, sierras y máquinas de coser.
7	Juguetes, equipos deportivos y de tiempo libre	Trenes y carros eléctricos, consolas de video.
8	Equipo Médico	Aparatos de radio terapia, cardiología, diálisis, etc.
9	Instrumentos de medida y control	Termostato, detectores de humo o reguladores de calor
10	Máquinas expendedoras	Máquinas expendedoras de bebidas calientes, botellas, latas, productos sólidos.

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

3.1. CONVENIO DE ESTOCOLMO.

Es un tratado internacional que promovió el Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente (PNUMA), para atender un problema global que deriva de la diseminación de contaminantes orgánicos persistentes (COP). Tiene como finalidad de preservar el medio ambiente y la salud de los seres vivos frente a estos contaminantes, así como de promover buenas prácticas y tecnologías disponibles para remplazar a los que se utilizan actualmente; mediante legislaciones nacionales y la instrumentación de planes que cumplan estos compromisos.



Los contaminantes orgánicos persistentes (COP) son sustancias químicas perjudiciales para la vida humana, la vida silvestre y los recursos naturales cuando su manejo no es el idóneo, por el cual se liberan sustancias químicas como las dioxinas y los furanos, los (COP) tienen características específicas que se presentan a continuación (Weinberg, 2009):

- I. Persistentes: son resistentes a la degradación, por lo que permanecen grandes periodos en el ambiente.
- II. Bioacumulables: Se mantienen en el tejido graso de los seres vivos como son los peces y los mamíferos.
- III. Altamente tóxicos: Al entrar en contacto con ellos a través de los alimentos perjudicarían la salud.
- IV. Se transportan a largas distancias: Se trasladan por procesos naturales como son el viento, el agua, el suelo, y tienden a acumularse en lugares fríos (ResiduosCop, 2017).

El Convenio de Estocolmo especifica obligaciones a los fabricantes para reducir o eliminar determinados productos industriales en donde son usados los contaminantes orgánicos persistentes y plaguicidas como son: el clordano, dieldrina, endrina, dieldrina, heptacloro, hexaclorobenceno (HCB), Bifenilos policlorados (PCB), mirex, toxafeno y DDT (FAO, 2004).

3.2. CONVENIO DE BASILEA.

Este Convenio tiene como fin el reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y su movimiento transfronterizos, su manejo apropiado, su tráfico ilícito. El Convenio de Basilea propone que la exportación solo se realice cuando no haya capacidad tecnológica para tratar los residuos generados en ese país (INECC.SEMARNAT, 2015).

- I. Por desechos se entiende las sustancias u objetos, cuya eliminación está obligado a proceder en lo dispuesto en la legislación nacional.



II. Por manejo se entiende la recolección, transporte y la eliminación de los desechos peligrosos, incluida la supervisión de los lugares de eliminación.

III. Por movimiento transfronterizo se entiende el movimiento de desechos peligrosos o de otros desechos de una ubicación sometida por una autoridad nacional de un Estado y destinado a una zona que depende de una jurisdicción nacional de otro Estado, o el tránsito por ese lugar o de una localidad que no sea competencia nacional de ningún estado, o el trayecto por dicha zona, siempre que se vean afectados dos Estados (DiPublico.org, 2012).

Se entenderá por tráfico ilícito a los efectos del siguiente convenio, todo movimiento transfronterizo de desechos peligrosos o de otros desechos que se realice (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016):

- I. Sin notificación a todos los Estados interesados conforme a los lineamientos del convenio.
- II. Sin el consentimiento de un Estado interesado conforme a las disposiciones del convenio.
- III. Con consentimiento obtenido de los Estados interesados mediante falsificaciones o fraudes etc.

La clasificación de las sustancias que se incluye en este convenio son las tóxicas, corrosivas, inflamables, ecotóxicas e infecciosas.



3.3. LEGISLACIÓN DE LOS RAEE EN ALGUNOS PAÍSES DE EUROPA.

ALEMANIA

Existe la iniciativa de responsabilidad compartida. La ley ElektroG, tiene como finalidad evitar reducir el volumen que se genera de los RAEE (Pinzón, 2015).

BÉLGICA

Los fabricantes tienen la responsabilidad de aceptar los RAEE. Los minoristas/ distribuidores deben recibir los RAEE de manera gratuita cuando vendan un AEE semejante (ACRR, 2002).

NORUEGA

Responsabilidad del productor, hay un impuesto de los equipos nuevos (Estudio Nacional e Internacional de Gestión de Residuos, 2006).

SUECIA

Responsabilidad del productor en los AEE. Fabricantes, minoristas e importadores tienen responsabilidad conjunta (Estudio Nacional e Internacional de modelos de Gestión de Residuos, 2006).

SUIZA

La “Ordinancen on return, the take back and the disposal of electrical an electronic equipment” indica que los minoristas, los fabricantes y los importadores están obligados en aceptar los aparatos cuya vida útil terminó sin costo alguno, los consumidores también están obligados a regresarlos, ya que no es permitido almacenarlos en sus domicilios (Permanyer, 2013).



3.4 LEGISLACIÓN DE LOS RAEE EN ALGUNOS PAÍSES DE ÁFRICA Y ASIA.

GHANA

Es necesaria una legislación más sólida que prevenga la importación de los RAEE, así como que los fabricantes se encarguen de los AEE hasta el fin de su vida útil (kuper y hojsik, 2008).

NIGERIA

No cuenta con una amplia legislación respecto a los RAEE, sin embargo, la Agencia Nacional para la Reglamentación y la Aplicación de las Normas Ambientales (NESREA) en colaboración con gobiernos de Europa, han expresado su interés de gestionar los RAEE a fin de tener un fin adecuado (UMOYA, 2010).

CHINA

No existe una sólida legislación sobre los RAEE (Revertia, 2011).

INDIA

En su Ley del Medio Ambiente faculta al gobierno central para constituir las medidas necesarias para la protección del ambiente con el fin de evitar y reducir la contaminación del país. En su Ley de Gestión y Manipulación y Movimiento Transfronterizos, reglamenta y busca soluciones, también explora alternativas para su eliminación y gestión ambiental racional (Pinzón, 2015).



3.5 LEGISLACIÓN DE LOS RAEE EN ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA DEL NORTE Y AMÉRICA LATINA.

ARGENTINA

Tiene ausencia de normativa a nivel nacional específicas con respecto a los RAEE. Sin embargo, cuenta con dos leyes. La Ley Nacional N°24051. Su artículo 2° establece que será considerado peligroso todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, la atmósfera o el ambiente en general (Rezagos, 2010).

La Ley Nacional 23.992 que en su artículo 1° indica que aprueba el Convenio de Basilea, que establece el control del movimiento transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación (Rezagos, 2010).

BRASIL

Posee una Ley, que sitúa a cada persona la responsabilidad compartida con respecto de los RAEE. Aplica la responsabilidad a las tres esferas principales, el comercio, el municipio y consumidor (UNESCO-RELAC, 2010).

CANADÁ

Algunas provincias establecen el concepto de responsabilidad extendida del productor. En la actualidad, no existe una legislación en Canadá que mencione el reciclaje de los residuos electrónicos (ECO2SITE, 2003).

COLOMBIA

La Ley 1672 establece lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de AEE y se dictan otras disposiciones. Influenciada en la responsabilidad extendida al productor, la



ley toma en cuenta a las personas que importen, comercializan, consuman RAEE y el trámite de sus correspondientes residuos (RAEE COLOMBIA, 2013).

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

La legislación cataloga a los equipos electrónicos por su contenido de mercurio como Residuos Universales y los regula mediante una ley llamada Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) por sus siglas en inglés. En el país solo veintiséis Estados tienen normas para regular la disposición de los RAEE (INE, 2011).

URUGUAY

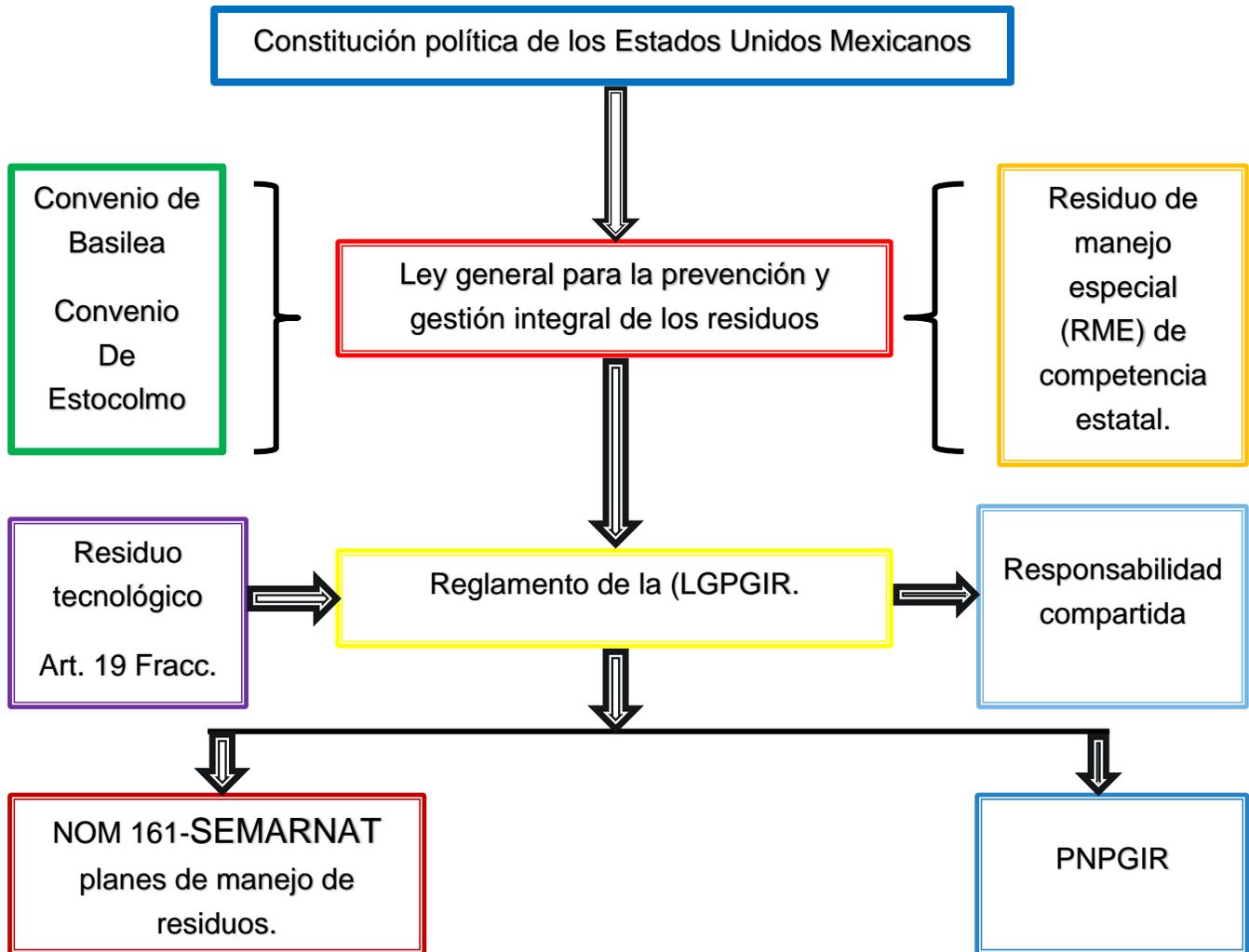
En Uruguay no existe un reglamento nacional que regule la gestión de residuos en el territorio, solo están comprendidos en un marco de residuos sólidos industriales (RSI) para el caso de las empresas. Tampoco existen regulaciones en los municipios a pesar de tener claro conceptos de aceptación de los residuos en sus rellenos sanitarios (Gestión Sostenible de los RAEE en AL, 2015).

MÉXICO

México no tiene una legislación que obligue a las empresas que manufacturan los AEE para hacerse cargo del tratamiento y disposición final de los residuos, ya que sólo existe la responsabilidad compartida y diferenciada (Lira, 2016).



México cuenta con un marco jurídico específicamente de residuos que busca asegurar su prevención y gestión integral, el cual se menciona en el siguiente esquema.



Esquema 3.2 Esquema de la Legislación Nacional sobre los Residuos de los aparatos Eléctricos y Electrónicos

Fuente: González, 2011.

3.6. LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS.

México cuenta con la Ley general de prevención y gestión Integral de Residuos (LGPGIR), que es reglamentada por las disposiciones de los Estados Unidos Mexicanos y se refiere a la protección



del ambiente en materia de prevención y gestión de los residuos en todo el territorio nacional (PROFEPA, 2014).

La LGPGIR actualmente indica que la responsabilidad se comparte entre los consumidores, distribuidores, y los tres niveles de gobierno. La legislación debe incluir una responsabilidad ampliada del fabricante que dé un tratamiento adecuado y reintegrar los materiales aprovechables a la cadena de producción.

La LGPGIR en su artículo 19... VIII establece que los residuos tecnológicos son de manejo especial, los residuos electrónicos provenientes de la industria informática y otros que, al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo diferente y específico que deberá cumplir con los siguientes criterios (ÍNDIGO AMBIENTAL, 2014):

- I. Alto valor económico.
- II. Alto volumen de generación, producidos por un número reducido de generadores.
- III. Que contengan sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables.
- IV. Que representen un alto riesgo a la población, al ambiente o a los recursos naturales.

Por otro lado, la NOM-161-SEMARNAT-2011, establece criterios para catalogar a los RME y determinar cuales estarán determinados a un plan de manejo. El plan de manejo son instrumentos que tienen como objetivo minimizar la generación y maximizar la valorización de los RME, pero no indica quien debe aprovecharlos y qué deben hacerse con ellos (Peralta, 2012).

3.7. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE.

Esta ley tiene como fin el de asentar bases para preservación y protección del ambiente en todo el territorio nacional. En su artículo 15 fracción IV... Quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar al ambiente, está obligado a prevenir, minimizar o reparar los daños que causa, así como asumir los costos de dicha afectación implique. Y en la fracción XII... Toda persona tiene derecho a disfrutar de un ambiente, adecuado para su desarrollo, salud y bienestar.

La LGEEPA se estructura en cuatro reglamentos fundamentales (SCT, 2016):



I. Impacto ambiental.

II. Residuos Peligrosos.

III. Evaluación de Impacto Ambiental.

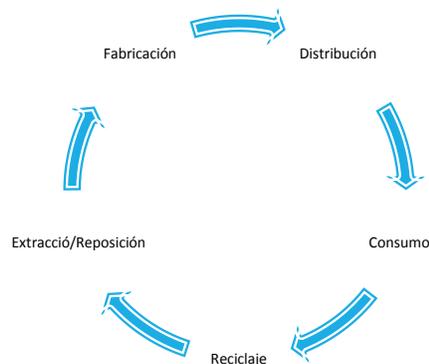
IV. Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica.

3.8 NOM 161-SEMARNAT-2011.

En el país se maneja una economía lineal cuya consecuencia fundamental es el problema del manejo de los residuos tecnológicos. Este modelo económico no ofrece ventajas, por lo que la norma 161-SEMARNAT.2011 procura reducir significativamente la cantidad de residuos de manejo especial (RME) para dirigirse a una economía circular que sí ofrece ventajas.

La NOM161-SEMARNAT-2011 establece los lineamientos para catalogar los residuos de manejo especial, también clasifica con una lista los mismos y procede a la exclusión o inclusión de estos, para la elaboración de planes para su manejo correspondiente (CMIC, 2014).

En el siguiente esquema se presenta un ejemplo de la economía circular de los RAEE (RECIMEX, 2013).



Esquema 3.3 Modelo de la economía circular de los RAEE.

Fuente: RECIMEX, 2013.



CAPÍTULO 4. MÍNERIA ELECTRÓNICA.

Los metales valiosos que constituyen las computadoras como son el oro, la plata, el cobre, entre otros, se pueden recuperar principalmente con métodos de hidrometalurgia y pirometalurgia que se explican en las siguientes líneas, así como se muestra el desarrollo de las etapas del proceso en donde ocurre la separación de las partes metálicas y no metálicas de una computadora.

Los dispositivos electrónicos que más se utilizan a diario son los teléfonos celulares y las computadoras que poseen una medida alta de reciclado; más del 90% de sus partes se pueden reciclar. Los RAEE contienen más de 60 diferentes elementos, muchos son muy valiosos y otros perjudican a la salud y al ambiente. Los AEE encierran muchos componentes, a continuación, se muestran los más importantes (Namias, 2013):

- Metales valiosos: Oro (Au), Plata (Ag) y Paladio (Pd).
- Metales Menores: Cobre (Cu), Aluminio (Al), Níquel (Ni), Zinc (Zn) y Hierro (Fe).
- Metales amenazantes: Mercurio (Mg), Berilio (Be), y Cadmio (Cd).
- Halógenos: Bromo (Br) y Cloro (Cl).
- Orgánicos incluyendo polímeros
- Vidrio y cerámicos.

El mayor incentivo que brinda la Minería Electrónica es la recuperación de los metales valiosos que se encuentran en los RAEE, el 70% del valor en los teléfonos celulares, tarjetas de circuito; y el 40% del valor en las pantallas, monitores, reproductores de video.

Los siguientes AEE se clasifican de acuerdo a su valor preponderante (Namias, 2013):

- Alto: Tarjetas de circuito de computadoras, capacitores, celulares.
- Medio: Monitores y tarjetas de circuito de laptops.
- Bajo: pantallas, tarjetas de monitores e impresoras, teléfonos inalámbricos, calculadoras, entre otros.



Posteriormente se presentan valores en porcentajes de los metales preciosos presentes en algunos aparatos eléctricos y electrónicos (Umicore, 2007).

Tabla 4.4 Valor en porcentaje de metales preciosos en los AEE.

Aparato	Cobre(%)	Plata(%)	Oro(%)	Paladio(%)
Pantallas (TV)	50	7	22	7
Monitores (PC)	18	5	61	15
Reproductores de Video.	9	13	64	14
Teléfonos Celulares	42	5	32	5

Fuente: Umicore, 2007.

La Minería Electrónica es una serie de etapas por la cual los RAEE se separan y se recuperan los metales preciosos de los metales menores asimismo como su posterior recolección. Este proceso se divide en cuatro etapas subsecuentes: la recolección de los RAEE, su clasificación y desmantelamiento de su pretratamiento metálico y su tratamiento final, que incluye el refinado de los metales y la disposición de los materiales peligrosos. Para cada etapa se requiere personal calificado durante todo el proceso para un manejo adecuado de los RAEE (Namias, 2013).

El proceso general de la Minería Electrónica se muestra en la figura siguiente (StEP, 2009):

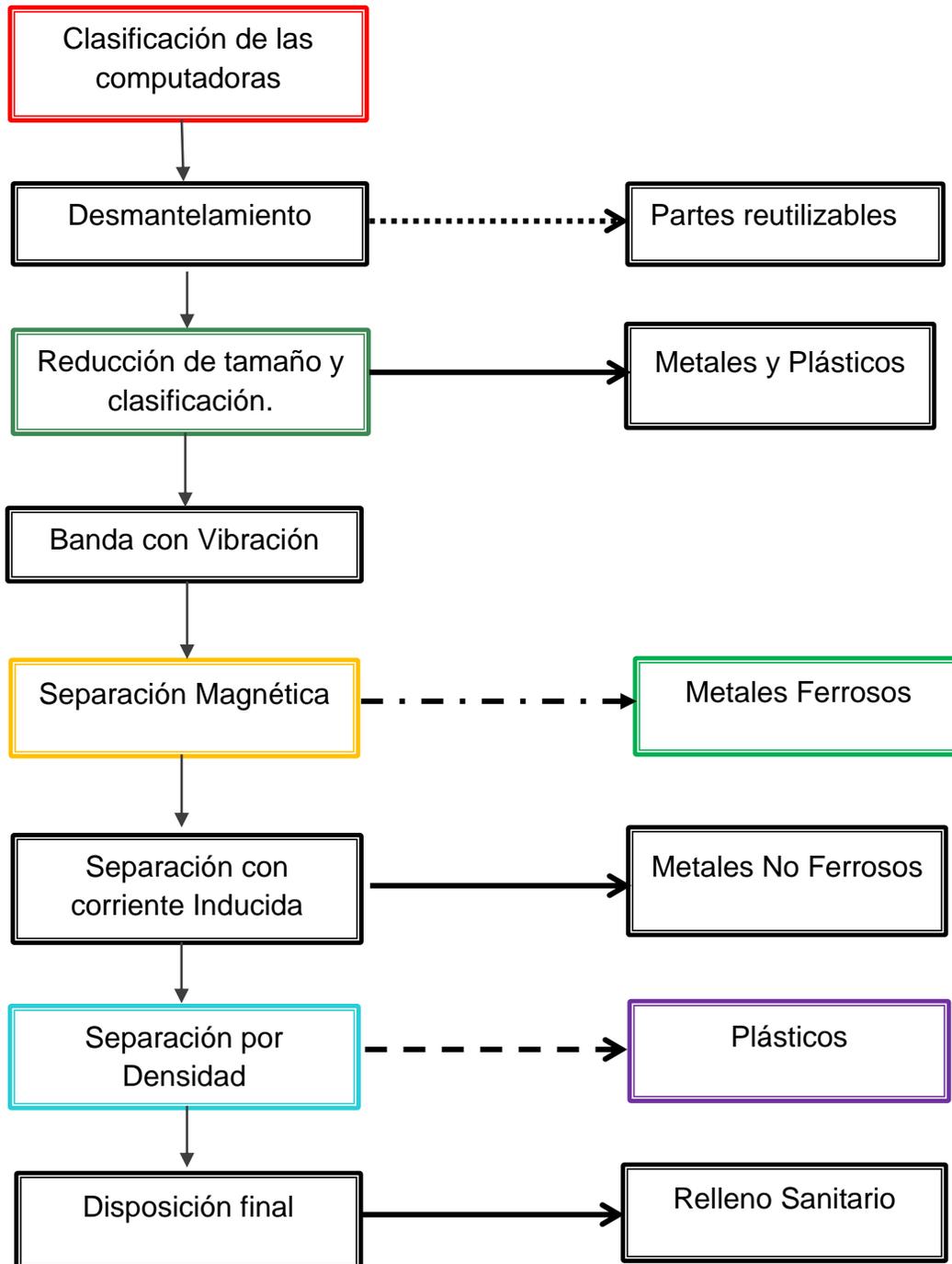


Esquema 4.4 Etapas principales en el proceso utilizadas en la Minería Electrónica.

Fuente: StEP, 2009.



En el siguiente diagrama se muestran etapas de un pretratamiento para la separación de los componentes metálicos y no metálicos de una computadora (Khaliq et al., 2014).



Esquema 4.5 Etapas de pretratamiento para la separación de la parte metálica de la no metálica de una computadora.

Fuente: Khaliq et al., 2014.



En la siguiente tabla se muestran los materiales que pueden ser reciclados a partir de los componentes de una computadora (Índigo Ambiental, 2014).

Tabla 4.5 Aprovechamiento de los materiales recuperados de una computadora.

Materiales Recuperados	Aprovechamiento
Metales Ferrosos	Pueden ser fundidos para la creación de nuevas estructuras o creación de productos diversos.
Metales no Ferrosos	Utilizados para la creación de productos diversos
Polietileno de Alta Densidad	En la elaboración de productos diversos como embalaje, mobiliario urbano, entre otros.
Polietileno de Baja Densidad	En la elaboración de productos como películas para bolsas, tubería, mangueras, aislamiento para cables, entre otros.
Metales preciosos, raros y pesados	El oro y la plata, se encuentran en un porcentaje minoritario pero se utilizarían en adornos, anillos cadenas, etc.
Vidrio	Se utiliza la fundición de la pedacería de vidrio para la elaboración de nuevos envases.

Fuente: Índigo Ambiental, 2014.

4.1. TRATAMIENTOS PARA LA RECUPERACIÓN DE METALES VALIOSOS EN UNA COMPUTADORA.

4.1.1. PROCESOS HIDROMETALÚRGICO.

Es una rama de la metalurgia extractiva que estudia los procesos extractivos que ocurren en medios acuosos y que permiten la recuperación de metales o compuestos desde los residuos de los materiales de reciclaje como son: chatarra electrónica, escoria, cementos metálicos (Ramírez, 2008).

Este proceso tiene una limitante en la cantidad de metales y su grado de pureza obtenida. Es el más utilizado para tratar los RAEE y es porque son más exactos.



Se divide en tres etapas principales: la lixiviación, la concentración de soluciones, y la purificación de los metales.

Un proceso Hidrometalúrgico general se menciona a continuación (Khalit et al., 20 14):

1. Tratamiento Mecánico: convertir los materiales en partes más pequeñas para su tratamiento químico.
2. Lixiviación: Los residuos se someten a soluciones ácidas y básicas a fin de extraer los componentes solubles por medio del solvente indicado. Los ácidos son los más eficientes y utilizados para separar los componentes valiosos, para cada metal a extraer se tiene un solvente indicado.

Se muestran a continuación los agentes lixiviantes más utilizados (Khalit et al., 2014).

Tabla 4.6 Agentes lixiviantes más utilizados en un proceso Hidrometalúrgico.

Metales	Agentes Lixiviantes
Metales menores	Ácido nítrico
Cobre	Agua regia o ácido sulfúrico
Oro y plata	Tiourea o cianuro
Paladio	Ácido clorhídrico y clorato de sodio

Fuente: Khalit et al., 2014.

3. Separación y purificación. En esta etapa los lixiviados se purifican y se les eliminan las impurezas.
4. Recuperación de metales preciosos. Se utilizan procesos de electrorrefinación, reducción química o cristalización (Cui y Zhang, 2008).

4.2. RECUPERACION DE METALES NO FERROSOS POR PIROMETALURGIA.

4.2.1 PROCESO PIROMETALÚRGICO.

Este proceso se lleva a cabo en un horno, donde los RAEE pretratados se introducen y funden a temperaturas muy elevadas, es el proceso más utilizado en la actualidad, principalmente en la recuperación del cobre contenido en los RAEE, además de otros metales de importancia como son



el oro, la plata y el paladio. El hierro y el aluminio no se recuperan mediante esta técnica y terminan como residuos en el fondo (Cui y Zhang, 2008).

Las compañías grandes que principalmente se encuentran en Europa y que están a la vanguardia en la recuperación de metales utilizando esta tecnología son: *Boliden*, *Xstrata Copper* (antes *Noranda*) *Auribes* y *Umicore*. Los residuos de muchos aparatos eléctricos se envían a estas plantas para su tratamiento y la recuperación de sus metales que contienen los RAEE (Namias, 2013).

Estados Unidos no cuenta con una planta de esta tecnología, siendo el mayor generador de residuos eléctricos y electrónicos (Namias, 2013).

El proceso se describe de manera general a continuación (Cui y Zhang, 2008):

1. Etapa de fundición.

En esta etapa los residuos tratados previamente se envían a un horno para su fundición que emplea altas temperaturas, donde se produce una solución de cobre con sulfuro de hierro (llamada mate) mientras el hierro y otros óxidos forman una solución llamada escoria.

2. Etapa de conversión.

La solución mate se lleva a un convertidor para alcanzar un producto principal de cobre impuro llamado cobre blíster.

3. Horno anódico.

El cobre blíster líquido se refina dentro del horno anódico, previamente se moldea en uno de los ánodos que después se electrorrefinan para lograr obtener cobre puro.

4. Electrorrefinación.

En todo momento del proceso, los ánodos de cobre producidos en el horno anódico se refinan para conseguir cátodos de cobre puro y también obtener otros metales como son la plata, oro, selenio y telurio que se forman en un precipitado.

5. Refinación de los Metales preciosos.



Los metales que se encuentran en el precipitado se refinan y purifican con técnicas más específicas para cada metal correspondiente para su disposición final en lingotes (Cui y Zhang, 2008).

4.3. METALES VALORIZABLES DE UNA COMPUTADORA.

En la Unión Europea, existen estudios que avalan que los aparatos eléctricos y electrónicos están constituidos por un 25% de elementos reutilizables, un 72% de materiales reciclables como son (plásticos, metales ferrosos, aluminio, cobre, oro, níquel estaño de las placas, etc). Un 3% de elementos parcialmente tóxicos (Bovea, Pérez-Belis et al., 2012).

Las computadoras poseen un alto porcentaje de reciclado, más del 90 % de sus componentes pueden reciclarse. Las computadoras están constituidas por 49 % de metales, 23% de plásticos y 25% por vidrio (GREENPEACE, 2012).

La tabla siguiente se muestran los porcentajes de materiales que se recuperan de una computadora (INECC, 2013).

Tabla 4.7 Porcentaje de materiales recuperados en las computadoras.

Componentes	Contenido (% peso total)
Plásticos	22.99
Plomo	6.30
Aluminio	14.17
Hierro	20.47
Cobre	6.93
Níquel	0.85
Oro	0.0016
Paladio	0.0003
Plata	0.02
Vidrio	24.88
Otros	3.39

Fuente: INECC, 2013.



4.3.1. ORO.

Es un metal precioso por excelencia, en la producción mundial, el 50% del oro se destina a las joyerías, el 40% se utiliza en reservas e inversiones y el 10 % se emplea en la industria. Por sus características como son la alta conductividad y su resistencia a la oxidación el oro tiene otras aplicaciones como en la aeronáutica, motores de aviones de reacción, etc. El oro en las computadoras se encuentra en cantidades mínimas, no obstante, el consumo y el malgaste de estos dispositivos implican el derroche de este recurso. El oro presente en las placas es de alto interés comercial (Ramírez, 2008).

Se estima que el hombre a lo largo de la historia de la humanidad ha extraído de la superficie terrestre cerca de 100.00 toneladas de oro, de ellas el 70% en los últimos 100 años. Los países de mayor extracción del oro son Sudáfrica, Estados Unidos; principalmente el estado de California, en Canadá y Rusia. En América Latina se encuentra Brasil, México, Ecuador y en menor extracción Venezuela (López, 2007).

4.3.2. ORO RECICLADO.

En el mundo en la actualidad, parte de los metales son recuperados y reciclados para un uso nuevo. A mediados del siglo XX, la recuperación de metales de desechos proporciona una contribución similar a la que aportan las fuentes primarias; llegando a superar valores como el caso del 50% de aluminio y plomo, 45% de cobre y cerca del 40% de acero y más del 30 % para el zinc y el oro (Villanueva, 2008).

Para algunos es difícil creer todavía, pero los dispositivos electrónicos son pequeñas minas de metales de gran valor. El oro se utiliza para mejorar la conductividad, se encuentra en los chips de las computadoras, principalmente el procesador, pero también en la memoria RAM, la tarjeta madre y el disco duro (LYRSA, 2016).

En el año 2014, se reciclaron un total de 1.616 toneladas, lo que se traduce en un 37% de la demanda global y ha crecido un 60% desde el 2007 en que se regresaron al mercado 1.000



toneladas. El impacto económico que se generó del oro reciclado se estimó entre 23.000 y 2.000 millones de dólares. El valor del oro recuperado es significativo se estima en 16.000 millones de dólares, mientras el extraído de las minas es de 36.000 millones de dólares. Los principales compradores son China, India y E.E.U.U.

En la tabla siguiente se mencionan los países que más reciclaron oro en el año 2014 (GoldTime, 2015).

Tabla 4.8 Principales países recicladores de oro, en toneladas en el año 2014.

Países	Millones de Toneladas
Estados Unidos	129
Italia	123
China	120
India	113
Emiratos Árabes Unidos	73
Turquía	72
Reino Unido	69
México	63
Egipto	54
Indonesia	49
Total	864
Global	1.616

Fuente: GoldTime, 2015.

4.3.3. COBRE.

El cobre es un recurso natural no renovable, fue el primer metal utilizado en su forma nativa por el hombre en la fabricación de herramientas y de productos de ornamentación, en el siglo XX con la instalación de grandes generadores eléctricos y líneas de distribución de energía y transmisión que el cobre se convierte en uno de los metales más usados debido al auge en la demanda de electricidad en el mundo (Luengo, 2011).

Sus propiedades son interesantes como el segundo mejor conductor después de la plata y seguido del oro y el aluminio. El cobre es el material más utilizado para diversas aplicaciones como en el caso de conducir y disipar el calor en los radiadores de los vehículos. El cobre es 100 % reciclable,



además, que no pierde sus propiedades químicas y físicas al reciclar. Un ordenador tiene 1.5 kg de cobre, una casa de 90 m² unos 100 kg y una turbina eólica 5 toneladas de cobre (Lagos, 2010).

De los principales consumidores de este metal son las constructoras, el cobre es muy duradero y algunas cubiertas de este metal siguen utilizándose muchos años después. El cobre tiene una acción bactericida contra gérmenes como son la *Escherichia coli*, así como los mohos, algas y hongos son inactivados (Figueroa, 2010).

4.3.4. PLATA.

La plata fue utilizada como base monetaria en la economía de las civilizaciones antiguas, pueden formar láminas de un grosor de 0.00025 mm y con 1 g de metal producir un hilo de plata de 180 m de longitud, tiene una gran eficiencia en la conductividad eléctrica que cualquier metal (Cuamatzi, Galicia, et al., 2011).

La plata es un elemento escaso en la naturaleza, se encuentra principalmente en minerales que contienen plata como son: argentita (Ag_2S), proustita (Ag_3AsS_3) entre otros. La plata también se utiliza en los conductores, contactos, fusibles, interruptores y temporizadores. Los interruptores son utilizados en teclados de computadoras, hornos de microonda, teléfonos, televisores, etc. Los efectos de las sales solubles de plata fundamentalmente (AgNO_3), son perjudiciales en concentraciones de 2 g. Los compuestos son absorbidos en el cuerpo humano, una enfermedad llamada argiria que se manifiesta con la pigmentación azulada o negruzca de la piel puede causar irritación, también el contacto en las córneas tiene graves daños (Medina, 2016).

La plata tiene también propiedades antibacterianas, se utiliza en productos como son textiles, cepillos de dientes, máquinas de lavandería. La plata incrustada en superficies reduce las infecciones por estafilococos, se utiliza en instalaciones de procesamientos de alimentos. La producción de plata proviene de dos fuentes fundamentales, de las minas y de los residuos de los aparatos electrónicos (Ramírez, 2010).

En la tabla se exponen los países que se dedican a la extracción de plata en el año 2016 (Redacción Opportimes, 2018).



Tabla 4.9 Los principales países mineros del mundo que extraen la plata en año 2016.

Países	Millones de ton
México	5785.247
Perú	4634.418
China	3576.900
Chile	1492.967
Rusia	1461.863

Fuente: Redacción Opportimes, 2018.

4.3.5 EMPRESAS QUE RECUPERAN Y RECICLAN LOS RAEE EN MÉXICO.

Algunas empresas civiles u organismos gubernamentales se suman al reciclaje de los RAEE, algunos se presentan a continuación. La Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal (SEDEMA) ha encontrado una manera de recuperar y aprovechar los RAEE, impidiendo que no lleguen a botaderos clandestinos los aparatos electrónicos que han dejado de funcionar, creando hábitos de separación y reciclaje con trayectos llamados Reciclatrón.

4.3.5.1. RECICLATRÓN.

Es una jornada de recuperación de los RAEE que se realiza con la participación de los ciudadanos, las empresas y las diferentes instituciones u organizaciones civiles, y tiene el propósito que se ejerza una disposición adecuada de estos residuos, se realiza el acopio de los RAEE cada mes en diversos lugares de la Ciudad de México. Los residuos de los AEE que se recuperan en el Reciclatrón se llevan a la empresa Recupera que se encuentra en la ciudad de México temporalmente. Inmediatamente se trasladan a la empresa de reciclaje llamada Cali Resources S.A de C.V. ubicada en Tijuana, Baja California (SEDEMA, 2018).

Los materiales que se recuperan en esta planta de reciclaje son: tarjetas electrónicas, tubo de rayos catódicos (CRT), unidades de procesamientos de dato, monitores LCD, equipo de cómputo, plásticos, materiales ferrosos y materiales no ferrosos. En cada Reciclatrón, se organiza el e-waste en 4 categorías (A, B, C, D, E) con finalidad de gestionar los RAEE de una manera adecuada (GREENDATES, 2015).

- La categoría tipo A incluyen: Teclados, impresoras, miniconsolas, teléfonos fijos, teléfonos inalámbricos, licuadoras, planchas, secadoras de cabello, proyectores, etc.



- La categoría tipo B incluyen: Laptops, CPU's, monitores, televisiones, etc.
- La categoría tipo C incluyen: Celulares y pilas.
- La categoría tipo D incluyen: Cargadores, cables discos y películas.
- La categoría tipo E incluyen: Balastra, pilas alcalinas, transformadores, lámparas.

En el siguiente esquema se presentan los beneficios que se obtienen al reciclar los materiales de los RAEE (SEDEMA, 2018).

Tabla 5.10 Beneficios que se obtienen al reciclar los materiales de los RAEE.

Jornada total del año 2018				
Materiales reciclados en kg				
Aluminio	Hierro	Cobre	Plástico	Vidrio
34.343	102.669	22.801	93.875	39.348

Fuente: SEDEMA, 2018.

4.3.5.2. RECUPERA.

La empresa surge en los años 40, especializada en la comercialización y manejo de materiales reciclables, así como la fabricación de productos reciclados. En los centros de recupera se puede recibir materiales que se generan a nivel individual, los cuales se recuperan y lo reintegran a un nuevo ciclo de vida. Diferentes residuos pueden comprarse a un precio excelente. Los materiales que pueden llevar a los centros de Recupera son los siguientes (RECUPERA, 2018):

- Metales: Aluminio, bronce, latón, plomo y chatarra en general.
- Electrónicos: Equipo de cómputo, servidores, celulares, discos duros, tarjetas electrónicas, etc.
- Otros: Baterías de autos, radiografías, botellas de vidrio, cartón, botellas de agua de alta y baja densidad, revistas, libros, etc. (RECUPERA, 2018).



4.3.5.3 REMSA.

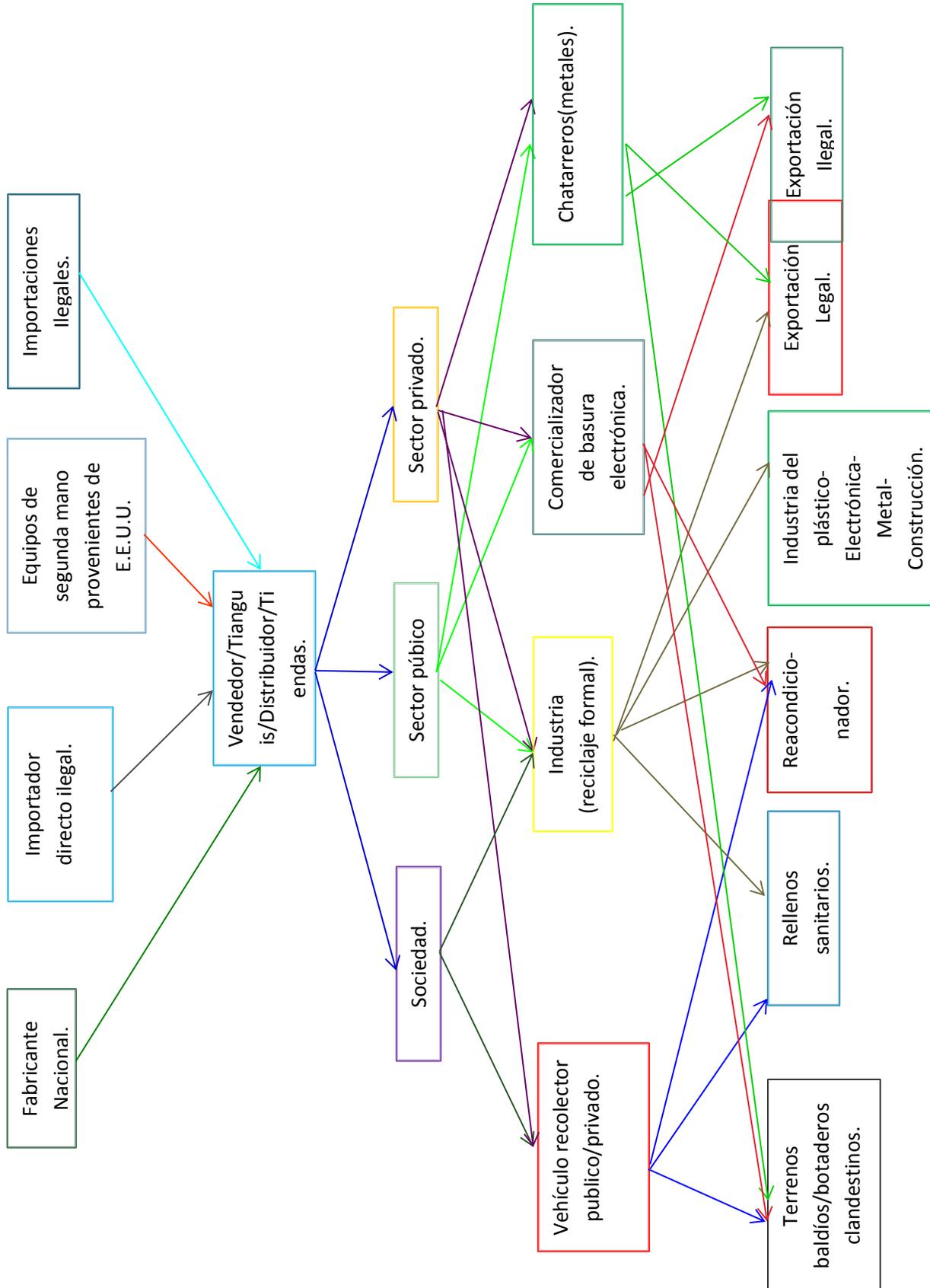
Es una empresa dedicada a fomentar el correcto reciclaje de los AEE, difundiendo información de las consecuencias de los RAEE. Mediante acciones ofrece una solución segura para depositar los RAEE que ya no se necesitan y que podrán integrarse después de diferentes etapas de procesos de recuperación adecuadas, evitando que los componentes de estos residuos electrónicos generen contaminación, y poder mitigar el impacto ecológico de explotar los recursos naturales que se necesitan para producir nuevos equipos (Pineda, 2015).

En sus centros de recuperación se pueden recibir estos residuos (REMSA, 2018):

- Celulares.
- “Palm”.
- “IPods”.
- Computadoras.
- Impresoras, copiadoras.
- Discos duros.
- Laptops.
- Teclados, “mouses “, etc.



A continuación, se presenta un diagrama del procedimiento actual de los RAEE (REMSA, 2015).



Esquema 4.6 Diagrama actual de los RAEE.

Fuente: REMSA, 2015.



CAPÍTULO 5. ALTERNATIVAS PARA LOS RAEE DE LAS COMPUTADORAS EN MÉXICO.

Este capítulo ambiciona mostrar caminos distintos a cerca de los RAEE, de exhortar a la sociedad, a los gobiernos y a las empresas civiles a ser más racionales con el uso de los dispositivos electrónicos.

5.1. HACER UN CONSUMO RESPONSABLE.

Se vive en una sociedad que favorece el consumismo, una generación de comprar y tirar; las instituciones deben cumplir su cometido y hay que exigirlo, pero un consumo consciente y responsable es una decisiva herramienta de presión frente al mercado. No comprar más aparatos electrónicos del que se necesita, son pautas para reducir la basura electrónica (Quiroz, 2007).

5.2. REUTILIZAR.

Reparar y reutilizar son modos interesantes de abordar el problema de los RAEE, ampliando su funcionamiento; sirve también para ampliar la vida útil de los componentes y materiales de los equipos electrónicos para que vuelvan a introducirse en el mercado.

La reutilización tiene importancia en dos ámbitos:

- Ofrece formación para trabajadores con perspectivas de empleo limitadas.
- Los equipos electrónicos reutilizados son más económicos, y permiten acceder a consumidores menos favorecidos con lo que disminuye la brecha digital (Molina, 2012).

5.3. RECICLAJE.

Es un proceso que tiene como finalidad la recuperación y transformación de los materiales que forman los residuos electrónicos.



La recuperación de los materiales de los residuos de las computadoras se basará en una separación manual, posteriormente sus componentes se clasificarán en una forma general: vidrios, plásticos, materiales ferrosos y materiales no ferrosos. Además, la separación de materiales peligrosos se hará por personal calificado y en condiciones seguras para su expedita entrega en la posterior etapa de la cadena a un gestor certificado para su reciclaje el cual a través de diferentes procesos se permita restituir su valor económico (Arenas, 2017).

El reciclado tiene un doble impacto positivo:

1. Permite recuperar materiales de gran valor cuya obtención a través de la minería generan graves daños al ambiente.
2. Se reduce el impacto que estos RAEE generan al entorno al degradarse en forma irracional (De Baja.cl, 2017).

5.3.1. LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA EL MANEJO DE LOS RAEE.

Para llevar correctamente un manejo adecuado de los RAEE se debe realizar las siguientes actividades:

- **Sistemas de acopio y recolección:** Inicialmente lugares establecidos para que los consumidores puedan llevar los RAEE.
- **Transporte/almacenamiento/tratamiento:** inmediatamente los RAEE deben ser llevados a sitios autorizados para su aprovechamiento y tratamiento mediante técnicas adecuadas llevadas a cabo por personal calificado.
- **Disposición Final:** por último, las fracciones de materiales no aprovechables de las computadoras pueden ser entregados al servicio de limpia para que sean depositados en el relleno sanitario, finalmente los compuestos tóxicos se propone confinarlos en lugares que cuenten con requerimientos especiales que eviten emanaciones que puedan contaminar al entorno y a la salud de los seres vivos (RAEE-LATINOAMERICA, 2011).



Lo beneficios que se alcanzan serán (Isan, 2018):

- I. Preservación de recursos naturales.
- II. Disminuir y prevenir la contaminación.
- III. Ahorro de energía.
- IV. Ahorro de dinero.

La basura electrónica genera diversos panoramas positivos y negativos como son:

5.4. IMPACTO ECONÓMICO

La generación de los RAEE se puede ver como una oportunidad de negocio dado el volumen que se generan y los materiales importantes que los constituyen. Es por eso que la minería urbana puede ser de interés para la reducción de estos residuos. la minería urbana es el proceso de recuperación de materiales y componentes de productos; orientados a la conservación de los recursos y la protección del medio ambiente, además de generar beneficios económicos. Se considera que, para la minería urbana, los RAEE son la columna vertebral, ya que se centran en materias primas de interés industrial como metales caros y elementos de tierras raras (Pascuas Y., Correa L., et al., 2018).

En relación a esto, Cossu y Williams (2015) proponen múltiples razones que impulsarían la minería urbana, como por ejemplo la preocupación por el aumento del consumo mundial de recursos no renovables, la escasez progresiva de materias primas primarias, la reducción del espacio disponible para la disposición final de los desechos, y la necesidad de reducir la cantidad de residuos electrónicos generados.

5.5. IMPACTO SOCIAL

Los RAEE, presentan también una oportunidad para aquellas que la recolectan y la procesan. Por eso una legislación nacional que facilite y apoye a través de la formalización de su recolección y tratamiento abriría la creación de empleos (OIT, 2014).



5.6. IMPACTO AMBIENTAL

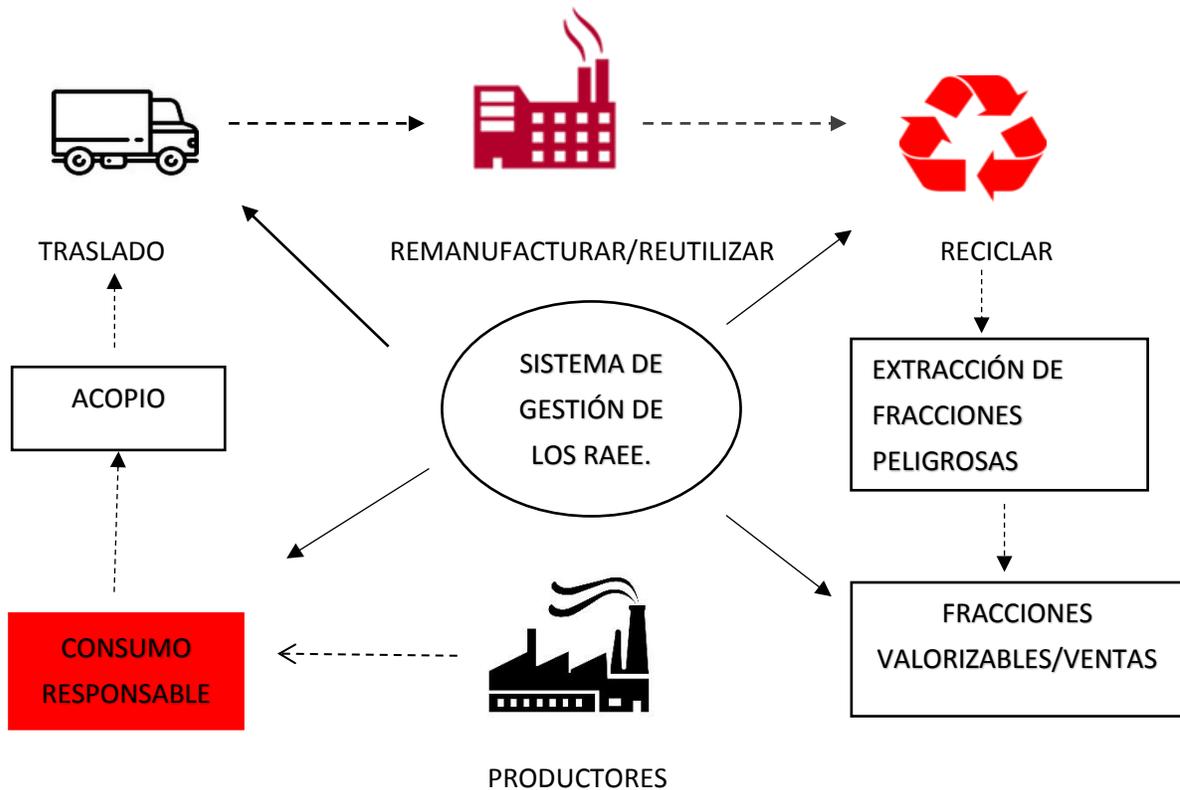
- Emisiones a la atmosfera de sustancias químicas.
- Contaminación de áreas verdes, de suelos y ríos.
- Agotamiento de recursos no renovables como los minerales.
- La lixiviación y filtración que ocurren cuando los equipos electrónicos se depositan de una manera irracional (Vega, 2010).

5.7. IMPACTO POLÍTICO

Se sugiere a los representantes reformar la legislación actual para establecer prioritario el reúso y el reciclaje adecuado de los RAEE, por encima de la eliminación final. El marco legal debe incorporar la responsabilidad extendida del productor, Se debe proponer a los gobiernos (federal, estatales y municipales) generar políticas de atracción de capitales nacionales y extranjeros, en un contexto coherente y definido, además de plantear sinergia entre las autoridades de todos los niveles con los productores, distribuidores, recicladores y la sociedad (INE, 2011).



Adicionalmente, se muestra en el siguiente diagrama una propuesta para el manejo de los RAEE (computadoras) (Méndez, Böni, et al., 2017).



Esquema 5.9 Diagrama de un sistema de Gestión de los RAEE para las computadoras.

Fuente: (Méndez, Böni, et al., 2017).



6. CONCLUSIONES.

- México no cuenta con una legislación específica para los RAEE
- En México los RAEE crecen rápidamente, muchos terminan en rellenos sanitarios o arrumbados en las casas.
- Muchos RAEE de los países de mayor consumo de estos aparatos electrónicos llegan en contenedores por vía marítima a países de África.
- En ciudades de África como la ciudad de Agbogbloshie en Ghana, es el principal vertedero de RAEE en el mundo.
- Emiten toxinas a la atmósfera cuando se desechan de una manera irracional o cuando se queman buscando componentes valiosos.
- Los RAEE no sólo son residuos sino recursos con potencial económico que pueden aprovecharse.
- Es fundamental la participación entre consumidores, empresas civiles, fabricantes, para la reducción de los AEE.
- También es necesario un modelo circular donde se introduzcan en el mercado el reúso de las computadoras y las materias primas que se reciclen.
- La necesidad de tener un sistema de gestión que ofrezca un adecuado tratamiento de los RAEE es imprescindible.



REFERENCIAS.

- ACRR (2002). Guía dirigida a Autoridades Locales y Regionales. Recuperado el 10 de junio del 2017, <http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/LaGestionRAEE.pdf>
- Adminweelabs (2017). ¿Qué significa WEEE? Recuperado el 16 de junio del 2017, <http://weelabs.eu/que-significa-weee/?lang=es>
- Arenas M. (2017). Nobbot: tecnología para las personas. Recuperado el 25 de septiembre del 2018, <https://www.nobbot.com/pantallas/usos-viejo-ordenador/>
- ASEGRE (2012). La Unión Europea aprueba la nueva directiva de residuos a de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). (Asociación de Empresas gestoras Residuos y Recursos Especiales), 2012. Recuperado el 16 de junio del 2017, <http://www.asegre.com/index.php/la-union-europea-aprueba-la-nueva-directiva-de-residuos-de-aparatos-electricos-electronicos-raee/>
- ASIAP (2005). ¿Qué es el RoHS y por qué es importante? Recuperado el 16 de junio del 2017, <http://www.asiap.org/AsIAP/index.php/raee/300-articulos/3004-que-es-el-rohs-y-por-que-es-importante>
- ATSDR (2015). Resumen de salud pública Éteres de polibromodifenilos, división de toxicología y ciencias de la salud. Recuperado el 14 de junio del 2017, https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs207.pdf,
- BBC (2006). Computadoras verdes para todos. Recuperado el 26 de junio del 2017, http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_5117000/5117188.stm
- Boada A. (2003). El reciclaje, una herramienta no un concepto. Recuperado el 11 de octubre del 2018, <http://ingenieroambiental.com/4014/reciclaje5.pdf>
- Bolívar G. (2012). Policloruro de vinilo, historia, propiedades químicas y usos. Recuperado el 26 de septiembre del 2018, <https://www.lifeder.com/policloruro-vinilo/>



Bovea M., Pérez-Belis V. (et al.) (2012). Caracterización de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en su categoría 7. Recuperado el 11 de octubre del 2018, https://www.aepro.com/files/congresos/2012valencia/CIIP12_0973_0984.3774.pdf

Brigden K. y Santillo D. (2006). Presencia de sustancias peligrosas en computadoras portátiles. Recuperado el 11 de septiembre del 2017, <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2006/9/presencia-de-t-xicos-en-comput.pdf>

Cárdenas A. (2012). Influencia de las computadoras en el medio Ambiente, Computadora y medio Ambiente, Universidad de Zulia 2012, recuperado el 14 de junio del 2017, <http://computadorasymedioambiente.blogspot.mx/>

CMIC (2014). NOM-161-SEMRNAT-2011. Recuperado el 24 de septiembre del 2017, http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Varios/Leyes_y_Normas_SEMAR_NAT/NOM/nom.htm#NOMS en Materia de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial

Cossu R. y Williams I. (2015). Urban mining: Concepts, terminology, challenges. Waste Management (45), 1-3.

Cuamatzi J., Galicia A. (et al.) (2011). Proceso Industrial de la Plata, Universidad Politécnica de Tlaxcala, Recuperado el 26 de junio del 2017, <http://procesoindustrialdelaplata.blogspot.mx/>

Cui J. y Zhang L. (2008). Metallurgical Recovery of Metal from Electronic Waste: Recuperado el 27 de agosto del 2018, A Review. *Jornal of Hazardous Material*, 158, pp.228-56.

Diario Oficial de la UE (2003). Directiva 2003/108/CE del Parlamento europeo y del consejo de 8 de diciembre de 2003. Recuperado el 25 de septiembre del 2017, <https://www.boe.es/doue/2003/345/L00106-00107.pdf>

Baja.cl (2017). Basura electrónica: reusar y reciclar para reducir la contaminación. Recuperado el 28 de diciembre del 2018, <https://www.debaja.cl/basura-electronica-reusar-y-reciclar-para-reducir-la-contaminacion/>



Dipublico.Org (2012). Convenio de Basilea sobre el control de movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Recuperado el 15 de junio del 2017, <https://www.dipublico.org/11321/convenio-de-basilea-sobre-el-control-de-los-movimientos-transfronterizos-de-los-desechos-peligrosos-y-su-eliminacion-basilea-22-de-marzo-de-1989/>

Directiva 2002/96/EC de la Unión Europea (2003). Directiva EU RAEE, 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del consejo del 27 de enero del 2003 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Recuperado el 21 de agosto del 2018, http://eur-le.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ac89e64f-a4a5-4c13-8d96-1fd1d6bcaa49.000502/DOC_1&format=PDF

ECO2SITE (2003). Canadá enfrenta el problema de como reciclar los desechos electrónicos. Recuperado el 25 de julio del 2018, <http://www.eco2site.com/Informe-995-Canada-enfrenta-el-problema-de-como-reciclar-los-deshechos-electronicos>

EPA (2017). Plomo. Recuperado el 25 de septiembre del 2018, <https://espanol.epa.gov/espanol/plomo>

Estudio Nacional e Internacional de modelos de gestión de residuos (2006). Recuperado el 16 de agosto del 2018, <https://docplayer.es/14500595-Plan-territorial-especial-de-ordenacion-de-residuos-de-tenerife.html>

FAO (2004). Guía sobre la elaboración de las normas nacionales para la aplicación del convenio de Rotterdam. Recuperado el 28 de agosto del 2018, <http://www.fao.org/docrep/009/a0137s/a0137a03.htm#TopOfPage>

Figueroa G. (2010). Propiedades antimicrobianas del cobre. Recuperado el 15 de octubre del 2018, https://www.umanda.cl/docs/Cobre_Salud_Medio_Ambiente_Nuevas_Tecnologias.pdf

Gestión de Residuos de aparatos Eléctricos y Electrónicos. (2002). Guía dirigida a autoridades locales y Regionales. Recuperado el 29 de agosto del 2018, <http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/LaGestionRAEE.pdf>

Gestión Sostenible de los RAEE en AL (2015). Recuperado el 27 de julio del 2018, <http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2015/05/ITU2015.pdf>



GOLD TIME (2015). La producción mundial de oro alcanzó las 4,447 toneladas durante 2012 y un tercio del total es reciclado. Recuperado el 22 de junio del 2017, <http://www.goldandtime.org/noticia/61708/Goldtime/La-produccion-mundial-de-oro-alcanz%C3%B3-las-4.477-toneladas-durante-2012-y-un-tercio-del-total-ya-es-reciclado.html>

Granados J. (2013). Exposición al Mercurio. Riesgos en la Salud. Recuperado el 25 de septiembre del 2018, https://www.researchgate.net/publication/270338766_Exposicion_al_mercurio_riesgos_para_la_salud

GREENDATES (2015). Reciclatrón: Jornadas de acopio de los residuos electrónicos. Recuperado el 15 de octubre del 2018, <http://greendates.com.mx/reciclatron-jornadas-de-acopio-de-residuos-electronicos/>

GREENPEACE (2011). La basura informática, la otra cara de la tecnología, campaña basura electrónica. Recuperado el 13 de junio del 2017, [Greenpeace.org.ar, basura_electronica_otra_cara_tecnologia.pdf](http://Greenpeace.org.ar/basura_electronica_otra_cara_tecnologia.pdf)

GREENPEACE (2012). Minería y Basura Electrónica: La irracionalidad en los manejos de los residuos. Recuperado el 21 de junio del 2017, <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2012/contaminacion/informe-raee-V.pdf>

Guerra P. (2011). Análisis de Retardantes de llamas emergentes y su impacto en el medio ambiente y en humanos. Recuperado el 27 de junio del 2017, <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/42836>

Gutiérrez D. (2008). The Ewaste Group Especialistas en segregación e integración de residuos eléctricos y electrónicos y tecnológicos. Recuperado el 4 de octubre del 2018, <https://www.theewaste.com/>

Gutiérrez M. (2008) Metales pesados y Metaloides. Mercurio en urgencias toxicológicas. Recuperado el 25 de septiembre del 2018, <https://encolombia.com/medicina/guiasmed/urgencias-toxicologicas/mercurio/>



Hanes G. (2017). ¿Cuáles son los peligros del plástico PVC? Recuperado el 26 de septiembre del 2018. http://www.ehowenespanol.com/cuales-son-peligros-del-plastico-pvc-info_205747/

INC (2015). El Cadmio. Recuperado el 28 de septiembre del 2018, <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/cadmio>

ÍNDIGO AMBIENTAL (2014). Plan de manejo de los Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE. Recuperado el 1 de junio del 2017, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/190023/Plan_de_Manejo_de_Residuos_de_Aparatos_electronicos_y_electricos_RAEE.pdf

INECC (2013). Estudio de Análisis de Ciclo de Vida de Computadoras al término de su vida útil. Recuperado el 10 de junio del 2017, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110039/2013_CGCSA_Estudio_de_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_de_computadoras_al_Termino_de_su_Vida_Util.pdf

INECC.SEMARNAT (2015). Convenio de Basilea. Recuperado el 10 de junio del 2018, <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convenio-de-basilea>

INE (2011). Los residuos eléctricos en México y en el Mundo. Instituto Nacional de Ecología INE, dirección general de investigación sobre la contaminación urbana y regional 2011. Recuperado el 16 de junio del 2017, <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/441/retos.html>

Instructivo para el manejo de Residuos de aparatos Eléctricos y Electrónicos –RAEE. (2013). Recuperado el 20 de junio del 2017, http://intranetsdis.integracionsocial.gov.co/anexos/documentos/3.4_proc_adminis_gestion_bienes_servicios/04_instructivo_raees.pdf

Isan A. (2018). Ecología Verde: ¿Cuáles son los beneficios de reciclar? Recuperado el 25 de septiembre del 2018, <https://www.ecologiaverde.com/cuales-son-los-beneficios-de-reciclar-66.html>

Khaliq. A., Akbar M. (et al). (2014). Metal Extraction processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routers. Resources, 2014(3), pp.152-179.



Kuper J. y Hojsik M. (2008). La contaminación química en los emplazamientos de reciclaje y gestión de residuos electrónicos en Accra y Korforidua, Ghana. Recuperado el 13 de diciembre del 2018, <https://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2008/10/envenenando-la-pobreza-resid.pdf>

Lagos G. (2010). El cobre y el medio ambiente. Recuperado el 15 de octubre del 2018, https://www.umanda.cl/docs/Cobre_Salud_Medio_Ambiente_Nuevas_Tecnologias.pdf

LENNTECH (2018). Efectos del cadmio sobre la salud. Recuperado el 26 de septiembre del 2018, <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>

Lira I. (2016). México, entre países que más basura generan en América, urge Ley para regular empresas. Recuperado el 19 de junio del 2017, <http://www.sinembargo.mx/27-03-2016/1638962>

López A. (2007). Metales Preciosos. Recuperado el 15 de octubre del 2018, https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/6296/braco152_2007_11.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Luengo A. (2011). Medición del poder del mercado en la industria del cobre de Estados Unidos: Una aproximación desde la perspectiva de la Nueva Organización Industrial Empírica, 2011, recuperado el 26 de junio del 2017, <http://www.ecap.uab.es/RePEc/doc/wpdea1102.pdf>

LYRSA (2016). La basura electrónica y el reciclaje de metales preciosos. Recuperado el 15 de octubre del 2018, <http://www.lyrsa.es/blog/157-la-basura-electronica-y-el-reciclaje-de-metales-preciosos>.

Martin R. (2015). Nesbook.es El 65% de los RAEE se gestiona de manera ilegal en Europa. Recuperado el 16 de junio del 2017, <https://newsbook.es/actualidad/el-65-de-los-raee-se-gestionan-de-manera-irregular-en-europa-2015091145130.htm>

Medina P. (2016). Servicio Geológico Mexicano. Monografía de la plata. Recuperado el 24 de septiembre del 2018, <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/pdfs/Monografia%20PLATA.pdf>

Méndez S., Böni H. (et al.), 2017. Guía práctica para el diseño sistémico de políticas para la Gestión de RAEE en Países en vías de desarrollo. Recuperado el 19 de julio del 2017,



https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2017/10/Mendez2017_Guia-RAEE-Politica_ES.pdf

Mendoza E. (2015). México, tiradero de Basura Electrónica. Recuperado el 25 de septiembre del 2018, <https://www.contralinea.com.mx/archivo-revista/2015/06/21/mexico-tiradero-de-basura-electronica/>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). Convenio de Basilea. Recuperado el 26 de septiembre del 2018, <http://www.marn.gob.sv/convenio-de-basilea-sobre-el-control-de-los-movimientos-transfronterizos-sobre-los-desechos-peligrosos-y-su-eliminacion/>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). Guía Ciudadana para la gestión responsable de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Recuperado el 30 de octubre del 2017, <http://www.marn.gob.sv/descarga/guia-ciudadana-para-la-gestion-responsable-de-residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos-raee/>

Molina T. (2012). El mundo de los Residuos Eléctricos y Electrónicos. Recuperado el 27 de diciembre del 2018, [EOI_MundoResiduosAparatos_Junio2012.pdf](#)

Namias J. (2013). The future of electronic waste Reciclyng in the US. Recuperado el 1 de octubre del 2018, Columbia: Earth Engineering Center. Columbia University.

OIT (2014). Combatiendo la informalidad en la Gestión de los RAEE: el potencial en las empresas cooperativas. Recuperado el 23 de junio del 2017, http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---sector/documents/publication/wcms_385565.pdf

OMS (2017). El Mercurio y la salud. Recuperado el 8 de junio del 2017, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>

OPEMED (2016). Jornada sobre prevención y Preparación y Reutilización de RAEE, Etiquetado de AEE. Recuperado el 22 de junio del 2017. <http://gestionderesiduosonline.com/tag/raee/>

Pascuas Y., Correa L., (et al.) (2018). Residuos Electrónicos: análisis de las implicaciones socioambientales y alternativas frente al metabolismo urbano. Recuperado el 23 de diciembre del 2018, <http://www.scielo.org.ar/pdf/cdyt/n56/n56a11.pdf>



Payueta E. (2017). Residuos electrónicos, la plaga del siglo XXI. Recuperado el 27 de junio del 2017, <http://www.futurosostenible.elmundo.es/mitigacion/residuos-electronicos-la-plaga-del-siglo-xxi>

Peralta L. (2012). Una ley mejorará el tratamiento de la basura electrónica en México, el desecho de dispositivos electrónicos en el país es un negocio que se valora en unos 357 millones de dólares. Recuperado el 15 de junio del 2017, http://expansion.mx/planetacnn/2012/03/04/una-ley-mejorara-el-tratamiento-de-la-basura-electronica-en-mexico?internal_source=PLAYLIST

Permanyer O. (2013). Situación e impacto de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) caso de estudios los ordenadores. Recuperado el 20 de junio del 2017, <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19666/TFM%20Olga%20Permanyer.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pineda A. (2015). Hace 18 años fuimos un fracaso. Recuperado el 15 de octubre del 2018, <http://elempresario.mx/emprendedores/hace-18-anos-fuimos-fracaso-remsa>

Pinzón J. (2015). Estado de la gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Colombia atendiendo al marco de convenios, acuerdos y estrategias de gestión en el contexto internacional.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y recursos naturales, tecnología en gestión ambiental y servicios públicos, Bogotá. Recuperado el 21 de junio del 2017, <file:///c:/users/equipoa/downloads/jonathan%20bartolo%20pinz%c3%93n%20jessica%20kimberly%20urbina%20guerra%20universidad%20distrital%20francisco%20jos%c3%89%20de%20caldas%20facultad%20de%20medio%20ambiente%20y%20recursos%20naturales.pdf>

Poma P. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. Recuperado el 8 de junio del 2017 <http://www.redalyc.org/pdf/379/37911344011.pdf>

PROFEPA (2014). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. Recuperado el 27 de julio del 2017, http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1162/1/reglamento_de_la_ley_general_para_la_preveccion_y_gestion_integral_de_los_residuos.pdf



Quiroz G. (2007). El consumo Responsable. Recuperado el 20 de diciembre del 2018, <https://www.economiasolidaria.org/sites/default/files/reaslibrary/attachments/ConsumoResponsable.pdf>

RAEE-COLOMBIA. (2013). La ley 1672 de 2013 de Colombia, RAEE.ORG.COL. Recuperado el 21 de junio del 2017 <https://raee.org.co/2017/03/03/ley-1672-de-2013-raee-colombia/>

RAEE-LATINOAMERICA (2011). Lineamientos para la Gestión de los RAEE en Latinoamérica. Recuperado el 1 de octubre del 2018, http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/cop10/side-events/e-Waste-initiative_Wednesday/lineamientos.pdf

Ramírez A. (2002). Toxicología del Cadmio. Recuperado el 22 de septiembre del 2017, www.revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php//anales/article/download/1477/1260.

Ramírez R. (2010). Historia de la Plata: Su impacto en las antiguas civilizaciones y la sociedad moderna. Recuperado el 25 de septiembre del 2018, <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num7/art70/art70.pdf>

Ramírez V. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. Recuperado el 29 de septiembre del 2018, <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v69n1/a10v69n1.pdf>

RECICLAME (2003). RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos). Recuperado el 17 de junio del 2017, <http://www.reciclame.info/legislacion/raee-residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos/>

RECIMEX (2013). La Nom-161-semarnat-2011 y los residuos sólidos. Recuperado el 28 de septiembre del 2018, <http://www.recimex.com.mx/blog/?p=224>

RECUPERA (2018). Centros de reciclaje. Recuperado el 25 de septiembre del 2018, http://recuperamexico.com/centros_reciclaje/index.html

Redacción Opportimes (2018). Los 20 países productores de plata del mundo 2016. Recuperado el 3 de diciembre del 2018, <https://www.opportimes.com/los-20-mayores-paises-productores-del-plata-del-mundo-en-2017/>



REMSA (2018). Recicla Electrónicos en México. Recuperado el 25 de septiembre del 2018, <http://www.reciclaelectronicos.com/>

REMSA (2015). Plan de manejo para equipos electrónicos y eléctricos al final de su vida útil. Recuperado el 31 de agosto del 2018, http://www.reciclaelectronicos.com/Resumen_Plan_de_Manejo.pdf

ResiduosCop (2017). Manejo ambiental adecuado. Recuperado el 25 de septiembre del 2018, [http://www.residuoscop.org/porque-tendria-que-importarte-el-convenio-de-estocolmo/Residuos voluminosos RAEE. Estudio Nacional e Internacional de Gestión de Residuos. \(2006\). Recuperado el 16 de agosto del 2018, \[http://cabtfe.es/planes/PTEOResiduos/adjuntos/anexo01_info06.pdf\]\(http://cabtfe.es/planes/PTEOResiduos/adjuntos/anexo01_info06.pdf\)](http://www.residuoscop.org/porque-tendria-que-importarte-el-convenio-de-estocolmo/Residuos_voluminosos_RAEE_Estudio_Nacional_e_Internacional_de_Gestion_de_Residuos_(2006). Recuperado el 16 de agosto del 2018,)

REVERTIA (2011). La ciudad china de Guiyu se convierte en el mayor basurero de residuos eléctricos y electrónicos del mundo. Recuperado el 22 de junio del 2017, <http://revertia.com/es/la-ciudad-china-de-guiyu-se-convierte-en-el-mayor-basurero-de-residuos-electricos-y-electronicos-del-mundo/>

Rezagos (2010). Recuperado el 23 de junio del 2017, <http://www.rezagos.com/pages/raee>

Rodríguez A. (2017). Visión de México de la Gestión de los RAEE. Recuperado el 8 de octubre del 2018, <https://mineriaurbana.org/2017/07/04/vision-de-mexico-de-la-gestion-de-raee/>

Rocha B., Peralta M., y Zavala F. (2015). Revisión Global de los contaminantes emergentes PBDE y el caso particular de México. Recuperado el 28 de diciembre del 2018, http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992015000300010

Román G. (2007). Diagnóstico sobre la generación de Residuos Electrónicos en México. Recuperado el 27 de septiembre del 2018, http://www2.inecc.gob.mx/descargas/sqre/res_electronicos_borrador_final.pdf

Sánchez G. (2016). Ecotoxicología del cadmio. Riesgo para la salud de la utilización de suelos ricos en cadmio. Recuperado el 8 de junio del 2017. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GARA%20SANCHEZ%20BARRON.pdf>



SCT (2016). Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Recuperado el 27 de junio del 2017, <http://www.sct.gob.mx/obrapublica/MarcoNormativo/4/4-1.pdf>

SEDEMA (2018). Reciclación: jornadas de acopio de aparatos eléctricos y electrónicos. Recuperado el 24 de septiembre del 2018, <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/reciclatron/#.W6pTOMel17IU>

Smith M. (2016). Esta colonia de Iztapalapa compra las computadoras que en EU ya no quieren. Recuperado el 6 de junio del 2017, de <http://www.elfinanciero.com.mx>

StEP (2009). Recuperación de metales preciosos y menores por medio de la minería electrónica. Recuperado el 1 de octubre del 2018, <http://Recycling.From E-waste to Resources>. Berlin: UNEP UNU.

UNESCO-RELAC (2010). Los residuos electrónicos: Un desafío para la sociedad del conocimiento en América Latina y el Caribe. Recuperado el 10 de junio del 2018, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000190020>

UMICORE (2007). Recuperación de metales preciosos y menores por medio de la Minería electrónica en México. Recuperado el 1 de octubre del 2018, <http://Recovery from e-scrap in global environment>. Genova: Umicore Precious Metals Refining,

UMOYA (2010). Nigeria: una agencia contra la basura electrónica. Recuperado el 22 de junio del 2017, <http://umoya.org/2010/07/28/nigeria-una-agencia-contra-la-basura-electronica/>.

Vega A. (2010). Residuos Electrónicos. Impacto Ambiental. Recuperado el 27 de diciembre del 2018, <http://losresiduoselectronicos.blogspot.com/2010/03/que-son-los-residuos-electronicos.html>

Villanueva T. (2008). Los metales en Castilla y en León. Recuperado el 15 de octubre del 2008, <http://www.siemcalsa.com/images/pdf/Los%20metales.pdf>

Weinberg J. (2009). Guía para las ONG sobre los Contaminantes Orgánicos persistentes. Recuperado el 27 de junio del 2017, https://ipen.org/sites/default/files/documents/ngo_guide_pops-es.pdf

Zambrano G. (2009). Materiales y residuos de las computadoras viejas. Recuperado el 10 de junio del 2017, <http://computadoresmedioambiente.blogspot.com/2009/>