



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA

**ESTADO DEL ARTE DE LOS RESIDUOS DE APARATOS
ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)**

T E S I N A
PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN
GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

P R E S E N T A:
BEATRIZ MAGALI SOLÍS MIRANDA

DIRECTOR:
DRA. MA. LAURA ORTIZ HERNÁNDEZ

CUERNAVACA, MORELOS

MARZO, 2019

La presente Tesina fue realizada en el Centro de Investigación en Biotecnología (CEIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM).

Agradezco el apoyo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgar la beca No. 330276 para la realización de la presente investigación.

*Siempre ten presente que la piel se arruga,
el pelo se vuelve blanco,
los días se convierten en años*

*Pero lo importante no cambia.
Tu fuerza y tu convicción no tienen edad.
Tu espíritu es el plumero de cualquier tela de araña.
De tras de cada línea de llegada hay una de partida.
De tras de cada logro, hay un desafío.*

*Mientras estés viva, siéntete viva.
Si extrañas lo que hacías, vuelve a hacerlo.
No vivas de fotos amarillas...*

*Sigue aunque todos esperen que abandones.
No dejes que se oxide el hierro que hay en ti.
Haz que en vez de lástima, te tengan respeto.
Cuando por los años no puedas correr, trota.
Cuando no puedas trotar, camina.
Cuando no puedas caminar, usa el bastón.
¡Pero nunca te detengas!*

Madre Teresa de Calcuta

DEDICATORIA

**A MARIO IVAN SOLÍS MIRANDA (1985-2004) *IN MEMORAM*.
POR SU EJEMPLO DE VIRTUD, TRABAJO Y DSCIPLINA.**

AGRADECIMIENTOS

Al posgrado (EGIR) del Centro de Investigación en Biotecnología (UAEM) por aceptarme y permitirme desarrollar profesionalmente.

Especial agradecimiento a la Dra. Ma. Laura Ortiz Hernández por su completa dedicación, por compartir sus conocimientos invaluable para llevar a cabo esta tesina, y sobre todo por su paciencia antes y durante la investigación-redacción de la misma.

A los profesores de la EGIR por compartir sus conocimientos, en particular al Mtro. Enrique Sánchez Salinas por todas sus enseñanzas, sugerencias y apoyo personal.

A los miembros del comité tutorial:

Dr. Alexis G. Rodríguez Solís y Mtra. Ariadna Zenil Rodríguez por su apoyo incondicional, por las valiosas contribuciones que hicieron al trabajo final y por el tiempo que dedicaron para revisarlo.

A los miembros del comité revisor:

Dra. Patricia Mussali Galante por el apoyo y confianza que me ha brindado, así como el interés y motivación para continuar con mis estudios de posgrado.

Mtro. Julio C. Lara Manrique por sus valiosas observaciones y sugerencias durante la escritura de la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS A TITULO PERSONAL

A Dios, siempre presente en mi vida.

A mi familia: Erik, Tonantzin e Itzadani por su incondicional AMOR y confianza. Por los sacrificios hechos durante este tiempo (la cuarentena y sus implicaciones, la maternidad, desvelos, paciencia, tiempo, ausencias, etc.), el esfuerzo no fue en vano, ¡lo logramos!

A mis padres Margarita Miranda Sotelo y Rufino Solís Pérez quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a una hija, AMOR. Quienes sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida, que me han formado y educado. A quienes la ilusión de su existencia ha sido verme convertida en una profesionista, madre, esposa y mujer de bien y llena de éxito.

A mis hermanos José, Luis y Rey, por sus palabras de aliento, apoyo incondicional, así como el cariño y cuidado que le brindan a mis hijas.

A mi suegra Constanca Morales y a mi cuñada Viviana, quienes también fueron mi motor para no desistir de mis estudios y llegar al final.

A mis compañeros de la EGIR: Karla, Daniela, Pamela, Martha César G., César R. y Sergio por los conocimientos compartidos y ocurrencias durante la clase (¿maestro se dice muéranse o muéranse?).

A mis hermanas y amigas Leslie, Betsabe y Lizeth quienes a pesar de la distancia he contado siempre con ellas de manera incondicional.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Obsolescencia.....	3
1.1.1. Obsolescencia percibida	3
1.1.2. Obsolescencia programada	4
1.2. Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.....	5
1.3. Impactos ambientales y a la salud humana.....	8
1.4. Opciones de manejo de los RAEE.....	9
1.4.1. Análisis de Ciclo de vida.....	9
1.4.2. Análisis de Flujo de Materiales (AFM).....	12
1.4.3. Análisis de criterios múltiples (ACM).....	13
1.4.4. Responsabilidad extendida del productor (REP)	14
1.4.5. Estrategias.....	15
1.5. Tipos de tratamientos	16
1.5.1. Reutilización y reparación.....	16
1.5.2. Refabricación.....	17
1.5.3. Reciclado.....	18
1.5.4. Recuperación de energía	24
1.5.5. Disposición final	24
1.6. Legislación relativa a los RAEE.....	25
1.6.1. Internacional	25
1.6.2. Regional	26
1.6.3. Nacional.....	28
1.6.4. Estatal.....	29
1.6.5. Planes de manejo	30
CAPÍTULO 2	
ANTECEDENTES	33
CAPÍTULO 3	

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	36
CAPÍTULO 4	
JUSTIFICACIÓN.....	37
CAPÍTULO 5	
OBJETIVOS.....	38
5.1. OBJETIVO GENERAL	38
5.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	38
CAPÍTULO 6	
METODOLOGÍA.....	39
CAPÍTULO 7	
RESULTADOS.....	40
7.1. GENERACIÓN DE RAEE	40
7.1.1. Generación de RAEE en Asia	44
7.1.2. Generación de RAEE en Europa	46
7.1.3. Generación de RAEE en África.....	47
7.1.4. Generación de RAEE en Oceanía.	48
7.1.5. Generación de RAEE en América	49
7.1.6. Algunas consideraciones finales acerca de generación de RAEE.....	56
7.2. IMPACTOS AMBIENTALES Y A LA SALUD HUMANA.....	57
7.3. NORMATIVIDAD DEL MANEJO DE LOS RAEE.....	62
7.3.1. Marco legal.....	62
7.3.3. Legislación relativa a los RAEE en México.....	78
7.4. MANEJO DE LOS RAEE.....	80
7.4.1. El manejo de los RAEE a través de experiencias a nivel mundial.....	80
7.4.2. Reciclaje informal	84
7.4.3. El manejo de los RAEE en México	85
CAPÍTULO 8	
CONCLUSIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXO.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Reutilización de RAEE's.	17
Figura 1.2. Proceso de refabricación de los RAEE.	17
Figura 1.3. a) Proceso de desmantelamiento de CPU. b) Proceso de desmantelamiento de Gadget.	20
Figura 1.4. Proceso de trituración de RAEE's.	21
Figura 1.5. Máquina con dispositivo magnético.	22
Figura 6. 1. Marco referencial de los temas asociados a los RAEE.	39
Figura 7. 1. Generación de RAEE mundial. Nota: La generación 2017-2021 son estimaciones. Fuente: Baldé <i>et al.</i> , 2017.	41
Figura 7. 2. Pronóstico de generación de RAEE en el periodo 2010-2018. Fuente: Statista, 2018.	41
Figura 7. 3. Generación de RAEE mundial en 2016. Fuente: Elaboración propia con datos de Baldé <i>et al.</i> , 2017.	42
Figura 7. 4. Generación de RAEE por continente en 2016. Fuente: Elaboración propia con datos de Baldé <i>et al.</i> , 2017.	45
Figura 7. 5. Generación per cápita de RAEE en Asia. Fuente: Baldé <i>et al.</i> , 2017.	45
Figura 7. 6. Generación per cápita de RAEE en Europa. Fuente: Baldé <i>et al.</i> , 2017.	46
Figura 7. 7. Generación de RAEE per cápita en África. Fuente: Baldé <i>et al.</i> , 2017.	47
Figura 7. 8. Generación de RAEE per cápita en Oceanía. Fuente: Baldé <i>et al.</i> , 2017.	48
Figura 7. 9. Generación per cápita de RAEE en América. Fuente: Baldé <i>et al.</i> , 2017.	50
Figura 7. 10. Composición de los residuos electrónicos en 2010. Fuente: SEMARNAT e INE, 2011.	52
Figura 7. 11. Generación de residuos electrónicos en México. Fuente: SEMARNAT e INE, 2011.	53
Figura 7. 12. Generación estimada de residuos de aparatos electrodomésticos para los años 2009 a 2012. Fuente: SEMARNAT e INECC, 2012.	54
Figura 7. 13. Generación de RAEE's en México en unidades de kilo toneladas (kt). Fuente: Elaboración propia con datos de Magalini <i>et al.</i> , 2015.	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1. Categorías generales de RAEE.....	6
Tabla 1. 2. Etapas del ciclo de vida de AEE (Sanabria y Díaz, 2017).....	11
Tabla 7. 1. Generación de RAEE por continente en el año 2016.	43
Tabla 7. 2. Comparación de la generación de RAEE en México.....	53
Tabla 7. 3. Generación nacional de RAEE para el año 2006.....	55
Tabla 7. 4. Presencia de contaminantes en el ambiente derivados de compuestos de los RAEE.	58
Tabla 7. 5. Estudios de afectaciones en la salud humana en habitantes de zonas de reciclaje de RAEE.....	60
Tabla 7. 6. Efectos en la salud humana de diferentes compuestos derivados de RAEE.....	61
Tabla 7. 7. Resumen de la legislación relativa a los RAEE en diferentes países.	73

INTRODUCCIÓN

El sistema capitalista en el que se desenvuelve la sociedad actual, ha generado una cultura de consumo excesivo de bienes y servicios. Además, el desarrollo tecnológico ha crecido de manera importante generando así una gigantesca producción de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), los cuales contribuyen a facilitar las actividades humanas (domésticas, industriales, científicas, entre otras). Sin embargo, este tipo de aparatos se modifican constantemente, en sentido tecnológico y comercial, lo que conlleva precisamente a la obsolescencia de las versiones anteriores, que a su vez se convierten en residuos conocidos como E- waste (en idioma inglés) o Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), los cuales deberían tratarse de forma particular a fin de evitar o prevenir repercusiones ambientales.

La iniciativa Solving the E-waste Problem (StEP por sus siglas en inglés) de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU), define como Aparato Eléctrico o Electrónico (AEE) a cualquier artículo proveniente de hogares o negocios, que contenga circuitos o componentes electrónicos y una fuente de energía o batería. Asimismo, establece que los RAEE abarca a todos los tipos de aparatos eléctricos y electrónicos -con sus partes-, descartados por su propietario como residuo sin la intención de reutilización (UIT *et al.*, 2015). Pueden incluir desde aparatos domésticos voluminosos (refrigeradores, acondicionadores de aire, equipos de sonido), hasta de menor volumen: teléfonos celulares, tabletas, computadoras, impresoras, reproductores de audio, cámaras fotográficas, entre otros (UE, 2012).

Los RAEE constituyen uno de los mayores flujos de residuos a nivel mundial con grandes implicaciones sociales y ambientales (UIT *et al.*, 2015). Contienen en sus componentes sustancias orgánicas con características tóxicas como son los éteres

bifenílicos polibromados (PBDEs), metales pesados, entre otros (Magalini *et al.*, 2015).

Debido a la forma tan acelerada con la que se modifican y distribuyen los aparatos electrónicos en el mundo, se estima que los volúmenes de RAEE podrían crecer hasta en un 500% en la próxima década (Baldé *et al.*, 2015a). No obstante, para finales del año 2016, se ha alcanzado una generación de 44.7 millones de toneladas métricas (Tm) a nivel mundial (Baldé *et al.*, 2017).

La perspectiva resulta alarmante, por ello en años recientes se han creado a nivel mundial, normativas en materia de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos como en la Unión Europea, Asia y América Latina, entre otros (UE, 2018; Kidde *et al.*, 2013 Iqbal *et al.*, 2015 y Khetriwal *et al.*, 2009). Sin embargo, no todos los países cuentan o ejecutan de manera efectiva estas regulaciones. Particularmente, México cuenta con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos en la cual categoriza a los RAEE como de manejo especial e indica que estos residuos están sujetos a la implementación de Planes de Manejo (LGPGIR, 2003; SEMARNAT, 2011).

Resulta imprescindible entender que los RAEE son un tipo de residuo particular con propiedades específicas, cuya gestión debe realizarse de manera adecuada y conforme lo estipulado en la legislación para evitar la mala gestión de estos. Por lo tanto, en el presente trabajo se pretende realizar un estudio de la situación actual de estos residuos, ¿Cómo manejan los RAEE en otros países?, ¿Qué normatividad y políticas rigen en sus territorios para este tipo de residuos?, ¿Cuáles son algunas consecuencias reales que ya están sucediendo en ambiente y la salud humana?

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Obsolescencia

En la búsqueda del progreso, el desarrollo tecnológico ha sido muy importante para satisfacer las necesidades de bienes y servicios de un mundo actualizado y globalizado. En este sentido la producción de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) constituyen uno de los sectores de mayor crecimiento en la industria manufacturera; a la par, la innovación tecnológica y la globalización de los mercados contribuyen a un proceso acelerado de sustitución de estos productos debido a la pérdida de valor por la disminución de las capacidades o porque deja de ser útil, proceso conocido como obsolescencia (Palma *et al.*, 2016), sumándose a la pila de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) que se generan en el planeta. No obstante, se han descrito dos términos para describir la obsolescencia: programada y percibida descritas a continuación.

1.1.1. Obsolescencia percibida

El consumo no es únicamente un acto de carácter económico y basado en necesidades, gustos o preferencias, sino un acto que en la sociedad moderna pasa a ser una expresión de identidad que le dota de un carácter simbólico ante la sociedad. En este sentido la obsolescencia percibida tiene que ver en la sociedad, donde establece cuando un producto queda obsoleto. Esta, se ve influenciada principalmente por los medios de comunicación, la publicidad, nuestro entorno y círculos de influencia, los cuales nos imponen el deseo o falsa necesidad de desechar productos que aún son servibles para adquirir otros más novedoso, más a la moda.

La moda es creada como un modelo de consumo ostentoso que, al inicio solo se daba en los grupos más elitistas y la finalidad de estas era diferenciarse de otros grupos sociales inferiores. A pesar de esto, actualmente, con el incremento del nivel de vida en general de la población, la moda se abre a más grupos sociales y de este modo las clases inferiores puedan acercarse a las clases más altas. Como resultado, las modas van adquiriendo una gran relevancia en la población considerada como masas. Esto, conlleva a que el consumo se encuentre en continua expansión y la clave también de la existencia de la obsolescencia percibida como imperativo de la producción. Es decir, las modas nos marcan cuando nuestros bienes están obsoletos: un objeto deja de estar de moda. (Rodríguez, 2014).

1.1.2. Obsolescencia programada

En el siglo XIX se presentan los primeros acercamientos a lo que hoy se refiere la obsolescencia programada, sin embargo, en este momento se le conocía como adulteración de los productos y hacía referencia a la forma de engañar en la calidad de los bienes. En esta época con la implementación de ese concepto se buscaba reducir costos y estimular la demanda. La adulteración se podría considerar como el ancestro europeo de la obsolescencia programada, nacida en Estados Unidos (Latouche, 2014).

En general, los aparatos eléctricos y electrónicos tienen un tiempo de vida útil muy corto; muchas veces no puede repararse o reconstruirse, por lo que la persona debe de adquirir (comprar) un aparato nuevo. Esta vida de uso está prevista por el mercado y se le conoce como “obsolescencia programada”, esto es, que tras un período de tiempo calculado por el fabricante o por la empresa, el producto se torna obsoleto, no funcional, se vuelve inútil o inservible; esto se da sobre todo porque la

innovación introduce nuevas generaciones de productos al mercado con ciclos de vida cada vez más cortos y precios más bajos.

Si sumamos a lo anterior que los aparatos eléctricos se han vuelto indispensables en la vida contemporánea, tenemos como resultado la creciente y continua necesidad de renovarlos periódicamente generando así, en un lapso de tiempo realmente corto, el incremento no solo el consumo, sino también de los RAEE.

1.2. Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

De acuerdo con la iniciativa Solving the E-waste Problem (StEP) de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU), se define como Aparato Eléctrico o Electrónico (AEE) a cualquier artículo proveniente de hogares o negocios, que contenga circuitos o componentes electrónicos y una fuente de energía o batería. Asimismo, establece que el término RAEE se refiere a todos los tipos de aparatos eléctricos y electrónicos y sus partes, descartados por su propietario como residuo sin la intención de reutilización (UIT *et al.*, 2015).

Desde el ámbito de clasificación o especificación, la Directiva Europea estableció que para el 2018 todos los AEE se agruparán en 6 categorías generales (Tabla 1.1), esta categorización, que también es válida para los RAEE, es reconocida y validada por la Universidad de las Naciones Unidas (UNU por sus siglas en inglés) para su uso a nivel internacional (UE, 2012 y UIT *et al.*, 2015). Esta clasificación se realiza con la finalidad de separar por categorías el grueso de los residuos electrónicos que se generan a diario, pues tan solo en el 2014, a nivel mundial se generaron 42 Tm de RAEE y se estima que los volúmenes podrían crecer hasta en un 500% en la próxima década en algunos países, alcanzando 48 millones de toneladas métricas (Tm) a finales del 2017, de las cuales 4,5 Tm corresponderían a Latinoamérica (Baldé *et al.*, 2015a). Este dato es una estimación del autor, en la introducción cambié el dato por

el actual de (Baldé *et al.*, 2017) Además, se calcula que cada año se descartan en todo el mundo entre 20 y 50 Tm de productos electrónicos, y en América Latina cerca de 4 millones (Magalini *et al.*, 2015).

Tabla 1. 1. Categorías generales de RAEE.

Categoría	Aparatos que la conforman
Equipos de intercambio de calor	Equipos de refrigeración y congelación (refrigeradores, congeladores, aires acondicionados o bombas de calor).
Pantallas, monitores	Televisores, monitores, computadoras portátiles, notebooks y tabletas. Superficies mayores a 100 cm ² .
Equipos grandes	Lavadoras, secadoras de ropa, lavavajillas, estufas eléctricas, impresoras grandes, fotocopiadoras y paneles fotovoltaicos
Lámparas	Lámparas fluorescentes rectas, lámparas fluorescentes compactas, lámparas de descarga de alta presión y lámparas LED.
Equipos pequeños	Aspiradoras, hornos microondas, equipos de ventilación, tostadores, hervidores eléctricos, rasuradoras eléctricas, balanzas, radios, cámaras de video, juguetes eléctricos y electrónicos, herramientas eléctricas y electrónicas pequeñas, dispositivos médicos pequeños, instrumentos pequeños de monitoreo y control
Equipos pequeños de tecnologías de información y telecomunicaciones (TIC)	Teléfonos celulares, GPS, calculadoras de bolsillo, enrutadores, computadoras personales, impresoras, teléfonos.

Fuente: UE, 2018 y UIT *et al.*, 2015.

En el momento en que los consumidores o dueños de los AEE consideran que no les son útiles y los descartan, se convierten en Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). De hecho, los RAEE son los flujos de residuos de mayor crecimiento en el mundo, aproximadamente a una tasa de 3-5% al año y aproximadamente tres veces más rápido que los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) (Matsukami *et al.*, 2015, Kumar *et al.*, 2017), incluso el 8% de los RSU está constituido por RAEE (Arora *et al.*, 2018). Particularmente, para conocer los datos de generación de RAEE se han aplicado distintas metodologías en las que generalmente utilizan datos de consumo o ventas, peso en masa y el tiempo de vida útil de los AEE, por lo que la contribución de un artículo para la producción anual de RAEE's se demuestra mediante la siguiente formula:

$$E=MN/L,$$

Donde:

E= Generación de RAEE (kg/año),

M = Masa del artículo (kg)

N= Número de unidades en servicio

L= Tiempo de vida útil (años)

Por ejemplo, las computadoras, que tienen una vida promedio de tres años, comprenden una mayor proporción en los RAEE que los refrigeradores y hornos, que tienen una vida útil de 10-12 años (Premalathaa *et al.*, 2014). Por lo tanto, cuanto más corta es la vida útil de un artículo, mayor es su proporción en los RAEE. De hecho, recientemente, Wang *et al.* (2013) propusieron un método de análisis de insumo-producto multivariante para mejorar la precisión de las estimaciones de desechos electrónicos y poder lograr datos más completos.

1.3. Impactos ambientales y a la salud humana

El proceso de producción de todos los aparatos electrónicos genera costos ambientales. Por poner un ejemplo, en la manufactura de una PC convencional de 24 kg de peso en promedio (incluyendo un monitor CRT) se necesitan 240 kg de hidrocarburos, 22 kg de otros productos químicos y 1.5 toneladas de agua, esto indica que la producción mundial de millones de computadoras al año cuenta con un muy alto costo ambiental (Juárez *et al.*, 2013).

Los RAEE constituyen uno de los mayores flujos de residuos a nivel mundial con grandes implicaciones sociales y ambientales. Sumándose a esto, la mala gestión de los residuos puede involucrar un impacto negativo, tanto en el ambiente, como en la salud humana.

Generalmente los RAEE presentan en su composición diferentes tipos de materiales, como son el plomo, el mercurio, el cadmio, el cromo, arsénico, selenio, los bifenilos policlorados (PCB) y los retardantes de llama bromados, los hidrocarburos aromáticos policíclicos persistentes y contaminantes casuales como las dioxinas y furanos, entre otros (Magalini *et al.*, 2015).

Existen evidencias a corto y largo plazo de efectos adversos para la salud, a causa de la exposición a sustancias individuales contenidas en los RAEE, así como los posibles efectos sinérgicos producto de la mezcla de compuestos. Algunos ejemplos que se pueden mencionar son los efectos cancerígenos, trastornos endocrinológicos, anomalías del desarrollo neurológico, resultados negativos de nacimiento, desarrollo reproductivo anormal, deterioro intelectual, déficit de atención y cáncer (Pascale, 2015).

Aunado a lo anterior, existe la problemática de que una gran proporción de RAEE no están siendo recolectados ni mucho menos tratados de forma adecuada; además de que algunos residuos son transportados desde países desarrollados a países en vías desarrollo, en donde tienen una gestión inadecuada y frecuentemente utilizan técnicas primitivas e ineficientes para extraer sus materiales y componentes, provocando así alteraciones graves en el ambiente y en la salud humana (Baldé *et al.*, 2015b).

Los riesgos de efectos adversos para la salud humana van más allá de los individuos expuestos por motivos ocupacionales. Los seres humanos ubicados lejos de los sitios de reciclaje de RAEE también pueden estar expuestos a sustancias peligrosas mediante el transporte ambiental (incluyendo la transferencia a los hogares mediante la ropa de trabajo), la bioacumulación y la persistencia de estos compuestos en el medio ambiente.

1.4. Opciones de manejo de los RAEE

Actualmente se han desarrollado diferentes investigaciones sobre la gestión de los RAEE en el mundo con la finalidad de mitigar la problemática que estos traen consigo y estimar el impacto de la gestión de estos. De hecho, se han implementado diferentes tipos de herramientas para el manejo de los RAEE, hasta ahora las más conocidas son: el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el Análisis de Flujo de Materiales (AFM), Análisis de Criterios Múltiples (ACM) y la Responsabilidad Extendida del productor (REP) (Kidee *et al.*, 2013).

1.4.1. Análisis de Ciclo de vida

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un producto eléctrico o electrónico es una metodología que permite identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes

impactos ambientales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de dicho producto, de esta manera, permitirá diseñar productos (impresoras, computadoras personales, juguetes, dispositivos de calefacción y aire acondicionado, entre otros) respetuosos con el ambiente lo que traerá como consecuencia la minimización de los impactos sobre este (Kidde *et al.*, 2013).

Particularmente, los impactos potenciales sobre el ambiente están desde la etapa de obtención de materias primas y energía, así como en el proceso de transformación de los materiales, hasta la etapa de uso y disposición final. Estos se manifiestan en el cambio de uso de suelo, ecotoxicológicos y toxicológicos sobre los seres humanos, acidificación, eutrofización, oxidación fotoquímica, entre otros. Estos daños se pueden reducir si durante la fabricación se incluyen estrategias de diseño para balancear aspectos de calidad y cantidad entre diferentes tipos de materiales usados. Además de prevenir al máximo los daños al ambiente, también es importante el tratamiento y eliminación adecuada de los residuos generados durante la producción (residuos líquidos, sólidos y emisiones a la atmósfera) (Cruz-Sotelo *et al.*, 2014).

La finalidad de esta metodología es que cada uno de los recursos sea utilizado de manera eficiente, basándose en la preservación de la salud humana y en función de los ecosistemas. El principio básico de esta metodología es la identificación y descripción de las etapas como se mencionó anteriormente, desde la extracción y pre-tratamiento de las materias primas, la producción, la distribución y uso del producto final hasta su posible reutilización o disposición final como se muestra en la tabla 1.2 (Sanabria y Díaz, 2017).

Tabla 1. 2. Etapas del ciclo de vida de AEE (Sanabria y Díaz, 2017).

Etapas	Descripción
Extracción de materias primas	En esta etapa se encuentran las actividades de acción directa sobre el ambiente proveniente de las diferentes industrias, además debe incluirse material no renovable, los recursos hídricos y la biomasa de recolección.
Proceso y fabricación	Actividades necesarias para convertir las materias primas y energía en un producto determinado, mediante procesos productivos industriales y tecnológicos.
Comercialización	Actividades en las que los productos son dispuestos para su venta en almacenes de cadena, entre otros
Distribución y transporte	Traslado del producto final hasta el usuario o cliente.
Uso	Los límites de esta etapa comienzan con la distribución de los productos o materiales, y termina cuando estos pasan a ser residuos.
Recolección	Los residuos sean llevados hasta un centro de acopio para empezar con la siguiente etapa.
Tratamiento	Incluyen todos los mecanismos por los cuales los residuos pueden ser tratados, además de un estudio de las posibles alternativas de gestión.
Reciclaje	Comienza una vez el producto ha cumplido con su función inicial y consecuentemente se recicla a través del mismo sistema de producto (ciclo cerrado) o entra en un nuevo sistema de producto (ciclo abierto).
Gestión de los residuos	Incluye todos los mecanismos de tratamiento de los residuos, en ocasiones se realiza un estudio de las posibles alternativas su gestión
Disposición final	Cuando el material no es valorizado termina su ciclo de vida, en este punto se valora la forma en que es dispuesto, sin embargo, cuando se realice dicho depósito se debe controlar las características físico-químicas del material.

La metodología de la ACV está establecida por la norma ISO 14040:2006 y esta puede ayudar a la identificación de oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida, la aportación de información a quienes toman decisiones en la industria, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales (por ejemplo, para la planificación estratégica, el establecimiento de prioridades, el diseño y rediseño de productos o procesos), la selección de los indicadores de desempeño ambiental pertinentes, incluyendo técnicas de medición y el marketing (por ejemplo, implementando un esquema de etiquetado ambiental o de una declaración ambiental de producto) (ISO, 2006).

1.4.2. Análisis de Flujo de Materiales (AFM)

Es una herramienta que se utiliza para estudiar la ruta de los materiales provenientes de los RAEE que fluye hacia los sitios de reciclaje, o las áreas de eliminación y las existencias de materiales, en el espacio y el tiempo. Vincula las fuentes, las vías y los destinos intermedios y finales del material. Es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para el manejo ambiental y de residuos (Kahhata and Williams, 2012; Ka-Yan *et al.*, 2013 y Müller *et al.*, 2014).

El AFM conecta sistemáticamente las fuentes, las vías y los sumideros intermedios y finales de un material para cuantificar y rastrear el flujo de categorías particulares de desechos electrónicos e identificar redes y cadenas que conectan diferentes fases del ciclo de vida de AEE. Sin embargo, el primer paso para realizar un AFM para los RAEE (en un país, región o ciudad) es establecer el inventario de los RAEE (Ka-Yan *et al.*, 2013; Kahhata and Williams, 2012).

No obstante la disponibilidad de datos es clave para implementar AFM, aunque en cierto grado los flujos de datos se encuentran incompletos se pueden construir utilizando el principio de balance de masa de AFM, el cual incluye los sectores de consumo representados por los sectores residencial, comercial y público; bajo los supuestos de que todos los sectores tienen patrones diferentes con respecto al uso y disposición de las computadoras, y los sectores de administración de Final de Uso (FU) que incluyen la reutilización doméstica, el reciclaje y el relleno sanitario, y la exportación. Dada la complejidad del sector, todas las actividades relacionadas con el consumidor en la fase FU se incluyen en el sector "intermediario". El sector "intermediario" se dedica a la recolección, clasificación entre equipos reutilizables o de desecho, actividades de preparación para la reutilización de computadoras y componentes (refabricación, restauración, reparación o actualización), reventa, donación, preparación de computadoras para el reciclaje, transporte a vertederos,

importación y exportación de computadoras o monitores usados. Por lo tanto, basado en el principio de balance de masa y suponiendo que se pueden obtener datos de otros flujos, las exportaciones de computadoras usadas se pueden calcular a partir del AFM (Kahhata and Williams, 2012).

En general, se han realizado diversos estudios de AFM principalmente para metales (p.e. antimonio, cobalto, oro, elementos de tierras raras, indio, tántalo entre otros). Estos, tienen como objetivo principal comprender las rutas de los metales en la antropósfera, las magnitudes de sus reservas y flujos, y su evolución en función del tiempo. De esta manera, buscan e examinar el potencial de reciclaje de los metales y los flujos de reciclaje futuros y así evaluar los escenarios futuros de disponibilidad de recursos (Müller *et al.*, 2014).

1.4.3. Análisis de criterios múltiples (ACM)

Este análisis, fue desarrollado para considerar las decisiones estratégicas y resolver problemas con múltiples criterios, los cuales incluyen aspectos tanto cualitativos como cuantitativos (Kidee *et al.*, 2013; Quintero, 2014). Los modelos ACM se han aplicado a problemas ambientales, incluidos los de gestión de RAEE, para proporcionar estrategias opcionales de gestión de estos residuos. Este modelo ha sido recomendado para la respuesta social de la gestión de los RAEE y para este fin es una herramienta útil en combinación con otras (Kidee *et al.*, 2013).

El método Scoring es utilizado para decidir las estrategias más adecuadas económicas y ambientales, esta es una herramienta rápida y sencilla para identificar la estrategia preferible en un problema de decisión multicriterio (Quintero, 2014). Las etapas del método son:

- a. Identificar las estrategias
- b. Listar los criterios a emplear en la toma de decisión
- c. Asignar una ponderación para cada uno de los criterios
- d. Establecer cuánto satisface cada estrategia para cada uno de los criterios
- e. Calcular el Score para cada una de las estrategias
- f. Ordenar las estrategias en función del Score. La estrategia con el Score más alto representa la estrategia a recomendar.

$$S_x = \sum W_x R_{ix}$$

Donde:

R_{ix} = rating de la estrategia x en función del Criterio i

W_x = ponderación para cada Criterio i

S_x = Score para la estrategia x

1.4.4. Responsabilidad extendida del productor (REP)

La REP es un enfoque de política ambiental que atribuye la responsabilidad a los fabricantes de recuperar productos después de su uso, este se basa en los principios de quien contamina paga.

Generalmente, los líderes de REP para la gestión de los RAEE son las naciones avanzadas o países desarrollados en los que se incluyen la Unión Europea, Suiza, Japón y algunos estados o provincias de Estados Unidos y Canadá. En Japón, los fabricantes electrónicos han desarrollado soldaduras sin plomo y placas de circuitos impresos sin bromo, y han diseñado nuevos dispositivos para facilitar su desmontaje y reutilización (Valls y Mendella, 2012; Kidee *et al.*, 2013).

1.4.5. Estrategias

Particularmente Balde *et al.* (2015) clasificó las prácticas actuales de estrategias adoptadas para el manejo de los RAEE en cuatro categorías.

Sistema de devolución oficial. Los municipios recogen los RAEE (ya sea por recolección de acera o puntos de recogida municipal), o bien recolección privada y posteriormente son enviados a diferentes centros para otro procesamiento, sin embargo, este método es propio de países desarrollados.

Eliminación con residuos mezclados. Los residuos se eliminan con los RSU que son destinados a rellenos de tierra o incineración y tienen muy pocas posibilidades de separación. Dicha práctica se lleva a cabo principalmente en los países en desarrollo.

Colección fuera de los sistemas oficiales de devolución. Se observa principalmente en los países desarrollados, donde los residuos son recolectados por los distribuidores y luego enviados al reciclaje de metales, plásticos o exportados. Se sabe que casi el 50% de los desechos electrónicos generados por los países desarrollados son exportados ilegalmente a destinos como lo son China, India, Pakistán, Vietnam, Filipinas, Malasia, Nigeria, Ghana y posiblemente México y Brasil (Cucchiella *et al.* 2015).

Recolección informal y reciclaje en países en desarrollo. Se observa sobre todo en los países en desarrollo, donde los trabajadores por cuenta propia dedicados a la recolección y el reciclaje de desechos electrónicos los recogen. La colección es principalmente de puerta a puerta con trabajadores no calificados. Por otra parte, el reciclado formal utiliza una mano de obra más grande y tecnología de bajo nivel e incluye tiendas de chatarra o particulares y generar bajos niveles de ingresos (Yoshida *et al.*, 2016).

1.5. Tipos de tratamientos

Los AEE, contienen materiales valorizables que podrían utilizarse como un recurso que debe aprovecharse y recuperarse en la última etapa de su ciclo de vida cuando ya son considerados como residuos por medio del reciclado de manera que estos recursos puedan ser conservados y utilizados para generar nuevos equipos, los que es conocido como economía circular referida en la Comunicación de la Comisión Europea (UE, 2018). Para esto, el tratamiento de los RAEE se ha convertido en un desafío global para la gestión de estos residuos debido a la composición mixta de vidrio, plástico y otros componentes de materiales e incluso la mezcla de algunos de estos con diferentes productos químicos por lo que las características de cada uno de estos equipos determinarán el mejor proceso de tratamiento (Kumar *et al.*, 2017).

1.5.1. Reutilización y reparación.

La reutilización significa el comercio de los equipos eléctricos y electrónicos o sus componentes en la forma en que fueron diseñados originalmente de tal manera que se vuelven a usar (Figura 1.1). Posterior al uso se da mantenimiento y en su caso una reparación, lo que conduce a la extensión de la vida útil funcional de los AEE. Por lo que estos tratamientos proporcionan muchas ventajas ambientales y sociales; como lo es el ahorro de recursos y energía al disminuir el uso de materias primas para la fabricación de estos aparatos, lo que puede conducir a un menor embalaje requerido; menor cantidad de generación de RAEE y sobre todo ya no se desviarán hacia la corriente de residuos sólidos urbanos. Además, la reutilización también permite que las personas de bajos ingresos tengan acceso a la tecnología a costos más bajos (Baldé *et al.*, 2015a y UIT *et al.*, 2015).



Figura 1. 1. Reutilización de RAEE's.

1.5.2. Refabricación

Es una estrategia de gestión de residuos la cual consiste en la selección y separación en fracciones con y sin potencial de reciclaje para posteriormente procesar y fabricar nuevos productos de naturaleza similar o distinta al producto original que generó el RAEE. Una vez fabricado el producto este sale a la venta en las tiendas o comercios para su futura adquisición por parte de los usuarios, repitiéndose el ciclo indefinidamente (Baldé *et al.*, 2015a y UIT *et al.*, 2015) (Figura 1.2).



Figura 1.2. Proceso de refabricación de los RAEE.

1.5.3. Reciclado.

En el proceso de reciclaje, los aparatos eléctricos y electrónicos se desmontan y se descontaminan las sustancias peligrosas en caso de que las contengan. Tiene la finalidad de reducir la eliminación de RAEE y de contribuir al uso eficiente de los recursos naturales, teniendo en cuenta que en este sector es especialmente relevante la recuperación de las materias primas con valor económico presentes en los AEE. Estos equipos son complejos ya que generalmente incluyen numerosas partes y componentes (piezas metálicas y plásticas variadas, carcasas de plástico, madera o metal, tarjetas de circuitos impresos, tubos de rayos catódicos, pantallas de cristal líquido, entre otros). Básicamente se trata de metales (férreos y no férreos), polímeros, vidrios y otros materiales (madera, caucho, cartón, etc.). La proporción de cada uno de estos materiales dependerá del tipo de aparato en cuestión. En el caso de un teléfono móvil, (donde los metales representan el 23% de su peso) se puede contar con la presencia de 40 de los metales recogidos en el sistema periódico: metales básicos como el cobre, estaño, metales especiales como el cobalto, indio y antimonio, y metales preciosos como la plata, oro y paladio. Muchos de estos aparatos tecnológicos contienen tierras raras que son responsables del funcionamiento de muchas de sus aplicaciones. Estos materiales confieren un elevado valor a estos residuos ya que la extracción de este tipo de materiales es costosa y escasa por lo que este sector de residuos está siendo considerado como una forma de minería urbana (BOE, 2015).

Particularmente el proceso de reciclaje de metales pesados trae consigo ventajas generales como lo son:

- 1) Reducción de la demanda de metales
- 2) Reducción de emisión de gases de efecto invernadero (GEI).
- 3) Ahorro de energía, lo que a su vez disminuye a la emisión de GEI.

De igual manera, ayuda a reducir la cantidad de material desechado en los basureros. Incluso con todos los beneficios potenciales, solo el 15% de los desechos electrónicos globales se recicla por completo (Heacock *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2017). Van Eygen *et al.* (2016) mostraron que el reciclado de computadoras de escritorio y portátiles proporciona 80 y 87% de ahorro de recursos, respectivamente.

Generalmente se utilizan dos procesos para el reciclaje de RAEE's, que se mencionan a continuación:

1.5.3.1. Preprocesamiento

Trata con el desmontaje manual de AEE, la eliminación de materiales peligrosos y la separación de varias corrientes. Posteriormente el material que no puede separarse manualmente se envía a trituration y finalmente se separan los metales de plásticos y vidrio mediante el uso de procesos como la separación magnética y por gravedad (Namias, 2013, Kumar *et al.* 2017).

El desmantelamiento es utilizado para eliminar los materiales peligrosos de la corriente de RAEE y luego los separa manualmente en fracciones de metales, plásticos y vidrio. Generalmente la fracción de residuos que no puede separarse manualmente se envía a una ubicación centralizada para continuar con el siguiente proceso (Figura 1.3) (Namias, 2013, Kumar *et al.* 2017).

Los beneficios de este proceso, está en la eliminación de materiales peligrosos, menos emisión de polvo, material de mayor calidad para el procesamiento final, así como más oportunidades de empleo. Sin embargo, existen desventajas ya que en algunas tecnologías nuevas es difícil desmontar sus componentes, generan más tiempo de labor, porque lleva a un gasto extra de mano de obra y transporte (Namias, 2013, Kumar *et al.* 2017).

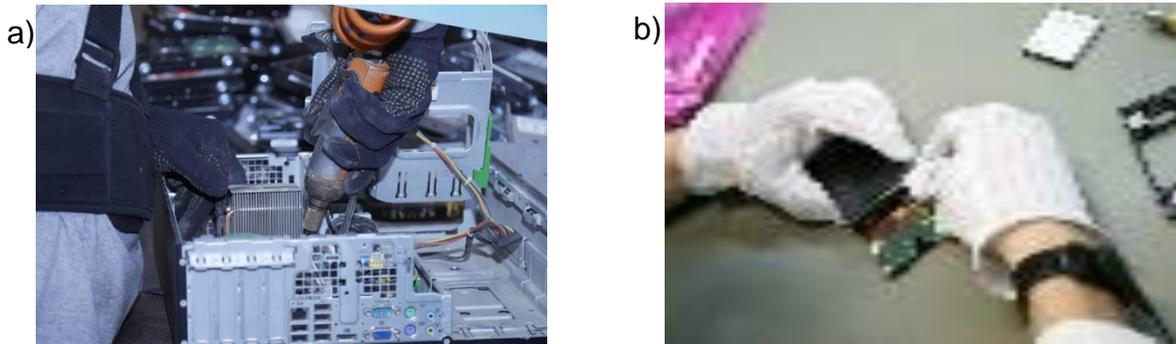


Figura 1.3. a) Proceso de desmantelamiento de CPU. b) Proceso de desmantelamiento de Gadget.

La Trituración implica disminuir el tamaño de partícula del material para el posterior procesamiento. Una cantidad de equipos, trituradoras de metal, molinos de martillos y molinos de cuchillas, se utilizan actualmente para triturar y triturar los desechos electrónicos (Figura 1.4) (Namias, 2013, Kumar *et al.* 2017).

Las ventajas de este paso es que se utilizan sistemas automatizados más rápidos, hay un mayor rendimiento y reduce el volumen para el transporte. Por otro lado, las desventajas que muestra es que genera gran cantidad de polvo, hay una pérdida de material de hasta 40%, hay que invertir capital con la compra de los sistemas automatizados (Namias, 2013, Kumar *et al.* 2017).



Figura 1.4. Proceso de trituración de RAEE's.

Separación mecánica

Este proceso se lleva a cabo para separar varias corrientes del material triturado. La mayoría de las unidades utilizadas en una instalación de reciclaje son operadas, como la concentración de gravedad y la flotación también (Veit *et al.*, 2014). Algunos ejemplos de esta se describen a continuación:

- a) La separación magnética se utiliza para eliminar materiales ferromagnéticos como hierro, acero y metales de tierras raras (Figura 1.5).
- b) Los separadores de densidad tales como mesas de aire, ciclones de aire y separadores centrífugos se utilizan para recuperar metales base tales como cobre, oro y plata de fracciones no metálicas.
- c) Los separadores de corriente Eddy se pueden usar para recuperar aluminio.
- d) Diferentes sensores también están siendo desarrollados/usados para separar varias corrientes entre sí. Por ejemplo, los sensores de infrarrojos se pueden usar para separar diferentes plásticos, mientras que los sensores ópticos se pueden usar para vidrio.



Figura 1.5. Máquina con dispositivo magnético.

Las ventajas que muestra el proceso de separación son que, al tener un sistema automatizado, es más rápido, mayor rendimiento, menor cantidad de masa o volumen de transporte para el proceso final, y menos consumo de energía. Por el contrario, las desventajas que muestra son la inversión de capital, por lo que no es apto para negocios de reciclaje pequeños además que existen problemas de remoción de humedad para sistemas húmedos.

1.5.3.2. Procesamiento final

Involucra procesos para recuperar metales valiosos del concentrado obtenido después del preprocesamiento y se usa principalmente para recuperar y purificación de cobre, oro, plata y paladio. Los procesos más ampliamente utilizados son pirometalurgia, hidrometalurgia y bio-metalurgia (Lu *et al.*, 2015, Namias, 2013).

El proceso pirometalúrgico implica la fusión de los materiales/concentrado en un horno de alta temperatura para obtener una mezcla de metales deseados que se purifican adicionalmente en su mayoría usando electrorefinado. Se utiliza principalmente para recuperar cobre, oro, plata y paladio. El hierro y el aluminio generalmente se oxidan e informan a la escoria (Lu *et al.*, 2015, Namias, 2013).

Los beneficios que presenta este proceso, está en que las tasas de reacción son más altas, más rápidas debido a una alta temperatura y una separación más fácil de residuos valiosos. Y las desventajas están en función de que requieren grandes cantidades de energía, generan dioxinas, furanos y metales volátiles causantes de problemas en la salud pública y ambiental (Khaliq *et al.*, 2014; Veit *et al.*, 2014).

El tratamiento hidrometalúrgico implica la lixiviación del concentrado del pretratamiento con diversos productos químicos para disolver los metales valiosos en la solución. Se utilizan agentes de lixiviación específicos para precipitar metales específicos del material de desecho que se purifican finalmente mediante electrodeposición.

Ventajas de este proceso: es más preciso, predecible, fácil de controlar, menos intensivo en energía. Sin embargo, las desventajas están en que es lento, requiere más tiempo, se necesita moler tamaños más finos para una eficiente lixiviación, se requiere de productos químicos por lo que existe una alta toxicidad, costos altos y generación de efluentes (Khaliq *et al.*, 2014; Veit *et al.*, 2014).

El tratamiento bio-metalúrgico es un proceso amigable con el medio ambiente donde los microbios se utilizan para lixiviar el metal del residuo. Este método ha ganado cierta popularidad para extraer mineral de cobre y oro. De hecho, la bacteria acidófila *Thiobacillus ferrooxidans* es el microbio más utilizado para lixiviar cobre y oro. La purificación final se lleva a cabo por medio de una serie electromagnética.

Los beneficios de este proceso es que tiene bajos costos de operación, reducción en el uso de productos químicos, facilidad de manejo de las aguas residuales/efluentes, más ecológico. Sin embargo, como todo proceso presenta desventajas, las cuales son:

la lentitud del proceso, no se encuentra completamente desarrollado para la complejidad metálica más alta de los RAEE (Namias, 2013).

1.5.4. Recuperación de energía

La incineración tiene como objetivo principal asegurar la disposición o la transformación segura del material en una forma inerte; sin embargo, también se dirige a utilizar el poder calorífico contenido en los materiales para recuperar energía, lo cual constituye un nivel más alto en la jerarquía de la gestión de desechos y establece una mejor opción ante la quema sin la recuperación de energía o su disposición, ya que proporciona oportunidades para el suministro de energía no fósil. No obstante, tiene la desventaja de generar peligros para el medio ambiente cuando se carece de medidas de control adecuadas (p.e. emisiones de mercurio, dioxinas y furanos) (MAVDT, 2011).

1.5.5. Disposición final

Implica la eliminación de aparatos o de sus componentes cuando no pueden reutilizarse, reciclarse o usarse para la valorización energética. Es el último paso a seguir en el tratamiento de reducción de residuos los cuales terminan en rellenos sanitarios o rellenos de seguridad.

En los rellenos sanitarios, solo pueden disponerse los materiales no aprovechables identificados durante las etapas anteriores de manejo de los RAEE tales como polvo acumulado en los equipos, calcomanías y papel adherido a éstos, material de empaque, gomas y caucho.

No obstante, si se requiere la disposición de las fracciones sobrantes en los procesos de reciclaje e incineración, ésta debe realizarse en rellenos de seguridad, al igual que los componentes con contenido de sustancias peligrosas que no cuenten con

procesos de aprovechamiento adecuados, siempre y cuando cumplan con los requerimientos técnicos que exige un relleno de seguridad. Los termoplásticos molidos o granulados también pueden ser depositados en rellenos de seguridad, al no ser incinerados o reciclados. Además de que si se cuenta con la incineración de algunas fracciones habrá que incluir la disposición final de las cenizas (UIT *et al.*, 2015).

1.6. Legislación relativa a los RAEE

1.6.1. Internacional

Debido al reconocimiento de los efectos nocivos tanto al ambiente como a la salud humana ocasionados por los RAEE, se han promovido y aprobado legislaciones, a nivel mundial, que pretenden impulsar sistemas de gestión de RAEE. El desarrollo de estos marcos legales está comenzando a transformar las percepciones y producción en países miembros y no pertenecientes a la OCDE (Silva, 2009). Sin embargo, es importante mencionar que las regulaciones no se desarrollan a la par del crecimiento constante de los RE (Araiza-Aguilar *et al.*, 2016).

Dentro de la reglamentación internacional aplicable a los RAEE, existen instrumentos globales que se aplican indirectamente a este tipo de residuos, como son, el Convenio de Basilea, la enmienda al Convenio de Basilea sobre la prohibición de exportar residuos peligrosos, el Protocolo de Montreal, el Convenio de Estocolmo y el Convenio de Rotterdam (UIT *et al.*, 2015). Estos convenios en conjunto con las normas de la Unión Europea, dan orientación para la legislación la región de América Latina. Disponen, entre otros la sustitución de sustancias peligrosas en la producción y la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) desde el diseño y

la producción del producto hasta el tratamiento de los residuos (Valls y Mendella, 2012).

Particularmente, la Unión Europea en su Directiva 2012/19/UE establece medidas destinadas a proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos de la generación y gestión de los RAEE, además pretende reducir el volumen que va a los vertederos y mejorar el comportamiento medioambiental de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de los AEE. Esos agentes incluyen a productores, distribuidores y consumidores, y sobre todo a aquellos directamente implicados en la recogida y tratamiento de los RAEE (U.E., 2012).

Un informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), plantea la “urgente necesidad de preparar a los países en desarrollo ante el surgimiento de una importante cantidad de residuos electrónicos debido a la enorme aceleración del uso de los teléfonos móviles, tabletas o distintos dispositivos, y otros equipos”. Para esto, el PNUMA ha realizado una “Guía para la elaboración de estrategias nacionales de gestión de residuos” (PNUMA, 2013). Sin embargo, en materia de residuos electrónicos existen distintas políticas, de hecho, la misma Directiva Europea ha servido como referencia en la formulación de varios proyectos legislativos en diferentes continentes, incluso en América Latina.

1.6.2. Regional

A nivel regional se encuentra el Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN) firmado en 1994 por Canadá, Estados Unidos y México en el cual refleja el compromiso para una mejora ambiental en la región y como resultado de este surge la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte, integrada

por tres agencias federales de los países signatarios. Así, desde el 2004 estos países han trabajado en conjunto para desarrollar una gestión adecuada de los proyectos de los RAEE considerando que estos residuos representan una problemática tanto ambiental como comercial y por lo tanto debe atenderse de manera conjunta dada la vecindad geográfica y la permeabilidad de las fronteras. Sin embargo, las diferencias en las legislaciones nacionales y la coordinación institucional representan desafíos significativos para contribuir al control del flujo de RAEE (SCCA, 1993).

Por su parte, existe la Plataforma Regional de Residuos Electrónicos en América Latina y el Caribe (RELAC) que es un proyecto de asociación, cuyo objetivo es promover, articular y difundir iniciativas que promueven soluciones para la prevención, gestión y tratamiento adecuado de RAEE’s en América Latina y el Caribe (ALC). Lleva a cabo iniciativas de revisión para reducir la brecha digital, promover los negocios sociales y promover la igualdad de acceso a las iniciativas de mercado para el tratamiento de los desechos electrónicos (RELAC, 2010).

La RELAC también promueve y participa en proyectos de investigación centrados en soluciones para el manejo de desechos electrónicos en ALC; apoyando proyectos e iniciativas de gestión de RAEE en América Latina. Gestiona diferentes sectores (públicos, privados, académicos) y desde la sociedad civil la articulación en la gestión de RAEE. También ofrece herramientas legales y técnicas para la difusión del conocimiento sobre la gestión de los desechos electrónicos, convirtiéndolo en un importante canal de difusión para el problema de estos residuos (RELAC, 2010).

1.6.3. Nacional

En México se cuenta con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), en esta se pretende aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales deben de considerarse en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos; determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos, para prevenir o controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud humana. En esta ley los residuos son categorizados de la siguiente manera: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos Peligrosos (RP) y Residuos de Manejo Especial (RME), esta última categoría se encuentran los residuos electrónicos y son definidos en el Artículo 19, fracción VIII de la siguiente manera: “Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, de los fabricantes de productos electrónicos y de otros que, al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico” (LGPGIR, 2003).

En esta ley, se maneja el principio de Responsabilidad compartida mediante el cual se reconoce que los residuos sólidos urbanos y de manejo especial son generados a partir de la realización de actividades que satisfacen necesidades de la sociedad, mediante cadenas de valor tipo producción, proceso, envasado, distribución, consumo de productos, y que, en consecuencia, su manejo integral es una corresponsabilidad social y requiere la participación conjunta, coordinada y diferenciada de productores, distribuidores, consumidores, usuarios de subproductos, y de los tres órdenes de gobierno según corresponda, bajo un esquema de factibilidad de mercado y eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social (LGPGIR, 2003).

Para el manejo de los residuos de manejo especial fue creada la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, la cual establece los criterios para clasificarlos y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. En esta norma solo se incluyen los residuos tecnológicos de las industrias de la informática y fabricantes de productos electrónicos (SEMARNAT, 2011) descritos a continuación:

-  Computadoras personales portátiles y sus accesorios.
-  Teléfonos celulares.
-  Monitores con tubos de rayos catódicos (incluyendo televisores).
-  Pantallas de cristal líquido y plasma (incluyendo televisores).
-  Reproductores de audio y video portátiles.
-  Cables para equipos electrónicos.
-  Impresoras, fotocopiadoras y multifuncionales

Además de otros que al transcurrir su vida útil requieren de un manejo específico y que sean generados por un generador en una cantidad mayor a 10 toneladas al año y por residuo como lo son:

-  Refrigeradores.
-  Aire acondicionado.
-  Lavadoras.
-  Secadoras.
-  Hornos de microondas

1.6.4. Estatal

De acuerdo con la LGPGIR, los RME son competencia del gobierno del estado y comprenden todos los residuos generados en procesos productivos, residuos generados por el sector salud, actividades pesqueras, silvícolas, servicios de

transporte (llantas), plantas de tratamiento de aguas residuales y residuos electrónicos.

Por lo tanto, las entidades federativas cuentan con la facultad de formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar los programas en materia de RAEE's. También son las encargadas de autorizar el manejo integral de éstos, e identificar aquellos que puedan estar sujetos a planes de manejo (LGPGIR, 2003). Según el artículo 30 los residuos que podrán sujetarse a planes de manejo deben cumplir con los criterios siguientes y los que establezcan las normas oficiales mexicanas:

1. Que los materiales que los componen tengan un alto valor económico.
2. Que se trate de residuos de alto volumen de generación, producidos por un número reducido de generadores.
3. Que se trate de residuos que contengan sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables.
4. Que se trate de residuos que representen un alto riesgo a la población, al ambiente o a los recursos naturales.

1.6.5. Planes de manejo

La gestión integral de los residuos comprende diferentes fases que van, desde su generación hasta la disposición final, para las cuales requieren de un manejo adecuado con el fin de asegurar la protección de la población y el ambiente. Para esto, la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) tiene la responsabilidad de regular este tema a partir de la LGPGIR.

Actualmente existe un instrumento fundamentado legalmente en el capítulo 2 artículo 27 al 34 de la LGPGIR y en el título segundo artículos 16 al 26 de su

reglamento (Capítulos I y II). Dicho instrumento es denominado Plan de manejo, y definido por la propia ley como un instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos específicos, bajo los criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comercializadores, consumidores, usuarios de subproductos además grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno (LGPGIR, 2003).

Particularmente en los objetivos de los planes de manejo, según la LGPGIR (2003), pueden considerarse los siguientes:

-  Promover la prevención de la generación y gestión integral de los residuos, a través de medidas que reduzcan los costos de su administración, faciliten y hagan más efectivos, desde la perspectiva ambiental, los procedimientos para su manejo;
-  Establecer modalidades de manejo que respondan a las particularidades de los residuos y de los materiales que los constituyan;
-  Atender a las necesidades específicas de ciertos generadores que presentan características peculiares;
-  Establecer esquemas de manejo en los que aplique la corresponsabilidad de los distintos sectores involucrados;
-  Alentar la innovación de procesos, métodos y tecnologías, para lograr un manejo de los residuos ambientalmente adecuado económicamente factible y socialmente aceptable.

No obstante, para la elaboración de planes de manejo se requiere realizar diagnósticos previos de la generación de residuos. Particularmente para los residuos electrónicos, en México se han realizado cuatro que han sido publicados por el Instituto Nacional de Ecología y el Instituto Politécnico Nacional, a saber: Diagnóstico sobre la generación de basura electrónica en México (Román, 2007), Diagnóstico sobre la generación de residuos electrónicos al final de su vida útil en la región noreste de México (Acevedo, Rivas y Carrillo, 2008), Diagnóstico de la generación de residuos electrónicos en la frontera norte de México 2009 (Román, 2010) y Diagnóstico de la generación de residuos electrónicos en la zona metropolitana del Valle de México (Meraz, 2010).

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

Los RAEE han sido objeto de discusión en los últimos años, por lo que diferentes investigaciones relacionadas con estos residuos han surgido para conocer la problemática de dichos residuos. Algunos de los estudios se muestran a continuación:

Kidde *et al.* (2013) publicaron una revisión acerca de enfoques de gestión de RAEE's, en donde muestran una visión general de las sustancias tóxicas que se encuentran en estos residuos así como los posibles impactos tanto ambientales como a la salud humana generados por los mismos con casos particulares de lugares de reciclaje como son Guiyu y Taizhou en China, Gauteng en Sudáfrica, Nueva Delhi en India, Accra en Ghana y Karachi en Pakistán, así mismo hace una revisión de publicaciones que demuestran el grado de contaminación por lixiviación (en laboratorio) de los RAEE. Además, muestran las estrategias utilizadas para el manejo de los RAEE utilizadas por algunos países, como son: el Análisis del Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en ingles), el Análisis de Flujo de Materiales (MFA, por sus siglas en ingles), el Análisis de Criterios Múltiples (MCA, por sus siglas en ingles) y la Responsabilidad Extendida del Productor (EPR, por sus siglas en ingles), las cuales han sido empleadas sobre todo en países desarrollados. Sin embargo, en la publicación destacan que la clave del éxito para la gestión de los RAEE sería desarrollar dispositivos ecológicamente diseñados, recolectar adecuadamente los residuos, recuperar y reciclar materiales mediante métodos seguros, así como la eliminación de los RAEE mediante técnicas adecuadas, prohibir la transferencia de dispositivos electrónicos etiquetados como usados o de segunda mano hacia países en desarrollo y primordialmente crear conciencia sobre el impacto de los RAEE. Por tanto, ninguna estrategia es la adecuada, sino más bien juntas pueden complementarse para un funcionamiento correcto.

En México Rojas *et al.* (2013) por medio de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático publicaron un libro titulado “LOS RESIDUOS ELECTRÓNICOS EN MÉXICO Y EL MUNDO”, en el abordan la problemática de los RAEE comenzando desde el contexto internacional en la normatividad para la regulación de los residuos, desde los convenios de Basilea y Estocolmo así como la legislación de la Unión Europea, de Asia, Sudáfrica, Alemania, Japón, América del Norte y las iniciativas gubernamentales de América Latina. Así mismo, analizan la experiencia de México desde el marco legal, la generación y los planes de manejo utilizados como herramientas para la gestión integral de los RAEE; las tecnologías y estrategias para el manejo de dichos residuos en el mundo y algunas recomendaciones de políticas públicas para el manejo de los mismos.

Por su parte, Premalathaa *et al.* (2014) realizaron una publicación acerca del Estado del Arte de la generación, los impactos y el manejo de los RAEE. En ella, detallan los aspectos de la problemática de estos residuos, tales como el aumento de la generación, la composición de los RAEE y su impacto al ambiente así como a la salud humana, el movimiento transfronterizo a pesar de la existencia de legislaciones que regulan su manejo, los métodos rudimentarios utilizados para la separación de sus componentes y sobre todo destaca que el concepto de responsabilidad extendida del productor basado en el enfoque del ciclo de vida el cual según los autores, ha demostrado ser muy inadecuado para frenar la marea de los RAEE en la mayoría de las partes del mundo. Concluyendo que el tamaño y la complejidad del problema sobre estos residuos está aumentando a un ritmo mucho más rápido que la eficacia de nuestras estrategias para contenerlo.

En otra instancia, Kumar *et al.*, (2017) publicaron una revisión en la cual presenta una visión general de las estadísticas sobre la generación mundial de los RAEE y su relación con las ventas de nuevos aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) en general, en el que

muestran que la cantidad total de los RAEE hasta el 2014 el cual alcanzó un aproximado de 41 millones de toneladas aumentando a una tasa del 3 al 5% cada año. Así como una correlación entre los RAEE generados, el producto interno bruto y la población del país en la cual destacan que el PIB de cualquier país tiene una correlación directa con la cantidad de desechos electrónicos producidos por ese país. El documento también describe importancia y los beneficios del reciclaje al presentar las técnicas actualmente utilizadas por las instalaciones de reciclaje.

Más recientemente, Kidee *et al.* (2017) por medio de la Universidad de las Naciones Unidas (UNU, por sus siglas en inglés, United Nations University), la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, por sus siglas en inglés, International Telecommunication Union) y la Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA, por sus siglas en inglés, International Solid Waste Association) publicaron un reporte “The Global E-waste Monitor 2017”. En este informe describen la relación de estos residuos con las metas del desarrollo sostenible, así como información de las tendencias de consumo de los AEE y las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), las estadísticas disponibles de los RAEE de acuerdo a cantidades (estatus y tendencias) de generación por región, así como los movimientos transfronterizos y el estatus de las legislaciones sobre los RAEE. Este informe ofrece la descripción más completa de las estadísticas mundiales de desechos electrónicos siguiendo las directrices desarrolladas por la Alianza para la medición de las TIC para el desarrollo.

CAPÍTULO 3

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según Electronics Take Back Coalition (2014), se requieren 240 kg de combustibles fósiles, 22 kg de sustancias químicas y 1,5 t de agua para producir una computadora con monitor. A pesar del alto consumo en aparatos eléctricos y electrónicos (AEE), los mercados todavía no están saturados, lo cual significa que la generación de residuos electrónicos irá en aumento, por lo que superará la infraestructura para la recolección, la reutilización y el reciclaje.

Sin estrategias de información para la prevención y control de este problema, se pueden causar prácticas inadecuadas de manejo y eliminación de RAEE (Ojeda-Benítez y Aguilar-Virgen, 2016). Lepawsky (2014) menciona que desde hace más de una década el problema de los desechos electrónicos se enfoca en las exportaciones de los países ricos, especialmente en los EE. UU., Canadá y el Área Europea, a países pobres y/o economías de emergencia, que se procesan en condiciones peligrosas para los empleados. Esta situación genera problemas de tipo social, ambiental y de salud, mismos que podrían agravarse si no se atiende esta problemática creciente.

Actualmente es cada vez mayor el interés que esta corriente de residuos ha generado, por lo que en los últimos años, se ha publicado información específica para diferentes regiones del mundo. No obstante, los datos no son consistentes y están dispersos, por lo que no existe un documento en el cual sea posible encontrar información para la toma de decisiones en la emisión de políticas públicas, o simplemente, elaborar planes de manejo basados en datos y estrategias de manejo de los RAEE. Por lo tanto, este documento pretende ser una herramienta para su utilización por tomadores de decisiones a con relación de los diferentes niveles de gobierno.

CAPÍTULO 4

JUSTIFICACIÓN

La tecnología es el mecanismo que articula la vida contemporánea y se manifiesta a través de la constante renovación-actualización de los aparatos eléctricos y electrónicos que usamos a diario. Sin embargo, esta permanente renovación tecnológica genera que muchos de estos aparatos se conviertan en residuos electrónicos. Así, una de las problemáticas recientes en materia ambiental es el manejo de este tipo de residuos, ya que la cantidad crecen de tal forma que rebasan la capacidad de los ecosistemas para integrarlos nuevamente a los ciclos naturales.

En México, existen pautas específicas establecidas para el manejo de residuos, así como la distribución de responsabilidades entre los tres niveles de gobierno. Sin embargo, los residuos electrónicos generados en los hogares, en las instituciones públicas y privadas, generalmente tienen como destino final en los residuos sólidos urbanos, lo cual trae como consecuencia la dispersión de sus componentes en el ambiente, con su potencial impacto sobre la salud y los ecosistemas.

La información acerca de este tipo de residuos es dispersa y muchas veces no es coincidente entre diferentes fuentes de información. En este sentido, el presente estudio pretende generar información de la situación actual respecto la generación y manejo de los RAEE a nivel mundial y en México. Esta información será muy útil para personas que requieran de datos acerca de este tipo de residuos y que puedan encontrarla en un solo documento. Además, puede ser la base para tomadores de decisiones a nivel nacional para encontrar estrategias de manejo acordes con la situación en la que se encuentra el país, así como definir las políticas para elaborar un Plan de Manejo Nacional de este tipo de residuos y fomentar la creación de infraestructura para el aprovechamiento y reciclaje de los mismos.

CAPÍTULO 5

OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la situación actual de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos a nivel mundial y nacional.

5.2. OBJETIVOS PARTICULARES

-  Recopilar información acerca de la generación de los RAEE a nivel global y nacional.
-  Identificar los impactos al ambiente y a la salud, potencialmente generados por los RAEE.
-  Analizar la legislación relativa a los RAEE en diferentes partes del mundo y en México.
-  Conocer las estrategias de manejo, así como los tratamientos que apliquen para estos residuos.

CAPÍTULO 6

METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo por medio de una revisión bibliográfica exhaustiva para generar información acerca de la generación, impactos, manejo, tratamiento y legislación de los RAEE a nivel internacional y en México, para los cuales se tomaron en cuenta los temas observados en la Figura 6.1.

Las fuentes de información utilizadas más relevante fueron las publicaciones del Instituto para el Estudio Avanzado de la Sostenibilidad de la Universidad de las Naciones (UNU-IAS por sus siglas en inglés) “*The Global E-waste Monitor*” en sus diferentes versiones así como las publicaciones a nivel regional (Latinoamérica). Así mismo, se utilizaron buscadores internacionales de revistas de divulgación científica como Elsevier Journal, Pub Med-NCBI, Redalyc, entre otros. Además se consultaron páginas Web oficiales organismos gubernamentales internacionales como PNUMA, ONU, OCDE, entre otros. Así como páginas web gubernamentales de diferentes países.

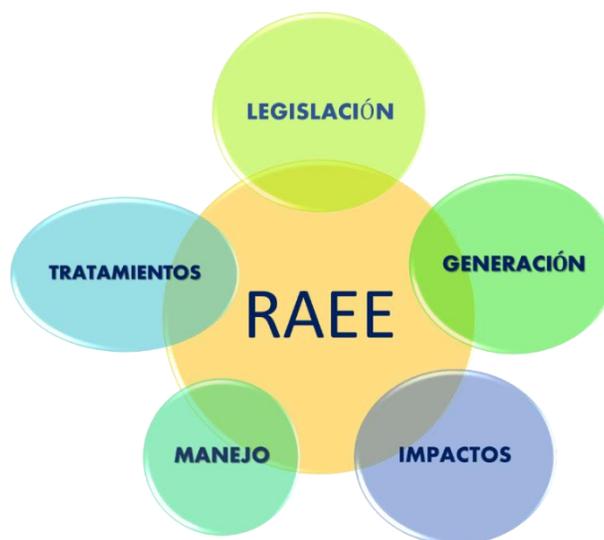


Figura 6. 1. Marco referencial de los temas asociados a los RAEE.

CAPÍTULO 7

RESULTADOS

7.1. GENERACIÓN DE RAEE

El crecimiento del mercado mundial de bienes electrónicos y la reducción de la vida útil de muchos de estos productos han provocado el rápido crecimiento de los residuos electrónicos. Sin embargo, a pesar de existir una legislación para la gestión de los RAEE no es suficiente para conocer la cantidad exacta de generación de estos.

Sin embargo, aún con la poca información que se cuenta, Balde *et al.*, (2017) realizaron un estudio del estado y las tendencias de los RAEE a nivel global en donde reportan una generación mundial de 6.1 kg/hab, 44.7 Tm para el 2016 y a partir de estos datos se estima que la tendencia de la generación de estos residuos crezca en 2017 excediendo los 46 Tm y para el 2021 suba a 52.2 Tm (Figura 7.1), con una tasa de crecimiento anual de 3 a 4%

Otro estudio realizado en el 2018 por el portal de estadística alemán Statista, acerca de la generación de residuos en el mundo menciona que para el año 2016 se generaron 44.7 Tm y para el 2017 fue de 47.8 Tm, indicando un incremento considerable de estos residuos; además también realizaron una proyección de la generación para el 2018 de 49.8 Tm (Figura 7.2), por lo que podemos observar que la tendencia de la generación va en aumento conforme pasa los años, debido al incremento de consumo de los AAE.

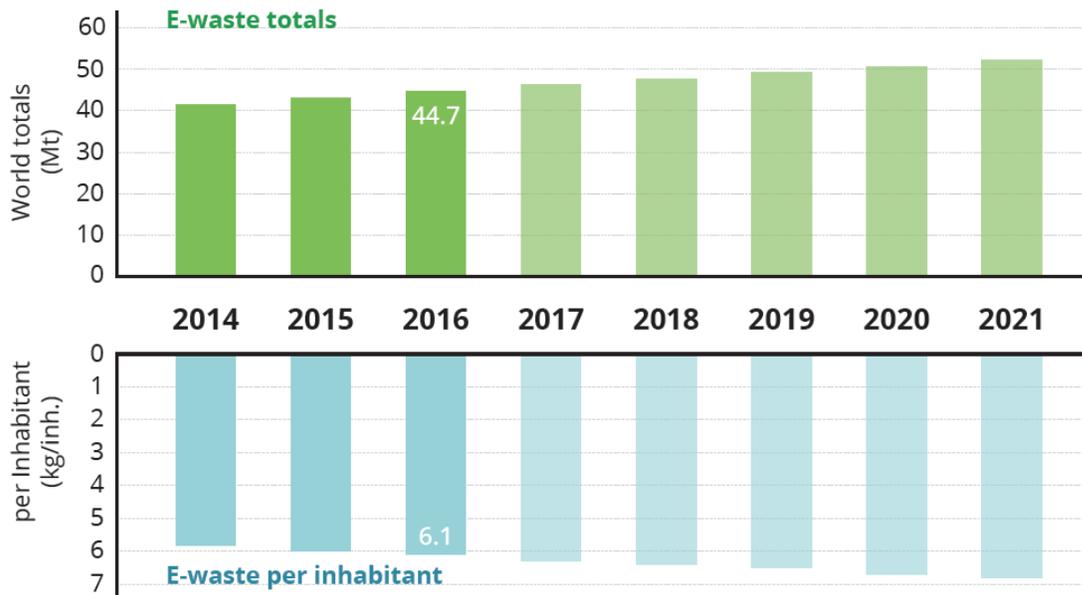


Figura 7. 1. Generación de RAEE mundial. Nota: La generación 2017-2021 son estimaciones. **Fuente:** Baldé *et al.*, 2017.

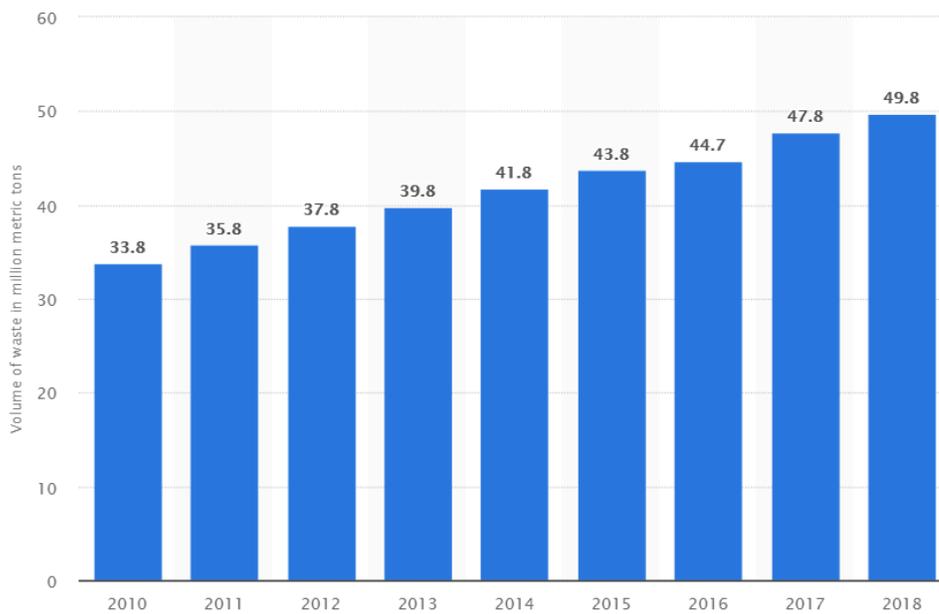


Figura 7. 2. Pronostico de generación de RAEE en el periodo 2010-2018. **Fuente:** Statista, 2018.

Del total de RAEE generados en el año 2016 (44.7 Tm) se desglosa por tipos de AEE en la figura 7.3, como se observa que del total se estimó que 16.8 Tm se comprenden de equipos pequeños, 9.1 Tm de equipos grandes, 7.6 Tm de Equipos de Intercambio de Temperatura (EIT) (incluyendo refrigeradores, congeladores, aparatos de aire acondicionado, bombas de calor y otros) y 6.6 Tm de las pantallas. Las lámparas y las pequeñas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) (incluyen teléfonos móviles, dispositivos GPS, ordenadores y otros productos pequeños) representan una proporción menos de la cantidad mundial de RAEE generados en ese año, 0,7 Tm y 3,9 Tm respectivamente (Baldé *et al.*, 2017).

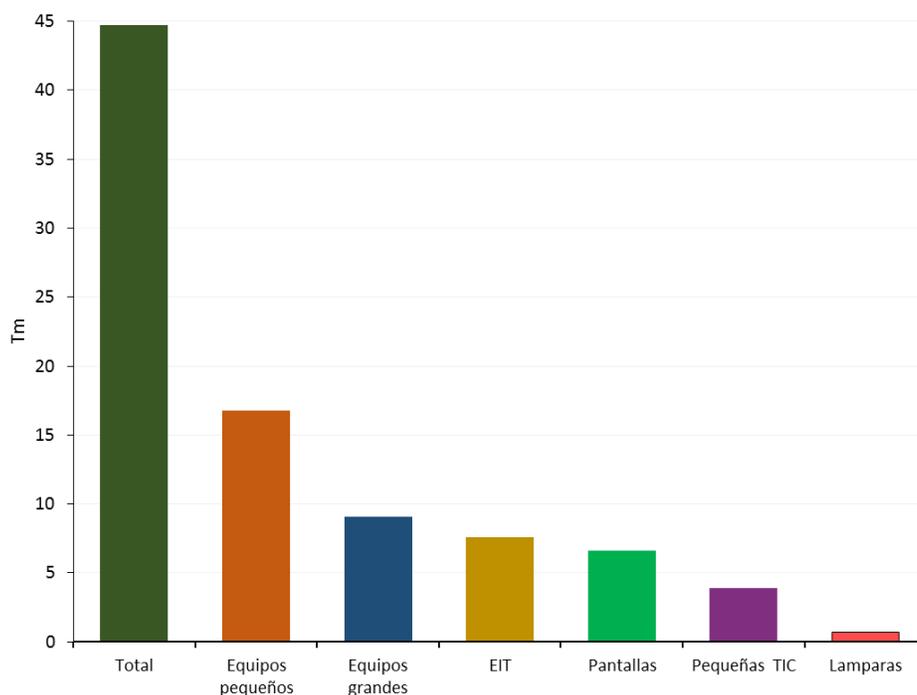


Figura 7. 3. Generación de RAEE mundial en 2016. **Fuente:** Elaboración propia con datos de Baldé *et al.*, 2017.

Por continente, las concentraciones se pueden observar en la tabla 7.1, así como la cantidad de RAEE recuperados para procesos de reciclaje y su equivalente en porcentaje. De acuerdo a los requisitos de la legislación, se informó que al menos 8,9

Tm de RAEE fueron recogidos y reciclados formalmente por un sistema oficial de devolución. Además, se estima que un total de 1.7 Tm de RAEE terminan en contenedores de basura de los países más ricos del mundo sin una gestión o tratamiento adecuado. Sin embargo, la gran mayoría de estos residuos se gestionan fuera del sistema oficial de devolución estimando de esta manera que 34,1 Tm no están rastreados y por tanto se desconoce su destino (Baldé *et al.*, 2017).

Tabla 7. 1. Generación de RAEE por continente en el año 2016.

Indicador	África	América	Asia	Europa	Oceanía
Ciudades	53	35	49	40	13
Población (millones)	1,174	977	4,364	738	39
Generación (Tm)	2.2	11.3	18.2	12.3	0.7
Generación per cápita (kg/hab)	1.9	11.6	4.2	16.6	17.3
Acopiados legalmente (Tm)	0.004	1.9	2.7	4.3	0.04
Recuperación (%)	0	17	15	35	6

Fuente: Baldé *et al.*, 2017.

Como se observa en la tabla 7.1 la mayor parte de los RAEE se generaron en Asia, alrededor de 18.2 Tm o 4.2 kg por habitante en el 2016 de las cuales, aproximadamente 2.7 Tm fueron documentados para ser recolectados y reciclados. Así mismo, en la figura 7.2 se distingue el rango de generación de cada país del continente, distinguiendo a China como el país que genera la mayor cantidad de RAEE tanto en Asia como en el mundo (7.2 Tm), le sigue Japón con un total de 2.1 Tm e India con 2 Tm. Por su parte, las principales economías asiáticas que tienen la mayor generación de RAEE son: Chipre (19.1 kg/hab.), Hong Kong, China (19 kg/hab), Brunei y Singapur (alrededor de 18 kg/hab).

Por su parte, Zeng *et al.* (2017) realizaron un estudio donde se proyecta que la generación de RAEE incremente a 27 Tm para el año 2030. No obstante, China juega un papel importante en la industria global de AEE debido a que es el país más poblado, y por tanto la demanda de estos es muy alta teniendo en cuenta también

su industria manufacturera de estos aparatos. Además, tiene un papel primordial en la renovación, la reutilización y el reciclaje de los desechos electrónicos; de hecho, la industria formal de reciclaje de RAEE ha mostrado un crecimiento considerable en la capacidad y calidad del tratamiento, por lo que se ha documentado que el 18% de los RAEE generados se recogen y reciclan en los últimos años (Baldé *et al.*, 2017).

La generación total y per cápita por continente se puede observar en la figura 7.4, donde se observa como el continente que más genera es el asiático y el que menos genera es Oceanía y, por el contrario, el promedio de generación per cápita más alto se encuentra en Oceanía, probablemente debido a la reducida población que presenta el continente comparado con Asia. No obstante, a nivel mundial los RAEE están creciendo a medida que los consumidores, tanto en países desarrollados con en desarrollo, compran nuevos dispositivos y descartan viejos uniéndose de esta manera a la sociedad mundial de la información. Estos, son uno de los flujos de residuos que crece más rápido en todo el mundo (Matsukami *et al.*, 2015), aproximadamente a una tasa de 3-5% al año y aproximadamente tres veces más rápido que los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) (Kumar *et al.*, 2017).

7.1.1. Generación de RAEE en Asia

En la región de Asia meridional y sudoriental, la India desempeña un papel importante en la generación nacional de RAEE (2 Tm en 2016) debido a la gran cantidad de población que tiene, no obstante, este país es un importante receptor de RAEE de países desarrollados por lo que se están desarrollando estrategias de reciclaje formales en las principales ciudades receptoras. En Asia central, en 2016, generó un promedio de 6.4 kg/hab RAEE, que representan 154 kilo toneladas (kt) en total; una cantidad no comparable a los 10,2 Tm generados en Asia oriental. Por

su parte en Asia occidental se generan 2 millones de toneladas de RAEE (Figura 7.5) (Baldé *et al.*, 2017).

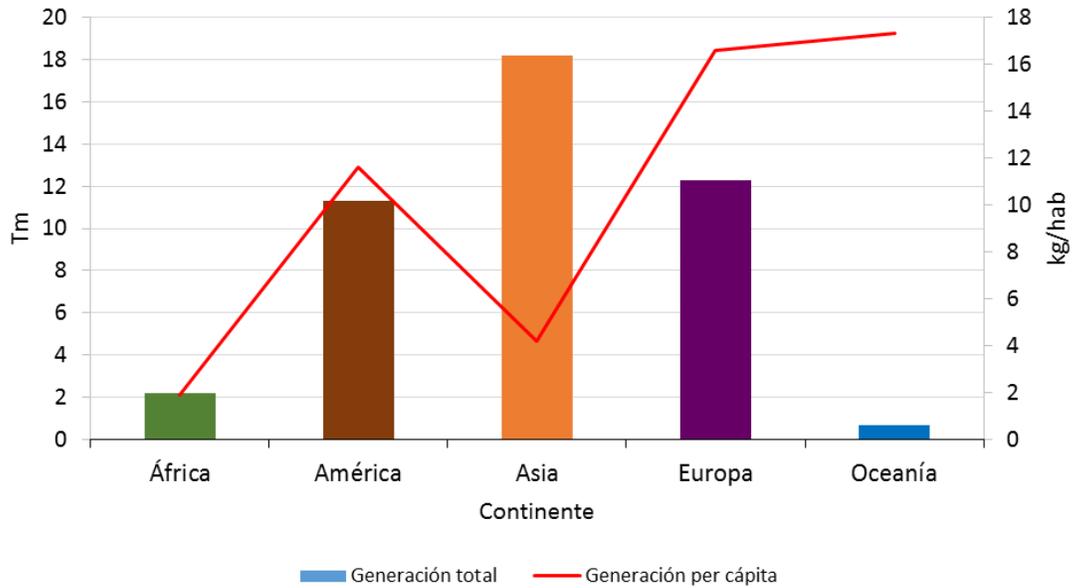


Figura 7. 4. Generación de RAEE por continente en 2016. **Fuente:** Elaboración propia con datos de Baldé *et al.*, 2017.

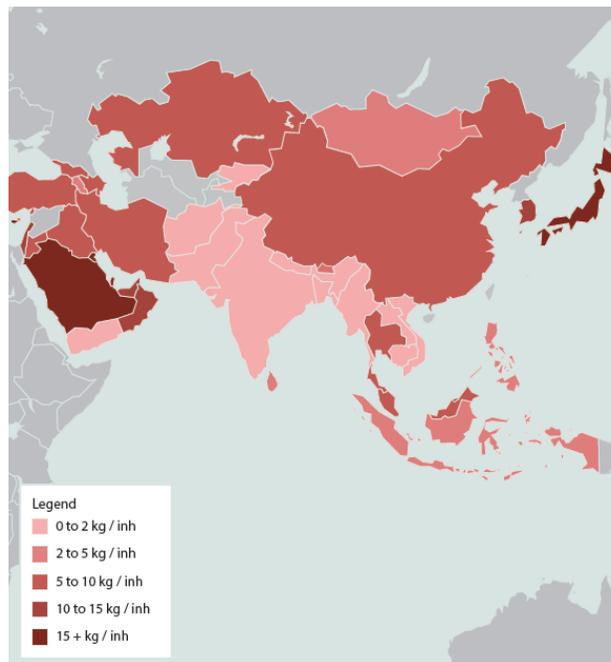


Figura 7. 5. Generación per cápita de RAEE en Asia. **Fuente:** Baldé *et al.*, 2017.

7.1.2. Generación de RAEE en Europa

Por su parte, el continente europeo generó una cantidad de RAEE por habitante de 16.6 kg/hab y 12,3 Tm en total de los cuales se recolectaron alrededor de 4.3 Tm mostrando la tasa de recolección regional más alta del 35% en comparación con los RAEE generados (Tabla 7.1). En la figura 7.6 se distingue el rango de generación de RAEE por país distinguiendo a Alemania como el país que genera la cantidad de RAEE más alta de toda Europa (1.9 Mt) en 2016, seguido de Gran Bretaña y Rusia con 1.6 y 1.4 Tm respectivamente. Sin embargo, Noruega genera la mayor cantidad de RAEE per cápita en todo el continente 28.5 kg/hab, seguido de Gran Bretaña y Dinamarca (ambos con 24.9 kg/hab). No obstante, Suiza, Noruega y Suecia muestran las prácticas más avanzadas de gestión de RAEE a nivel mundial. Por su parte, en algunos países balcánicos se colectan aproximadamente 158 kt de RAEE de los 512 kt generados en 2016, particularmente en Bosnia y Herzegovina se generaron 6.5 kg/hab y en Eslovenia 16.1 kg/hab (Baldé *et al.*, 2017).

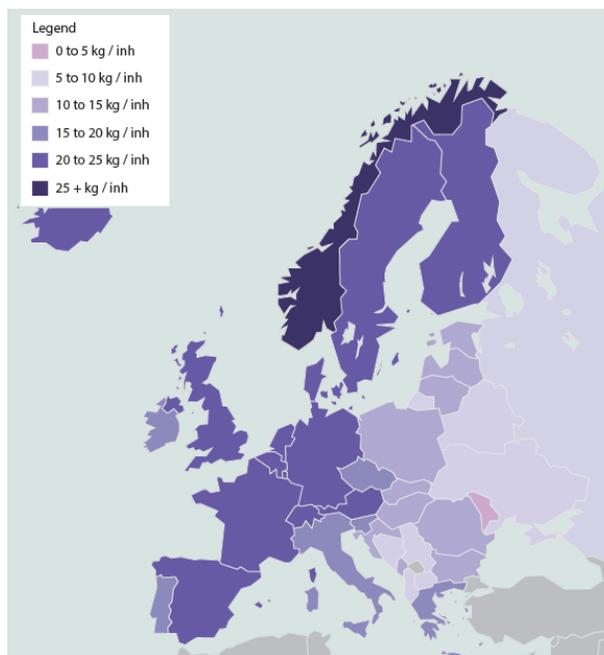


Figura 7. 6. Generación per cápita de RAEE en Europa. **Fuente:** Baldé *et al.*, 2017.

7.1.3. Generación de RAEE en África

La menor cantidad de RAEE en el mundo por habitante se generó en África: 1.9 kg/hab. El continente generó 2.2 Tm de RAE y se estima que se documentaron alrededor de 0.004 Tm como recolectadas y recicladas, lo que es menos de 1%. Del total de la generación se considera que Egipto contribuyó con 0.5 Tm, Sudáfrica y Argelia con 0.3 Tm siendo los mayores generadores. Los tres países africanos que tienen la mayor generación de RAEE per cápita son: Seychelles (11,5 kg/hab), Libia (11 kg/hab) y Mauricio (8,6 kg/hab). No obstante, algunos de los países más pequeños, pero más ricos del continente (Seychelles, Mauricio) generan 11.5 kg/hab y 8.6 kg/hab respectivamente (Figura 7.7), en comparación con el promedio africano de 1.9 kg/hab y el promedio mundial de 6.1 kg/hab (Baldé *et al.*, 2017).

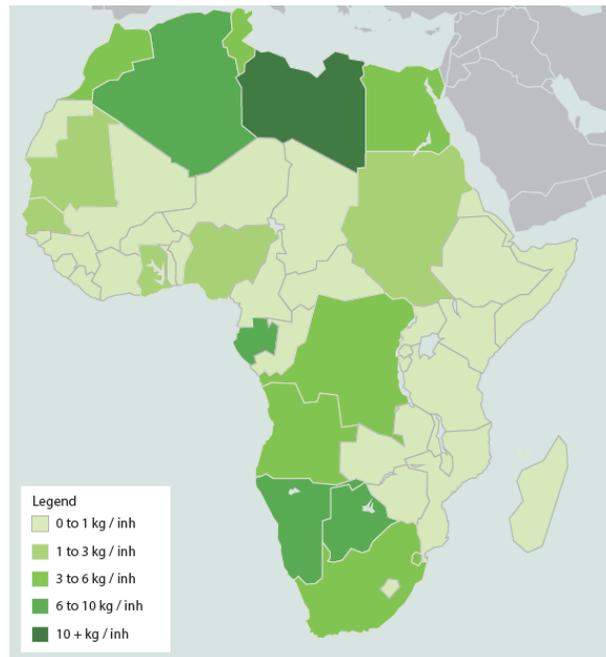


Figura 7. 7. Generación de RAEE per cápita en África. **Fuente:** Baldé et al., 2017.

La mayor parte de los RAEE en este continente se dan debido a las importaciones de equipos usados o para reciclaje. Está constituida por alrededor del 50%-85% de la generación total de estos residuos, el resto proviene de importaciones transfronterizas ilegales de países desarrollados de América, Europa y China (Ogungbuyi *et al.*, 2012).

7.1.4. Generación de RAEE en Oceanía.

En Oceanía para el año 2016, la generación total de RAEE fue de 0.7 Tm (la menor cantidad de estos residuos en el mundo), con un promedio de 17.3 kg/hab y una tasa de recolección del 6% equivalente a 43 kt. En este continente, los países más generadores per cápita de RAEE son Australia y Nueva Zelanda con 23.6 kg/hab y 20.1 kg/hab respectivamente y en cantidades absolutas es nuevamente Australia con 0.57 Tm (Figura 7.8). Los datos oficiales muestran que solo el 7.5% de los RAEE generados en Australia están documentados para ser recolectados y reciclados. En Nueva Zelanda y el resto de Oceanía, la tasa oficial de recolección es 0%

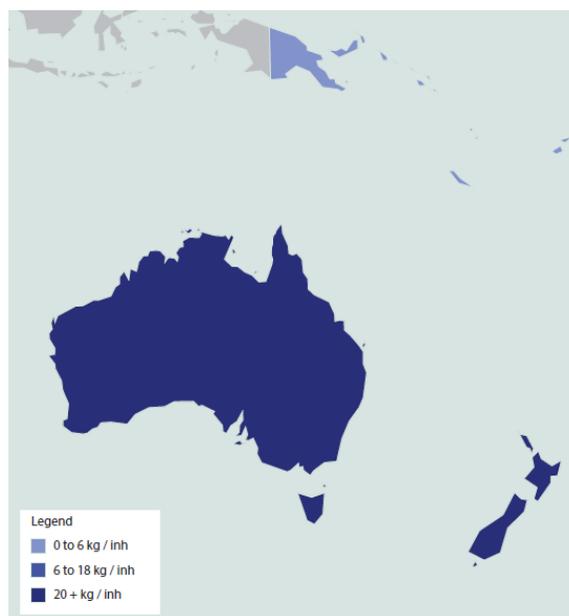


Figura 7. 8. Generación de RAEE per cápita en Oceanía. **Fuente:** Baldé *et al.*, 2017.

7.1.5. Generación de RAEE en América

En el 2016 el continente americano generó 11.3 Tm de RAEE, y por habitante fue un promedio de 11.6 kg/hab; aproximadamente se documentaron 1.9 Tm de los cuales la mayoría provienen de América del Norte (Tabla 7.1). De acuerdo con la distribución geográfica, Norteamérica fue el mayor generador de estos residuos con 7 Tm, 3 Tm en Sudamérica y 1.2 Tm para Centroamérica, así como la generación se distribuye de manera imparcial, las características de gestión de los RAEE también son muy diferentes en todo el continente. Por ejemplo, Estados Unidos (E.U.) y Canadá producen la mayor cantidad de RAEE per cápita, alrededor de 20 kg/hab (Baldé *et al.*, 2017).

En el continente, los países más generadores de RAEE son: E.U. con 6.3 Tm, le sigue Brasil con 1.5 Tm. y en tercer lugar se encuentra México con 1 Tm. En E.U. se recolectaron aproximadamente 1.4 Tm de estos residuos, sin embargo, para el resto su paradero es desconocido. Un estudio en el 2010 estimó que el 8.5% de las unidades recolectadas de computadoras, televisores, monitores y teléfonos móviles se exportaron como unidades enteras (Duan *et al.*, 2013). Por ejemplo, los televisores y monitores se exportaban por tierra y por mar a destinos como lo son México, Venezuela, Paraguay y China, mientras que las computadoras usadas (portátiles) fueron más propensas a ser enviadas a países asiáticos y los destinos de teléfonos móviles fueron Hong Kong (China), los países de América Latina y el Caribe (Baldé *et al.*, 2017). La figura 7.9 muestra los rangos de generación en el continente per cápita. Mostrando a E.U y Canadá como los que generaron más de 15 kg/hab.



Figura 7. 9. Generación per cápita de RAEE en América. **Fuente:** Baldé *et al.*, 2017.

Particularmente, en América Latina, se estimó una generación de 4.2 Tm de RAEE, en promedio de 7.1 kg/hab. En esta zona geográfica, los países que más generaron estos residuos fueron: Brasil con 1.5 Tm, México con 1 Tm y Argentina con 0.4 Tm. Los principales países generadores per cápita fueron Uruguay (10.8 kg/hab), Chile (8.7 kg/hab) y Argentina (8.4 kg/hab) (Baldé *et al.*, 2017).

7.1.5.1. Generación de RAEE en México

Particularmente en México, se ha elaborado solo un diagnóstico de generación a nivel nacional publicado por el Instituto Nacional de Ecología y el Instituto Politécnico Nacional, a saber: *Diagnóstico sobre la generación de residuos electrónicos en México*, en el cual analizaron 5 tipos de RAEE (televisores, computadoras, reproductores de sonido, teléfonos fijos y teléfonos celulares) reportando que en el año 2006 la generación de estos residuos fue de 263,849 toneladas, representando

una generación per cápita de 2.52 kg/hab/año, así mismo, establecieron que el 90% de los RAEE se encuentran almacenados en hogares o lugares de trabajo lo cual lo consideran como una limitante para determinar datos de generación más exactos (Román, 2007).

Posteriormente, se actualizaron los datos de generación de los RAEE a través de estudios regionales; el primero de estos se realizó en 2007 en la región noreste del país. El objetivo de este estudio fue estimar la generación de RAEE's (televisores, computadoras, reproductores de audio, teléfonos de casa y celulares) en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas a partir de un análisis de flujo de materiales acoplados con un estudio económico para desarrollar propuestas para un manejo que pueda implementarse como política pública. La generación de estos residuos en la región fue de 48,331 toneladas (Acevedo et al., 2008). Para el año 2009 se realizó un estudio en el área de la frontera del norte donde se incluyeron las ciudades de Tijuana y Ciudad Juárez, la generación de los residuos electrónicos fue de 32,000 y 40,000 ton/año (Román, 2010). A su vez en el 2010 se llevó a cabo el estudio de generación de residuos electrónicos en el Área Metropolitana de México donde se obtuvo una generación de 94,203 toneladas por año (Meraz, 2010).

En todos los estudios de generación se tomaron en cuenta diferentes datos para la estimación de RAEE's, como son:

- 🌈 Cuantificación de la producción y venta de aparatos electrónicos.
- 🌈 Fuentes de información secundaria y encuestas en casa habitación.
- 🌈 Con base en los resultados del censo de población 2005 del INEGI, donde se reporta el número de casas habitación que cuentan con televisor y computadora, y suponiendo que cada casa habitación hay al menos una

televisión y una computadora, se puede obtener el número mínimo de aparatos electrónicos por estado.

🌈 Con los datos obtenidos y suponiendo que a la fecha se deben de haber dispuesto el 50% de los aparatos electrónicos, una estimación inicial de la cantidad mínima de estos residuos

Por su parte, SEMARNAT e INE (2011) reporta la composición de estos residuos en el año 2010 (Figura 7.10), observando que los televisores analógicos se encontraban en mayor proporción junto con los equipos de sonido y las computadoras de escritorio con 63.4%, 15.5% y 13.4%, respectivamente. Así mismo, desglosan la generación por año a partir del 2006 hasta 2010 (Figura 7.11) y realizan la comparación entre el año 2006 y 2010 de estos residuos (Tabla 7.2).

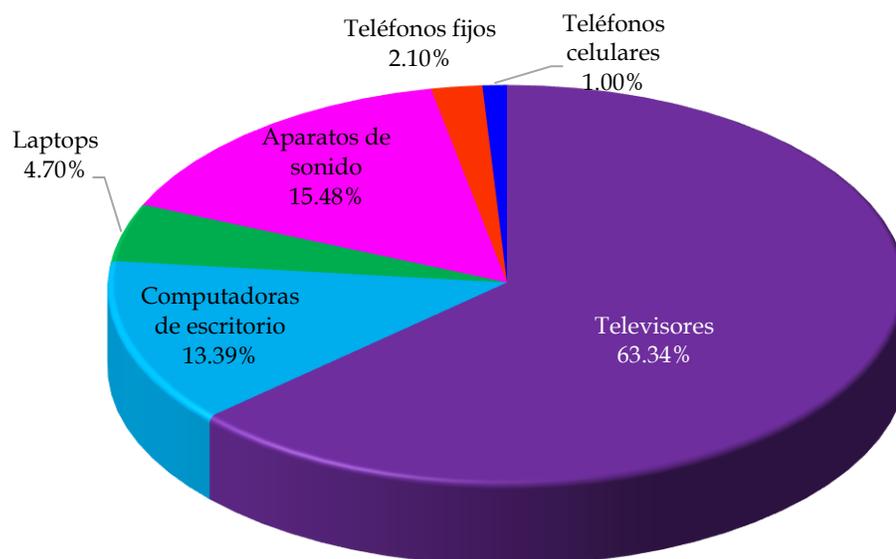


Figura 7. 10. Composición de los residuos electrónicos en 2010. **Fuente:** SEMARNAT e INE, 2011.

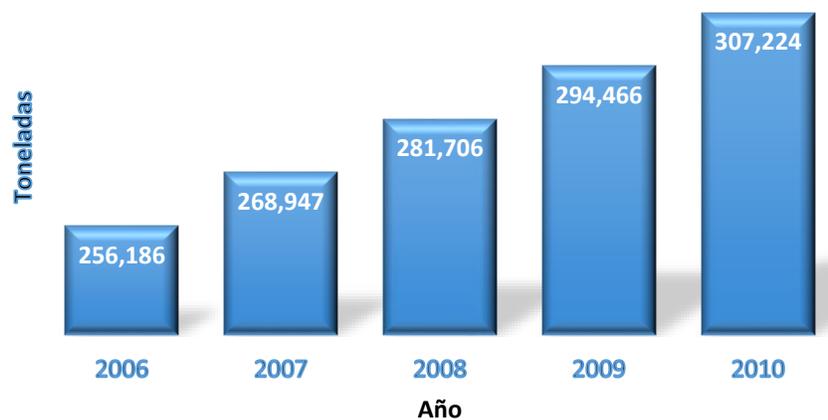


Figura 7. 11. Generación de residuos electrónicos en México. **Fuente:** SEMARNAT e INE, 2011.

Tabla 7. 2. Comparación de la generación de RAEE en México.

Producto	Vida útil (años)	Peso promedio (kg)	Toneladas		Crecimiento anual
			2006	2010	
Televisores	10	22.2	166,826	194,720	3.9%
Computadoras de escritorio	5	20	35,150	41,030	3.8%
Laptops	3	2	12,350	14,420	3.9%
Aparatos de sonido	6	0.7	33,250	47,590	9.4%
Teléfonos fijos	3	0.1	7,560	6,370	-4.2%
Teléfonos celulares	6	5	1,050	3,100	31.1%
Total	-	-	256,185	307,230	4.6%

Fuente: SEMARNAT e INE, 2011.

Posteriormente, la SEMARNAT realizó un primer estudio formal: “Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de corriente de residuos generados por electrodomésticos al final de su vida útil” (SEMARNAT, 2010a) realizado en México para la cuantificación de los residuos electrodomésticos y con los datos establecidos de generación para estos residuos se publicó el *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2012*. Particularmente en éste, reportaron una estimación de la generación en miles de toneladas al año (Figura 7.12), considerando los tamaños de residuos electrodoméstico (grande y chico), y establecieron la generación por tipo de electrodoméstico (televisores, computadoras, reproductores de sonido, teléfonos fijos y teléfonos celulares) en el año 2006 (Tabla 7.3) (SEMARNAT e INECC, 2012). Sin embargo, para tener estudios más completos en el país, no se cuenta con los datos de fabricación, importación y exportación, lo que hace que la estimación de generación no sea precisa o exacta.

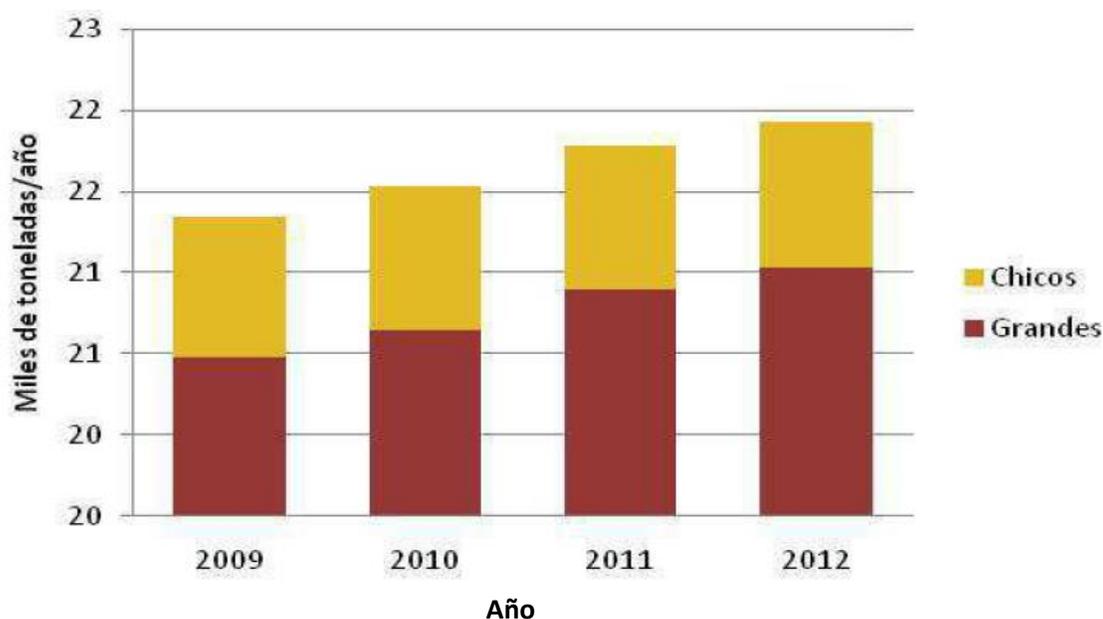


Figura 7. 12. Generación estimada de residuos de aparatos electrodomésticos para los años 2009 a 2012. **Fuente:** SEMARNAT e INECC, 2012.

Tabla 7. 3. Generación nacional de RAEE para el año 2006.

Aparato	Generación promedio 2006 (ton)	%
Televisor	163,764	62.17
Computadoras	36,717	13.94
Reproductores Sonido	56,949	21.62
Teléfonos fijos	5,468	2.08
Teléfonos celulares	534	0.20
Total	263,231	100

Fuente: SEMARNAT e INECC, 2012.

Por su parte, Magalini *et al.* (2015) en su reporte “eWaste en América Latina” da a conocer datos de generación de RAEE’s en la región, reportando que México existe una tendencia de incremento de la generación de estos residuos en diferentes años (2009 y 2014) y una estimación para el año 2018 (Figura 7.13). En este reporte, se observa una generación distinta a la reportada por SEMARNAT para el año 2009, pudiéndose deber al tipo de metodología que se realizó para la calcular la generación.

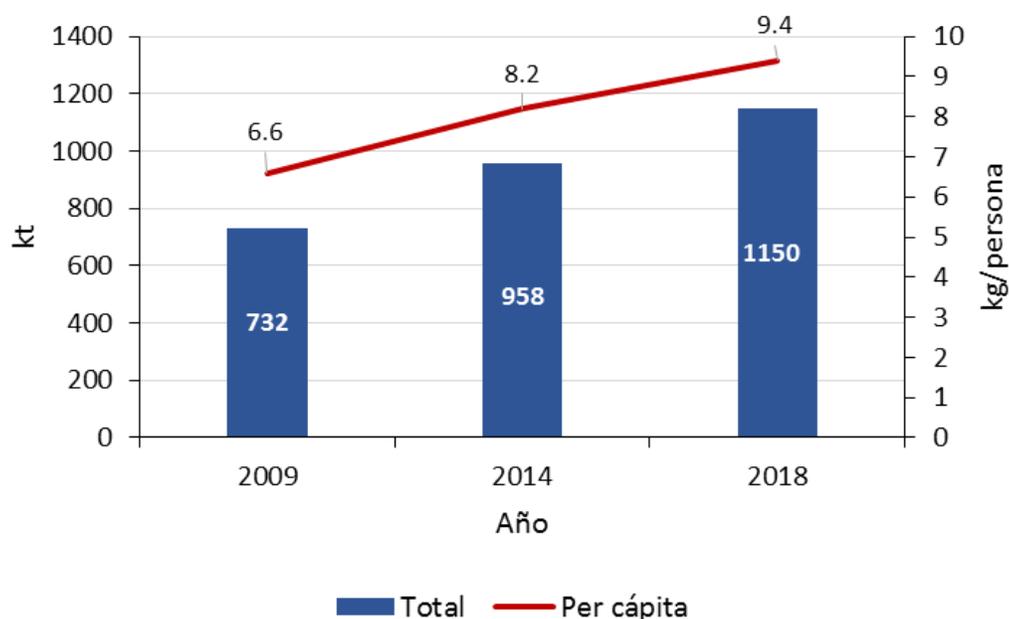


Figura 7. 13. Generación de RAEE’s en México en unidades de kilo toneladas (kt).
Fuente: Elaboración propia con datos de Magalini *et al.*, 2015.

7.1.6. Algunas consideraciones finales acerca de generación de RAEE

A nivel global la generación de RAEE es de 44,7 Tm que en promedio son 6.1 kg/hab para el año 2016 y a partir de estos datos se estima que la tendencia de la generación de estos residuos crezca en 2017 excediendo los 46 Tm y para el 2021 suba a 52.2 Tm (Baldé *et al.*, 2017). Estos datos se pueden comparar con datos del portal estadística Alemán donde reportan que se generaron en 2016 44.7 Tm y para el 2017 fue de 47.8 Tm (Statista, 2018), por lo que concuerdan ambos datos descritos por los diferentes reportes. Por otra parte, la generación por continente describe que Asia tiene la mayor generación de RAEE a nivel mundial, 18.2 Tm; en segundo lugar Europa con 12.3 Tm, seguido de América con 11.3 Tm y por último África y Oceanía con 2.2 Tm y 0.7 Tm respectivamente (Tabla 7.1). Sin embargo, la generación per cápita de comporta distinto (Figura 7.4) debido a la cantidad de población que presenta cada continente, esto es que a mayor número de habitantes la generación per cápita es menor (Baldé *et al.*, 2017). Estos datos permiten confirmar que la generación de RAEE es preocupante en todo el mundo, sin embargo, la concentración más alta se da en regiones donde el desarrollo económico es mayor.

Particularmente en México la generación de RAEE ha sido estimada tanto por instituciones gubernamentales (SEMARNAT e INECC) como por organismos internacionales (UNU). La generación de estos residuos reportada por SEMARNAT e INECC para el 2010 es de 307,230 ton (Tabla 7.2), siendo los televisores los residuos más generados. Sin embargo, al observar el reporte de la UNU correspondiente tan solo para el año 2009 la generación de RAEE es de 732 kt, 958 kt en 2014 y una estimación de 1,150 kt para el 2018 (Fig. 7.13) sin especificar la composición de los residuos. Por su parte Baldé *et al.* (2017) reporta que el país genera 1 Tm tan solo en

2016. Estos resultados demuestran que en el país la generación de estos residuos también se comporta de manera ascendente como en el resto del mundo.

7.2. IMPACTOS AMBIENTALES Y A LA SALUD HUMANA.

Durante los procesos de separación de materiales valorizables procedentes de los RAEE regularmente son realizados de manera inadecuada de manera que no garantizan la protección del ambiente liberando muchas sustancias orgánicas como los hidrocarburos poliaromáticos (PAH) bifenilos policlorados (PCB), retardantes de llama bromados (BFR), éteres difenilicos polibromados (PBDE), dibenzo-p-dioxin furanos policlorados (PBDD/Fs) y retardantes de llama organosfosforados (PFR) así como compuestos tanto peligrosas como lo son Cd, Pb, Hg, entre otros y no peligrosas (metales de base como Cu, Se; Zn y metales preciosos como Ag, Au y Pt) contaminando suelo, agua y aire (Wei *et al.*, 2014; Zeng, 2014; Zhang *et al.*, 2013). Incluso, existen contaminantes secundarios derivados del procesamiento de otros, por ejemplo, los PBDD/Fs pueden presentarse como impurezas en los PBDE, subproductos de la degradación de PBDE durante la producción, la intemperie y el reciclado de plásticos ignífugos (Kiddee *et al.*, 2013).

Sin embargo, la presencia de sustancias tóxicas derivadas de los RAEE encontradas en el ambiente ha sido estudiada en los últimos 20 años, algunos ejemplos de estudios se muestran en la tabla 7.4. En esta, se describe la presencia de algunos contaminantes presentes en muestras de agua, suelo, aire y vegetación sobre todo en áreas donde se llevan a cabo de procesos de reciclaje de los RAEE. De hecho, en cuanto a la calidad del aire, dado que la mayor parte del reciclaje y eliminación de RAEE ha tenido lugar en China y otros países en desarrollo, la mayoría de los estudios que existen provienen de estas regiones con informes que demuestran la contaminación en el ambiente (Kidde *et al.*, 2013).

Tabla 7. 4. Presencia de contaminantes en el ambiente derivados de compuestos de los RAEE.

Muestra ambiental	Contaminantes	Lugar	Descripción	Autor y año
Suelo y polvo de aire	Cu, Zn, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Hg, Pb y Bi Cr, Mn, Co, Cu, In, Sn, Sb, Tl, Pb y Bi	Bangalore, India.	Se encontraron altas concentraciones de metales en suelo, los cuales excedieron los valores de detección propuestos por EPA. Las concentraciones de metales en el aire fueron relativamente más altas que en el sitio testigo.	Ha <i>et al.</i> , 2009.
Suelo y vegetación.	PBDE	Guangdong Province, South China.	Se encontraron concentraciones altas de PBDE en los sitios de reciclaje de RAEE los cuales se difundieron a las regiones ambientales y dieron como resultado un patrón halo de contaminación por PBDE de 74 km de radio. Los suelos utilizados para diferentes cultivos mostraron diferentes concentraciones de PBDE. Las plantas podían absorber los PBDE del suelo directamente y la raíz de calabaza tenía las concentraciones más altas de PBDE entre las plantas evaluadas	Wang <i>et al.</i> , 2011
Suelo y vegetación.	PAHs, PCBs, PBDEs y metales pesados.	Ojo, Lagos State, Nigeria. Guiyu y Shantou, Guangdong, China.	Los suelos y las plantas estaban altamente contaminados con PAH tóxicos, PCB, PBDE y metales pesados en ambos países.	Alabi <i>et al.</i> , 2012
Suelo, agua, polvo doméstico y alimentos (vegetales y animales)	Cd, Pb, Cu, Zn y Ni	Sur de China	Se midieron las concentraciones de metales pesados en los alimentos, polvo doméstico, agua subterránea/potable y el suelo de un área de de reciclaje de RAEE. Se observaron concentraciones elevadas de estos metales en las muestras pero no en el agua potable. Además evaluaron los riesgos de exposición de personas que habitan el área y se encontraron que el riesgo de exposición oral es mucho mayor que el riesgo de inhalación y contacto dérmico con el polvo. También evaluaron los riesgos potenciales de cáncer por la ingesta de Pb y no encontraron riesgos.	Zheng <i>et al.</i> , 2013
Suelo y sedimentos de río	Derivados de BFR y PFR	Bui Dau, provincia de Hung Yen, en el norte de Vietnam	Se investigó las emisiones de diferentes tipos de Retardantes de Flama (RF) en suelos superficiales y sedimentos de ríos alrededor del área de reciclaje de RAEE. Se encontraron concentraciones altas en los puntos muestreados.	Matsukami <i>et al.</i> , 2015
Suelo y agua	Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn y Cd	Longtang, provincia de Guangdong, sur de China	Se evaluaron las concentraciones de metales pesados en diferentes puntos de un sitio de reciclaje de RAEE abandonado. Se encontró que el riesgo ecológico de metales pesados, especialmente Cd, Cu y Pb, todavía era grave en las cercanías de un sitio de reciclaje de RAEE. En agua en los estanques se encontró contaminada con metales pesados además de su propagación a los campos agrícolas. El agua subterránea no sobrepasó los niveles de referencia.	Wu <i>et al.</i> , 2015
Suelo	Cu, Fe, Ni, Mn, Pb y Zn	Sue Yai Utit , Bangkok, Tailandia.	Se encontró un problema de contaminación por metales en las áreas de desmantelamiento de RAEE, especialmente para Cu, Pb, Zn y Ni. Cu mostró algunas concentraciones de contaminación extremadamente altas (> 10 veces) de acuerdo con estándares holandeses.	Damrongsiri <i>et al.</i> , 2016

Por otra parte, como se ha mencionado anteriormente, el movimiento transfronterizo de RAEE se da principalmente de manera ilegal hacia países que carecen de legislación en torno a los RAEE, además, en estos lugares se realiza el reciclaje de estos residuos de manera informal debido a que la mano de obra es muy económica. Por lo tanto, la gestión de los RAEE en estos lugares se da de manera inadecuada afectando a poblaciones vulnerables, como los trabajadores de plantas de desmantelamiento y reciclaje, niños y mujeres embarazadas, cuando están expuestos de forma directa o indirecta (Wei *et al.*, 2014; Zeng, 2014; Zhang *et al.*, 2013).

Generalmente, la exposición a los componentes peligrosos de los RAEE puede ocurrir de diferente manera (inhalación de aire, ingesta dietética, ingesta de suelo o polvo y contacto con la piel), además de la exposición directa (trabajador de planta de reciclaje de RAEE) formal o informal (Song and Li, 2015). Sin embargo, los efectos a corto y largo plazo de la exposición a sustancias peligrosas de desechos electrónicos no se comprenden completamente, por lo que existen investigaciones sobre la asociación entre la exposición RAEE y niveles más altos de sustancias químicas y metales en muestras biológicas de origen humano (Tabla 7.5).

No obstante, la toxicidad de muchas sustancias individuales encontradas en los desechos electrónicos está bien documentada (Tabla 7.6). Las concentraciones de estos materiales son variables, pero a menudo son notablemente altas, especialmente dentro de los sitios de reciclaje de RAEE, incluso si las concentraciones de estas sustancias son bajas, los productos químicos a menudo siguen siendo tóxicos para los humanos y persistentes en el medio ambiente (Perkins *et al.*, 2014).

Tabla 7. 5. Estudios de afectaciones en la salud humana en habitantes de zonas de reciclaje de RAEE.

Muestra	Estudio	Lugar	Descripción	Autor y año
Sangre de cordón umbilical	Daño en ADN	Guiyu, China	Se encontraron niveles altos de Cr en recién nacidos y existe una correlación con la exposición de sus madres al reciclaje de RAEE. Hay presencia de daño al ADN ocasionado por el Cr y una correlación entre el daño en el ADN y los niveles de Cr en sangre del cordón umbilical de recién nacidos.	Li <i>et al.</i> , 2008
Sangre	Daño ADN (células linfocitos)	Ojo, Lagos State, Nigeria. Guiyu y Shantou, Guangdong, China.	Se encontró daño en DNA en células linfocíticas causado principalmente por PAH en habitantes de ambos países.	Alabi <i>et al.</i> , 2012
Sangre	Asociación entre la exposición a Pb y Cd, el crecimiento físico y el metabolismo óseo y de calcio.	Guiyu, China	Los valores medios de Pb (BLL) y Cd (BCL) en sangre obtenidos fueron 7,30 y 0,69 µg/L, respectivamente. El promedio de BCL aumentó con la edad. La exposición al Pb en la infancia afectó tanto el desarrollo físico como el aumento de la resorción ósea de los niños.	Yang <i>et al.</i> , 2013.
Sangre	Concentración de compuestos halogenados (PCDD/Fs y PCB)	Agbogbloshie, Ghana	Se encontraron concentraciones de PCDD/Fs cuatro veces más altas con concentraciones medias de 6,18 pg/g de base lipídica en personas expuestas al sitio de reciclaje de RAEE comparadas con el sitio control. Para compuestos de PCB se encontraron concentraciones más altas en sitio control comparado con el sitio expuesto.	Wittsiepe <i>et al.</i> , 2015
Sangre	Efectos en la salud de niños causantes por metales pesados	China	La investigación encontró reportes de estudios acerca de afectaciones al sistema nervioso central y periférico, composición sanguínea, pulmones, riñones, hígado e incluso la muerte.	Zeng <i>et al.</i> , 2016

Tabla 7. 6. Efectos en la salud humana de diferentes compuestos derivados de RAEE.

ELEMENTO/ SUSTANCIA	FUENTE DE LA TOXINA	EFFECTOS EN LA SALUD
Arsénico (As)	Se encuentra en chips de computadora y diodos emisores de luz	<ul style="list-style-type: none"> • Carcinógeno, puede causar cáncer en piel y pulmón.
Cadmio (Cd)	<ul style="list-style-type: none"> • Se localiza en tableros de circuitos y semiconductores de CPU. • En monitores se utilizan para prevenir la corrosión. <ul style="list-style-type: none"> • Se encuentra en baterías de NiCd. <ul style="list-style-type: none"> • Contactos e interruptores. • Tubos catódicos antiguos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Afecta riñones y huesos. • Respirar altos niveles de Cd puede causar daño a los pulmones y la muerte. • La exposición prolongada a niveles bajos de Cd puede causar presión arterial elevada y daño renal. • Es carcinógeno.
Cromo (Cr)	<ul style="list-style-type: none"> • Se usa como endurecedor en plásticos y colorante en pigmentos. • Puede estar presente en los revestimientos de algunas partes metálicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene una variedad de efectos dependiendo de cómo atraiga al cuerpo. • Irritación en ojos, piel y mucosas. • Exposición crónica ocasiona daños permanentes en ojos. • Es un carcinógeno si se inhala. • Puede causar daño en el ADN.
Plomo (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos de rayos catódicos (aproximadamente 5 lbs.) <ul style="list-style-type: none"> • Soldaduras 	<ul style="list-style-type: none"> • Los síntomas iniciales de la exposición son anorexia, dolor muscular, malestar general y dolor de cabeza. • La exposición prolongada al plomo disminuye el rendimiento general del sistema nervioso. • La exposición de alto nivel causa daño cerebral y la muerte. • Provoca infertilidad tanto en hombres como en mujeres.
Mercurio (Hg)	<ul style="list-style-type: none"> • Baterías viejas e interruptores. • La pantalla plana tiene tubos fluorescentes que contienen mercurio. 	<ul style="list-style-type: none"> • La exposición a corto plazo a todas las formas de mercurio causa daño a los pulmones, náuseas, vómitos, diarrea, aumento de la presión arterial o ritmo cardíaco, erupciones cutáneas e irritación ocular. • La exposición prolongada daña permanentemente el cerebro, los riñones y el desarrollo del feto.
Cloruro de polivinilo (PVC)	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza en el aislamiento de cables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se quema produce dioxinas altamente tóxicas. • Es un disruptor hormonal.
Eteres difenilicos polibromados (PBDE)	<ul style="list-style-type: none"> • Se usan como aditivos retardantes de llama en la fabricación de componentes para aparatos eléctricos y electrónicos (ordenadores, televisores, transformadores, interruptores, entre otros.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Por el parecido que tienen con las hormonas tiroideas (T3 y T4), estos contaminantes pueden actuar como interferentes endocrinos y pueden producir efectos tales como alteraciones y deficiencias en el desarrollo neurológico o, incluso, neoplasias y tumores benignos de la glándula tiroideas.
Hexabromociclododecano (HBCDS)	<ul style="list-style-type: none"> • Se utiliza en poliestireno de alto impacto para AEE 	<ul style="list-style-type: none"> • Afecta al funcionamiento del sistema tiroideo y del hígado en mamíferos. • Tiene efectos sobre la fertilidad y la neurotoxicidad del desarrollo en mamíferos. • Se transfiere de madre a hijo en la gestación, por la sangre y la lactancia.

Fuente: Kidee *et al.*, 2013, Perkins *et al.*, 2014; Song and Li, 2015 y Zeng *et al.*, 2016.

7.3. NORMATIVIDAD DEL MANEJO DE LOS RAEE

En la década de 1980 los países en desarrollo comenzaron a tener regulaciones para el manejo de los residuos. Debido a esto, los RAEE se comenzaron a enviar hacia algunos países en vías de desarrollo carentes de normatividad, hasta el 2013 se exportaron ilegalmente alrededor del 80% de los RAEE de países desarrollados hacia China, India, Nigeria, Ghana y Pakistán debido a los costos bajos laborales, y como se mencionó antes, la falta de regulación gubernamental para el manejo de estos (Sthiannopkao y Wong, 2013). En consideración a lo anterior, es que surgió la necesidad de establecer lineamientos y requerimientos para para la gestión de los RAEE tanto a nivel global como nacional y regional.

7.3.1. Marco legal

El Convenio de Basilea es uno de los marcos más antiguos en materia de residuos peligrosos y sustancias químicas, el cual entró en vigor el 5 de mayo de 1992. Éste, reglamenta los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y otros desechos, obligando a sus Partes (países que firmaron el convenio) a asegurar que los residuos se gestionen y eliminen de manera ambientalmente racional. Abarca desechos tóxicos, venenosos, explosivos, corrosivos, inflamables, ecotoxicológicos e infecciosos. Las partes también tienen la obligación de reducir al mínimo las cantidades que se transportan, se tratan (la recuperación, el reciclado, la regeneración y reutilización de los recursos) y eliminan los residuos, lo cual tiene que ser lo más cerca posible de su lugar de generación, y así prevenir o reducir al mínimo la generación de residuos en su fuente. De esta manera, el convenio promoverá la protección de la salud humana y el medio ambiente contra los efectos nocivos de los residuos (PNUMA, 2014).

Por su parte, la Comunicación de la Comisión del parlamento de la Unión Europea (UE) del 30 de julio de 1996 referida a la revisión de la estrategia comunitaria de gestión de residuos establece que, cuando no pueda evitarse la producción de residuos, éstos deberán reutilizarse o valorizarse para aprovechar los materiales o la energía que contienen (UE, 2018).

Para abordar estos problemas, se han implementado dos leyes: la Directiva RAEE (Directiva WEEE, por sus siglas en ingles) y la Directiva sobre la restricción del uso de determinadas sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos (Directiva RoHS, por sus siglas en inglés) (UE, 2018). Estas normas sentaban las bases de un modelo de gestión que por primera vez planteaba la necesidad de diseñar aparatos más eficientes y menos contaminantes, que fueren más fáciles de tratar cuando se convirtieran en residuos, y que aplicaba el principio de la responsabilidad extendida del productor de los aparatos eléctricos y electrónicos (en adelante AEE), como sujeto responsable de los costes que derivan de la gestión de los residuos procedentes (Sthiannopkao y Wong, 2013).

La primera Directiva RAEE (Directiva 2002/96/CE) entró en vigor en febrero de 2003. Esta, preveía la creación de planes de recogida en los que los consumidores devuelven sus RAEE de forma gratuita los cuales tienen como objetivo aumentar el reciclaje de RAEE y/o reutilización. En diciembre de 2008, la Comisión Europea propuso revisar la Directiva para hacer frente al rápido aumento del flujo de residuos. La nueva Directiva RAEE 2012/19/EU entró en vigor el 13 de agosto de 2012 y se hizo efectiva el 14 de febrero del 2014 (UE, 2018).

La legislación de la UE que restringe el uso de sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos (Directiva RoHS 2002/95/CE) entró en vigor en febrero de 2003. La legislación exige metales pesados como (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd) y

cromo hexavalente (Cr (VI)) y retardantes de llama como los bifenilos polibromados (PBB) o los éteres de difenilo polibromados (PBDE) se sustituirán por alternativas más seguras. En diciembre de 2008, la Comisión Europea propuso revisar la Directiva convirtiéndose en la Directiva RoHS 2011/65/EU que entró en vigor el 3 de enero de 2013 (UE, 2018).

Suiza ha sido un precursor en la regulación de la gestión de desechos electrónicos. En 1994, el Gobierno Federal Suizo estableció la responsabilidad del productor respecto de los RAEE. Para 1998, la Oficina Federal Suiza para el Medio Ambiente (FOEN, por sus siglas en inglés) anunció la Ordenanza "El Retorno, el Retiro y la Eliminación de Equipos Eléctricos y Electrónicos (ORDEE). Como consecuencia de esta iniciativa, funciona eficazmente el sistema nacional de devolución (SWICO) financiado por el coste de reciclaje que se cobra por adelantado en el precio de venta de los equipos nuevos para oficinas. Por lo tanto, el Gobierno estableció un decreto mediante el que obliga a los distribuidores e importadores a retirar todos los RAEE que habían comercializado y de igual manera obliga a los consumidores a devolver cualquier residuo de AEE y prohíbe tratarlo como residuo sólido urbano. Este sistema ha tenido éxito en un alto nivel de cumplimiento, en los cuales se han incluido los interesados, distribuidores, los usuarios y los recicladores (Kidde *et al.*, 2013).

Particularmente, Francia ha promulgado la Ley de transición energética para el crecimiento verde en agosto del 2015, la cual, en su artículo 99 promueve una mejora en los AEE de manera que se permita reducir su impacto ambiental y aumentar su vida útil. Para esto, la ley ha previsto la penalización de la obsolescencia programada de los productos de consumo de AEE, multando a las empresas que diseñan y fabrican los productos para que duren un tiempo determinado, con 300,000 € y dos años de cárcel. Esta norma es la primera que reconoce la existencia de la

obsolescencia programada y sanciona técnicas que introduzcan defectos, debilidades, paradas programadas, obstáculos para su reparación y limitaciones técnicas. De esta manera, incidirá en el modelo de fabricación y así reducirá el consumo de materias primas y emisiones de CO₂ (Mason *et al.*, 2017).

En Alemania se encuentra publicada la Ley alemana de ciclo económico y residuos Krw/AbfG (Kreislaufwirtschafts und Abfallgesetz), la cual define el concepto de ciclo económico y establece el objetivo del cuidado de los recursos naturales, así como de la eliminación de residuos en el ambiente. El objetivo primordial de esta ley es dar a conocer la responsabilidad del fabricante en el desarrollo, producción y venta del producto (AEE). Los resultados deben ser conseguir tanto una reducción de la producción de residuos en la fabricación y utilización, como una valoración y eliminación conciliable con el medio ambiente al final de la vida útil (Krw/AbfG, 2012). Por otra parte, se publicó el Decreto 2343 del “Verein Deutscher Ingenieure” (VDI), por medio de la asociación alemana de ingenieros, la cual establece la necesidad de desarrollar un sistema de retorno, reutilización y reciclaje, a escala nacional teniendo en cuenta aspectos económicos y ecológicos. Promoviendo el uso de los materiales extraídos de los RAEE reincorporándolos al ciclo económico. Conjuntamente, se deben buscar las estrategias para comercializar los AEE tratados. Por su parte la Normativa 48480 del “Deutsches Institut für Normung” (DIN) del Instituto Alemán de Normalización establece requisitos y criterios para la reutilización de piezas de los RAEE las cuales deben corresponder en calidad y propiedades en comparación con las nuevas (Pardo-Córdoba, 2014).

Dentro de la UE también podemos encontrar a España, el cual cuenta con El Real Decreto 110/2015 sobre RAEE transpuesta al ordenamiento jurídico español el 20 de febrero de 2015. El cual, pretende cumplir con los nuevos objetivos comunitarios de

recogida y gestión mejorando la trazabilidad y el control de recogida y gestión de estos residuos (BOE, 2015).

En el continente asiático podemos encontrar países con regulaciones para la gestión de RAEE como lo es Japón, este cuentan con dos leyes principales: la Ley Específica de Reciclaje de Electrodomésticos (SHAR) que se promulgó en 1998 y entró en vigor en 2001. Otra ley es la Promoción de la Utilización Efectiva de los Recursos (LPUR) que se encarga de computadoras personales y baterías usadas. La diferencia entre SHAR y LPUR es que la primera depende de los esfuerzos voluntarios de los fabricantes, mientras que la segunda impone compromisos obligatorios a los fabricantes. En 2003 LPUR fue revisado para que los nuevos compradores de computadoras paguen los costos de reciclaje en el costo del producto como una tarifa de reciclaje avanzada (Kidde *et al.*, 2013).

El gobierno de la India en 2007, elaboró el proyecto de directrices para el manejo ambientalmente racional de los desechos electrónicos a través de la Junta Central de Control de la Contaminación, para clasificar los desechos electrónicos según los componentes y las composiciones. En 2010, el Ministerio de Medio Ambiente y Bosques (MoEF) del Gobierno de la India estableció una propuesta de responsabilidad del productor de RAEE, este indicaba la que el productor debe ser el responsable del ciclo de vida del producto desde el diseño hasta su disposición final; además incluyó una disposición para la reducción de ciertas sustancias peligrosas en dispositivos electrónicos y prohibió la importación de todos los AEE de segunda mano con fines benéficos. Sin embargo, la implementación de programas de gestión de los RAEE tienen barreras específicas debido a las importaciones ilegales y los mercados grises estos residuos (Kidee *et al.*, 2013).

En Pakistán, para el manejo de los RAEE existe la Ley de protección del medio ambiente (1997), donde prohíbe la importación de desechos peligrosos y no permite el manejo de elementos peligrosos. De igual manera tiene su Política comercial 2006-2007, en la cual establece que los residuos peligrosos definidos y clasificados en el Convenio de Basilea, no pueden importarse (Iqbal *et al.*, 2015).

En la República de Indonesia, no existe una legislación para la gestión de los desechos electrónicos, pero se regulan como desechos peligrosos y tóxicos. Tanto Indonesia como Filipinas están en proceso de finalizar su legislación sobre desechos electrónicos (Yoshida *et al.*, 2016). A pesar de la importancia del establecimiento de la legislación para el manejo de los RAEE, en los países del sudeste asiático el progreso es lento. Tailandia y Malasia están en el proceso de finalizar su propia legislación y estrategias de manejo de RAEE (Afroz *et al.*, 2013). En Vietnam, la decisión del Primer Ministro n. 50/2013/QDTTg, que prescribe prácticas para la recuperación y eliminación de productos descartados, entró en vigor en septiembre de 2013. A sistema de devolución y regulación de la correcta recolección, recuperación, procesamiento y eliminación de productos de desecho comenzaría en 2015 y 2016 (Khetriwal *et al.*, 2009).

En China existen tres leyes relevantes sobre la gestión de RAEE; “Ley de promoción de la Economía Circular”, “Ley de control de la contaminación por residuos sólidos” (exige que las empresas de tratamiento de RAEE primero reciban una licencia para poder manejar de forma segura los materiales peligrosos y tóxicos contenidos en los RAEE) y “Ley de promoción de producción limpia” (tiene principios sobre el diseño y la producción de los AEE y su eliminación) (Lu *et al.*, 2015). Estas no cuentan con estipulaciones detalladas sobre el manejo de los RAEE, pero proporcionan un marco legal sobre la gestión de los RAEE donde los principios de prevención de la contaminación se adquieran durante todo el ciclo de vida de estos residuos, reduciendo de esta manera los impactos ambientales negativos.

Sin embargo, basándose en las leyes que gestionan los RAEE, se han involucrado agencias gubernamentales las cuales emitieron regulaciones administrativas en torno a la gestión de estos residuos como lo son el Congreso Nacional del Pueblo (NPC, por si siglas en inglés National People’s Congress), el Ministerio de Protección Medioambiental (MEP, por sus siglas en inglés Ministry of Environmental Protection) y Ministerio de Industria y Tecnología de la Información (MIIT, por sus siglas en inglés), cubriendo diferentes perspectivas, desde la recolección, el tratamiento y el subsidio financiero (Lu *et al.*, 2015).

En Australia en el 2009 aprobó la Política Nacional de Residuos y en el 2011 puso en marcha el Plan Nacional de Reciclaje de Televisión y Computadora para mejorar la tasa de reciclaje pero la gestión de los RAEE no se implementa correctamente en este país (Kumar *et al.*, 2017).

En el continente de África, la mayoría de los países conocen la problemática de los RAEE, sin embargo, son pocos los países que tienen documentos oficiales de políticas gubernamentales específicas para estos residuos. No obstante, hasta el momento, solo Madagascar (2015), Kenia (2016) y Ghana (2016) han promulgado formalmente un proyecto de ley sobre los RAEE. En Nigeria, la agencia reguladora del medio ambiente del país ya está aplicando oficialmente el control de los RAEE (Sthiannopkao y Wong, 2013). Ley de E-waste de Kenia, todavía está pendiente de aprobación oficial antes de la difusión pública, esta, tiene como aspectos más destacados que ninguna empresa fabricará ni importará ningún AEE sin indicar dónde se tratarán sus residuos al final de su vida útil. La legislación de Ghana prohíbe las importaciones y exportaciones de desechos electrónicos, elimina paulatinamente la inclusión de tarjetas de circuitos impresos en equipos electrónicos, de igual manera prevé el registro de fabricantes, importadores y

distribuidores, así como el establecimiento de un fondo de gestión de desechos electrónicos logrado mediante el pago de un fondo ecológico anticipado por parte de fabricantes, importadores y distribuidores (Baldé *et al.*, 2017). Por su parte, algunos países de Sudáfrica firmaron el convenio de Bamako el cual tienen el objetivo de crear un marco de obligaciones a fin de reglamentar rigurosamente los movimientos transfronterizos de cualquier tipo de residuos peligroso dentro de África o destinados a África. Dicho convenio, entró en vigor en 1998 con 30 naciones signatarias. Y su principal razón de este fue que muchos países desarrollados exportan sus residuos peligrosos incluyendo los RAEE hacia estos países. Por lo que también, en 2008 se estableció la Asociación de residuos electrónicos de Sudáfrica (eWASA, por sus siglas en inglés) para gestionar el establecimiento de un sistema sostenible de gestión ambiental de residuos electrónicos en los países (Iqbal *et al.*, 2015).

En el continente americano también se han promulgado algunas regulaciones del manejo y control de los RAEE. Uno de estos países es Canadá que, aunque no cuenta con un programa Responsabilidad Extendida del Productor (EPR, por sus siglas en inglés) a nivel nacional para la gestión de los RAEE algunas de sus provincias promulgaron un procedimiento para gestionar los problemas de los residuos electrónicos. Alberta fue la primera provincia en desarrollar un programa de gestión de RAEE (2004), que fue solo para recuperar computadoras y televisores. Además cuentan con su Política administrativa para la recuperación de electrónica la cual establece una cuota de recargo por eliminación anticipada (ADS por sus siglas en inglés) y requiere que los proveedores remitan el Recargo a ARMA (Autoridad de Manejo de Reciclado de Alberta, por sus siglas en inglés), para tener en cuenta todos los ADS que debe ser remitido en la forma que requieren los estatutos de ARMA (ARMA, 2005).

Las oficinas ambientales de Saskatchewan han aprobado el Saskatchewan Waste Electronic Equipment Program (SWEEP), un sistema administrador de recogida de RAEE, el cual se financiará a través de tasas de reciclado, conocidas como las Advanced Recycling Fees (ARF) (Feszty and Calder, 2007). Y posteriormente Ontario ofreció una regulación de desechos electrónicos que es más flexible y recupera desechos electrónicos de más de 200 artículos (Kidde *et al.*, 2013).

En los Estados Unidos de América (EUA), el gobierno federal no puede exigir que cada estado acepte un programa de manejo integral de RAEE como lo es la EPR y por tanto no puede implementar una política de devolución de productos en toda la nación (Kiddee *et al.*, 2013). De hecho, 25 de los 50 estados de EUA han promulgado leyes relacionadas con los RAEE, sin embargo, estas leyes no limitan su movimiento internacional. Por lo que una vez que estos llegan a una agencia de cobros aprobada por el estado, su destino no es fácil de rastrear, se cree que aproximadamente 50-80% terminan en China, India o Pakistán (Sthiannopkao y Wong, 2013).

California fue el primero en adoptar las medidas legislativas, seguido por Maryland, Maine, Washington y Minnesota. Más recientemente, las legislaturas en Oregón y Texas han creado sus propias leyes. Particularmente, California creó la legislación “Electronic Waste Recycling Act” (Acta de Reciclaje de Desechos Electrónicos) en 2003. La norma establece la reducción de las sustancias peligrosas que se utilizan en ciertos productos electrónicos que se venden en California, el cobro de una cuota de reciclaje de desecho electrónico en el lugar de venta de ciertos productos, la distribución de las cuotas obtenidas por la recuperación y el reciclaje a entidades calificadas para llevar a cabo la recolección y el reciclaje de desechos electrónicos y una guía que establece los criterios de compras, para tenerse en cuenta cuando las agencias gubernamentales adquieran equipos electrónicos (Scrap y Rezagos, 2018).

Por su parte, el estado de Maine adoptó una legislación de residuos electrónicos basada en el modelo EPR en 2004, cuyo alcance se limita a televisores y monitores de computadora. Este programa comparte la responsabilidad de la gestión de los RAEE con tres grupos: los interesados, los generadores y el municipio (Kiddee *et al.*, 2013). Finalmente, en septiembre de 2010 se propuso una ley nacional en el Congreso estadounidense, conocida como la Ley de Reciclaje Electrónico Responsable (HR2284), diseñada para controlar sustancialmente el envío a los países en desarrollo de RAEE's con contenido de peligroso. Tiene un respaldo bastante amplio, ya que ha sido presentado conjuntamente por un miembro de cada uno de los principales partidos políticos, y cuenta con el apoyo de Electronics TakeBack Coalition, así como de compañías como Apple, Hewlett-Packard y Samsung. Según esta ley, los bienes usados para la exportación deben ser completamente funcionales y probados como tales dentro de EUA (Sthiannopkao y Wong, 2013).

En Brasil la Política nacional de Residuos Sólidos (Ley No. 12.305/2010), reglamentada por el Decreto No. 7.404/2010, establece un marco de gestión de los RAEE, promueve el reciclaje y la reutilización. Esta ley establece la responsabilidad extendida de los generadores de residuos: fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, ciudadanos y titulares de la gestión municipal de residuos sólidos en la logística inversa de los residuos post-consumo y el envasado. Así mismo, ha promovido el desarrollo de programas de reciclaje y reutilización de los RAEE en este país, dando lugar a normas estatales más específicas como Resolución del Estado de Sao Paulo que establece el Programa de Responsabilidad Post-Consumo para el Sector de la Telefonía Móvil (SMA No. 11/2012). Por otro lado, también es necesario considerar la Ley Estatal 13576/09, la cual se encarga de la gestión de los residuos y componentes electrónicos considerados desechos tecnológicos en el Estado de São Paulo y la Ley Municipal 8450/02, esta prevé la eliminación y desecho de las baterías usadas de los teléfonos móviles (UIT *et al.*, 2015).

En Colombia existe la Ley 1672 promulgada el 19 de julio de 2013 por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de RAEE. Las empresas en calidad de importadores de computadores y/o periféricos, tienen la obligación de contar con un programa de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de computadores y/o periféricos en virtud de la Resolución 1512 del 5 de agosto de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, dicha resolución menciona que las empresas tienen la obligación de cumplir con las disposiciones regulatorias especiales para el sector de las telecomunicaciones que en materia ambiental estableció la Comisión de Regulación de Comunicaciones (MADS, 2017). Así mismo, tienen en su marco normativo la Política nacional para la gestión de los RAEE, lo cual permite su manejo diferenciado, prohibiendo su disposición final en los rellenos sanitarios y los restringe a rellenos de seguridad, para que sean retomados por los productores de aparatos eléctricos y electrónicos, mediante sistemas de recolección y de gestión ambientalmente segura (MAyDS, 2017).

En Perú desde 2012, está en vigencia el Reglamento Nacional de Gestión y Manejo de los RAEE. Sujeto al Decreto Supremo 001- 2012 por el Ministerio del Ambiente. Bajo esta normativa, los operadores de telecomunicaciones están catalogados como Generadores de Residuos Peligrosos y al mismo tiempo como productores de RAEE, con la obligación de entregar informes de gestión para los residuos de sus operaciones (UIT *et al.*, 2015).

La legislación relativa a los RAEE en el mundo, se resumen en la tabla 7.7.

Tabla 7. 7. Resumen de la legislación relativa a los RAEE en diferentes países.

TIPO	ÁMBITO	ESTABLECE
Convenio de Basilea	Internacional	Reglamenta los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y otros desechos, obligando a sus Partes (países que firmaron el convenio) a asegurar que los residuos se gestionen y eliminen de manera ambientalmente racional
Comunicación de la Comisión del parlamento de la Unión Europea	Europa	Establece que, cuando no pueda evitarse la producción de residuos, éstos deberán reutilizarse o valorizarse para aprovechar los materiales o la energía que contienen
Directivas WEEE	Europa	Prevé la creación de planes de recogida en los que los consumidores devuelven sus RAEE de forma gratuita los cuales tienen como objetivo aumentar el reciclaje de RAEE y/o reutilización.
Directiva RoHS	Europa	Restringe el uso de sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos
ORDEE	Suiza	Obliga a los distribuidores e importadores a retirar todos los RAEE que habían comercializado y de igual manera obliga a los consumidores a devolver cualquier residuo de AEE y prohíbe tratarlo como RSU.
Ley de transición energética para el crecimiento verde	Francia	Penaliza de la obsolescencia programada de los productos de consumo de AEE,
Ley alemana de ciclo económico y residuos	Alemania	Da a conocer la responsabilidad del fabricante en el desarrollo, producción y venta de los AEE, para conseguir tanto una reducción de la producción de residuos en la fabricación y utilización, como una valoración y eliminación conciliable con el ambiente, al final de la vida útil.
Real Decreto 110/2015 sobre RAEE	España	Recogida, gestión, trazabilidad y el control de la gestión de los RAEE.
Ley de Reciclaje de Electrodomésticos (SHAR)	Japón	Señala que se deben adoptar medidas para la aplicación adecuada de manejo, recolección, transporte, reciclado de electrodomésticos principalmente por fabricantes y minoristas. Depende de los esfuerzos voluntarios de los fabricantes.
Ley para la Promoción de la Utilización Efectiva de los Recursos (LPUR)	Japón	Impone compromisos obligatorios a los fabricantes para que los compradores de computadoras paguen los costos de reciclaje en el costo del producto como una tarifa de reciclaje avanzada.
Directrices para el manejo ambientalmente racional de los desechos electrónicos	India	Clasificación los desechos electrónicos según los componentes y las composiciones
Propuesta de Responsabilidad del productor de RAEE	India	El productor debe ser el responsable del ciclo de vida del producto desde el diseño hasta su disposición final, la reducción de sustancias peligrosas en dispositivos electrónicos y la prohibición de la importación de todos los AEE de segunda mano.
Ley de protección del medio ambiente (1997)	Pakistán	Sección 13 prohíbe la importación de desechos peligrosos y la Sección 14 no permite el manejo de elementos peligrosos

Continuación Tabla 7.7

Primer Ministro No. 50/2013/QDTTg	Vietnam	Prescribe prácticas para la recuperación y eliminación de productos descartados de AEE.
Ley de promoción de la Economía Circular	China	Especificación de disposiciones sobre Reducción, Reutilización y Reciclaje (3R) de productos electrónicos durante la producción, el consumo y otros procesos.
Ley de control de la contaminación por residuos sólidos	China	Exige que las empresas de tratamiento de RAEE primero reciban una licencia para poder manejar de forma segura los materiales peligrosos y tóxicos contenidos en los RAEE
Ley de promoción de producción limpia	China	Tiene principios sobre el diseño y la producción de los AEE y su eliminación
Plan Nacional de Reciclaje de Televisión y Computadora	Australia	Mejoramiento de la tasa de reciclaje.
Ley de E-waste	Kenia	Ninguna empresa fabricará ni importará ningún AEE sin indicar dónde se tratarán sus residuos al final de su vida útil.
Convenio de Bamako	Sudáfrica	Creación de un marco de obligaciones a fin de reglamentar rigurosamente los movimientos transfronterizos de cualquier tipo de residuos peligroso dentro de África o destinados a África
Política administrativa para la recuperación de electrónica	Canadá (Alberta)	Requiere que los proveedores remitan el Recargo por eliminación anticipada (ADS por sus siglas en inglés) a ARMA (Autoridad de Manejo de Reciclado de Alberta, por sus siglas en inglés), y para tener en cuenta todos los ADS que debe ser remitido en la forma que requieren los estatutos de ARMA.
Ley de Reciclaje Electrónico Responsable (HR2284)	EUA	Los bienes usados para la exportación deben ser completamente funcionales y probados como tales dentro de EUA.
Ley No. 12.305/2010	Brasil	Establece la responsabilidad extendida de los generadores de residuos: fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, ciudadanos y titulares de la RSM (Residuos Sólidos Municipales). Promueve el desarrollo de programas de reciclaje y reutilización de los RAE.
Ley 1672	Colombia	Las empresas en calidad de importadores de computadores y/o periféricos, tienen la obligación de contar con un programa de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de computadores y/o periféricos.
Reglamento Nacional de Gestión y Manejo de los RAAE	Perú	Los operadores de telecomunicaciones tienen la obligación de entregar informes de gestión para los residuos de sus operaciones.

7.3.2. Estándares internacionales

Las empresas que se encargan de la gestión de los RAEE continuamente buscan métodos seguros tanto para el ambiente como para la salud humana durante el procesamiento y recuperación de los materiales, debido al continuo cambio de la tecnología. No obstante, como se mencionó anteriormente ha surgido la necesidad de establecer legislaciones y normas, así como lineamientos y requerimientos para la gestión de los RAEE, los cuales brindan un camino para permitir que una organización administre residuos electrónicos de manera responsable (Miotti *et al.*, 2015).

De modo que, así como las reglamentaciones son un conjunto de requisitos que se han convertido en ley y se aplican a través de la auditoría y acción del gobierno, los estándares son un conjunto formalizado de requisitos establecidos y aplicados a procesos de fabricación, productos, servicios y procedimientos (ISO 17000). Estos, no son legalmente vinculantes a menos que estén incorporados en las leyes o citados en algún reglamento. Pueden ser internos a una organización y desarrollados para evaluar sus propias operaciones, o en algunas ocasiones pueden ser externas, donde diferentes organizaciones se juntan para desarrollar y evaluar un estándar en común como lo son en torno a la gestión de RAEE. Además, debido a que son voluntarias, los estándares necesitan una fuerte función de auditoría incorporada en el programa para garantizar que se cumplan todos los requisitos del estándar (Step, 2014).

Ya se han promulgado iniciativas mundiales tanto a nivel voluntario como regional en reconocimiento de la importancia que tiene la gestión responsable de los RAEE. Incluso con el claro deseo de una mejor gestión global de los residuos electrónicos, no existe un solo estándar internacionalmente reconocido. Sin embargo, se pueden mencionar 5 muy importantes, como lo son:

- 🌈 El estándar de Swico/SENS es el estándar oficial de Suiza y entró en vigor el 8 de diciembre 2009. Creado por el sector privado y declarado por el Ministerio de Medio Ambiente de Suiza como estado de arte, y como tal, es de cumplimiento obligatorio para las empresas de reciclaje de RAEE.
- 🌈 WEEELabex (WEEE Label of Excellence) es un estándar europeo creado entre 2009 y 2012 en el marco de un proyecto cofinanciado por LIFE+, el programa ambiental de la Unión Europea (UE). Está basado en su primera versión en el estándar suizo de Swico/Sens. La organización responsable de la implementación de WEEELabex actualmente es la “Weee Forum Association”. Se encuentra disponible en 7 idiomas, y consta de tres documentos: recogida, logística y tratamiento.
- 🌈 El estándar de CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) está basado en el estándar WEEELabex. Sin embargo, mientras WEEELabex es de cumplimiento voluntario, se espera que CENELEC se convierta en una norma europea y por lo tanto, está previsto declararlo como vinculante en la próxima revisión de la directiva RAEE de Europa.
- 🌈 El R2 diseñado por la EPA (Environmental Protection Agency) de los Estados Unidos. La mayoría de los programas de gestión de RAEE de ese país lo exigen a pesar que es de carácter voluntario. Se caracteriza por que los operadores (gestores) de cualquier parte del mundo pueden ser certificados. La primera versión fue publicada en 2008 y a Marzo de 2014 había 511 operadores certificados en 17 países (más que cualquier otro estándar).
- 🌈 El estándar de e-Stewards fue creado por la ONG (Organización No Gubernamental) BAN (Basel Action Network). Las ONG’s originalmente involucradas en el diseño del R2 no estaban de acuerdo con algunas directivas (particularmente las directivas sobre exportaciones) y como no se logró ningún acuerdo, abandonaron el R2 e iniciaron el proyecto de e-Stewards. Por consiguiente, e-Stewards es más restrictivo que R2, en

particular en las áreas de exportaciones y de la salud. Actualmente hay 68 operadores certificados en 3 países (EEUU, Canadá e Inglaterra).

Un aspecto del manejo de los residuos electrónicos que no está ampliamente cubierto en las normas existentes es la recolección, manejo y transporte, antes de que entre en la fase de tratamiento. Las normas existentes se centran en la manipulación, el transporte y el tratamiento de los desechos electrónicos una vez que se han recibido y se reutilizan o preparan para su restauración o recuperación de materiales mediante reciclado y otras actividades. Los problemas de recolección, manipulación y transporte rara vez se cubren debido a la amplia variedad de enfoques y actividades que pueden estar involucrados en la recuperación de productos (Miotti *et al.*, 2015) por lo que todos los estándares deberían de incluir estos procesos.

Para todos los estándares, existen requisitos específicos para las diferentes etapas de la fase de fin de vida de los aparatos eléctricos y electrónicos, algunos de estos pueden ser (Miotti *et al.*, 2015):

- a) El cumplimiento legal, el cual todos los operadores deben cumplir con la legislación y los tratados locales, regionales, nacionales e internacionales según se aplique a sus operaciones (registro de todos los permisos necesarios, licencias y otra documentación requerida por los socios).
- b) Comprobante de sistemas de gestión que les permiten permanecer hasta la fecha con requisitos legales nuevos o revisados.
- c) Responsabilidad financiera y seguro, para cubrir los daños a terceros (ambientales, impactos en la salud de los trabajadores y el público en general, a propiedades), responsabilidad cibernética y la clausura adecuada y limpieza del sitio de operación cuando sea necesario.

- d) Documentación y diligencia debida en sentido descendente, en donde los operadores deben documentar todos los flujos de desechos electrónicos, componentes, fracciones y materiales que ingresan y salen de sus instalaciones, y requieren tal documentación de los socios intermedios.
- e) Tener un sistema de gestión ambiental, de salud y seguridad (EHSMS), para que el personal esté adecuadamente capacitado y calificado para el funcionamiento apropiado de las instalaciones y el uso de equipos de protección personal conveniente a las responsabilidades del personal.
- f) Los derechos laborales ya que es una responsabilidad crucial para el operador del programa el tener condiciones de trabajo saludables, pagos justos, condiciones sociales y laborales apropiadas y la ausencia de discriminación hacia los trabajadores (ILO, 2014).
- g) Los materiales peligrosos, como la prevención de la contaminación es uno de los principales objetivos de la gestión de los residuos electrónicos, los estándares deberían develar claramente los que constituyen los materiales y componentes peligrosos y por lo tanto deberían eliminarse y manejarse por separados. De esta manera, la norma debería exigir que una vez eliminados estos materiales se manejen responsablemente a través de flujos de recuperación y eliminación de materiales separados.

7.3.3. Legislación relativa a los RAEE en México

Particularmente México es considerado como signatario del convenio de Basilea por lo cual, tiene la obligación de regular los movimientos transfronterizos de los RAEE y materiales que los contengan (tubos de rayos catódicos (TRC), tarjetas de circuitos impresos, entre otros). Para esto, la SEMARNAT y la Secretaría de Economía en agosto del 2010 publicaron un acuerdo donde se notificarían las importaciones y exportaciones de TRC, sus desperdicios y desechos así como otros componentes de AEE usados (Ojeda-Benítez y Aguilar-Virgen, 2016).

Por otra parte, México también es signatario del convenio de Estocolmo por lo que tiene el compromiso de eliminar del país el uso de bifenilos polibromados (BPB) y éteres bifenílicos polibromados (PBDEs) encontrándose principalmente en los RAEE (Ojeda-Benítez y Aguilar-Virgen, 2016).

Para cumplir con los compromisos adquiridos a nivel internacional, México cuenta con instrumentos de regulación específicamente para los residuos, como es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en la cual existen diferentes categorías los cuales son: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos Peligrosos (RP) y Residuos de Manejo Especial (RME), así mismo, ha modificado la ley para la inclusión de los RAEE como RME, lo cual generó la aprobación de la norma NOM-161-SEMARNAT-2011 (SEMARNAT, 2013), con una clasificación de los RAEE, sin embargo no especifica en una categoría detallada a los RAEE. Los RME de acuerdo a la LGPGIR, entran en la jurisdicción de las entidades federativas y que de acuerdo al reglamento de la LGPGIR se debe utilizar la figura de los planes de manejo para fomentar la valorización y prevenir la contaminación por estos residuos. Estos planes se sustentan en la NOM-161-SEMARNAT-2011. Sin embargo, en la legislación los RME se consideran competencia del estado, por lo tanto, las entidades federativas cuentan con la facultad de formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar los programas en materia de RAEE's.

La misma Ley establece, que las entidades federativas deben actualizar su marco legal de forma que puedan implementar el control de los RME. Sin embargo, solo 19 entidades federativas (Aguascalientes, Baja California, Chiapas, Chihuahua, Distrito Federal, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, Sonora, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz) cuentan

con un marco legal para la gestión de los RME a través de planes de manejo (Rojas et al., 2013).

7.4. MANEJO DE LOS RAEE.

7.4.1. El manejo de los RAEE a través de experiencias a nivel mundial

Una de las razones para la creciente generación de RAEE es la disponibilidad constante de tecnología y diseño de nuevos AEE, además de la obsolescencia programada que cada vez reduce más el tiempo de vida útil o funcional. Esto lleva a la necesidad apremiante de implementar programas de manejo de los RAEE.

El manejo adecuado de los RAEE permitiría garantizar el acceso a elementos indispensables para abastecer con productos y funcionalidades a una población creciente, preservar el medio ambiente (disminuyendo el consumo de recursos naturales), proteger la salud humana de los trabajadores (exposición directa) y la sociedad en general (exposición indirecta); incluso mejorar la eficiencia en todas las operaciones de reciclaje, desde la recolección hasta la recuperación final o eliminación de materiales peligrosos (Magalini, 2015).

Resulta evidente que la generación-implementación legislaciones, por sí solas no terminarían con la problemática en cuestión, pues se requiere acompañar las normas con trabajo de concientización en la población consumista, además de frenar diversas formas de manejo ilegal de RAEE. Por ejemplo, aunque que ha pasado casi una década desde que las primeras directivas entrasen en vigor en la UE, tan solo un tercio de los desechos electrónicos de la UE se recogen y reciben un tratamiento adecuado. Una parte importante del resto aún se destina a vertederos o se trafica

ilegalmente a pesar de los esfuerzos, nacionales e internacionales, en sus regulaciones.

Existe un informe que señala que el comercio ilegal de los RAEE de países desarrollados hacia países en desarrollo es ahora solo un 1% del comercio total, y el 73-82% del comercio de estos residuos se está produciendo entre los países en desarrollo (Lepawsky, 2014).

De esta manera el flujo de RAEE a nivel mundial resulta una constante en los países de primer mundo. Por ejemplo, uno de los mayores importadores y exportadores mundiales de RAEE es China, donde a pesar de que la normatividad prohíbe la importación de estos residuos, han encontrado una manera velada de importación, en la que solo se captan RAEE usados o para restauración, con la intención de exportarlos nuevamente haciendo que el flujo continúe mediante la reducción de impuesto al valor agregado sobre productos usados al 4% (Premalathaa *et al.*, 2014).

En cuanto a las razones por las que la importación y reciclaje informal o ilegal de RAEE se continúan efectuando se encuentran las siguientes:

- ✚ Las grandes cantidades generadas de RAEE.
- ✚ Los bajos costos de mano de obra.
- ✚ La ineficiencia de las regulaciones en materia de RAEE's.
- ✚ Los costos de tratamiento son bajos debido a la aplicación de métodos simples.
- ✚ El proceso de desmontaje es altamente preciso porque se realiza manualmente, lo que maximiza la extracción de componentes y piezas reutilizables.
- ✚ Autoorganización.

Por otra parte, para el manejo de los RAEE se han realizado diferentes investigaciones con el fin de mitigar los problemas tanto a nivel nacional como internacional. Las herramientas más utilizadas para el manejo de los RAEE son: el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), el Análisis de Flujo de Materiales (AFM), Análisis de Criterios Múltiples (ACM) y la Responsabilidad Extendida del productor (REP). Todas estas herramientas se han probado en diferentes naciones demostrando su efectividad o funcionalidad (Kidee *et al.*, 2013). A la gestión adecuada de estos residuos, se han sumado los estándares desarrollados mencionados en la sección 7.4.2 (Step, 2014) y de esta manera permitir que una organización administre estos residuos de manera responsable (Miotti *et al.*, 2015).

En Europa para el manejo de los RAEE, los consumidores usan cuatro opciones de recolección administrada y financiada de manera independiente, como son: municipal (entidades locales), recolección de minoristas, recolección de organizaciones sociales (grupos públicos) y el mercado de reutilización para deshacerse de sus antiguos aparatos (plataformas de reventa de internet) (Premalathaa *et al.*, 2014). En otras partes del mundo, algunas prácticas de manejo de recolección implementadas para los RAEE son: sistema de devolución oficial, la eliminación con residuos mezclados, recolección fuera de los sistemas oficiales de devolución y por último la recolección informal y reciclaje en países en desarrollo (Balde *et al.* 2015).

Así pues, en algunos países la gestión de sus RAEE se ve influenciado por la REP, lo que ha aumentado el costo de la eliminación impulsando de esta manera la exportación de RAEE como una opción más barata. Llegando a los lugares más grandes de reciclaje informal localizados en Guiyu y Taizhou en China, Gauteng en Sudáfrica, Nueva Delhi en India, Accra en Ghana y Karachi en Pakistán. En la mayoría de los países, el manejo de los RAEE termina solo con la recolección y envío

de estos residuos a empresas autorizadas las cuales se encargan del tratamiento (reutilización y reparación, refabricación y reciclado) y disposición final.

La tarea es sumamente difícil, pues el reciclaje ambientalmente racional de RAEE requiere el uso de instalaciones de última generación, así como mano de obra calificada e importantes inversiones económicas (Ka-Yan *et al.*, 2013), por lo que solamente algunos países desarrollados poseen la innovación tecnológica para su tratamiento; mientras que, en otros (países), tan solo una fracción de RAEE se recicla adecuadamente y el resto se incinera o se envía a vertederos (Premalathaa *et al.*, 2014).

No obstante, vale la pena hacer algo más que el intento. El manejo adecuado de estos residuos genera un beneficio directo sobre la salud y la calidad de vida de la gente, evitando que las sustancias peligrosas sean liberadas al ambiente, previniendo fugas de gases a la atmósfera, contaminación de aguas y suelos y daño a los ecosistemas. El reto está muy presente, sobre todo para para aquellos países donde no hay control o apenas se está comenzando a discutir y a regular la problemática. Sin embargo, mientras se buscan alternativas, miles de toneladas de RAEE continúan generándose para una mala disposición.

Otro de los retos está en la complejidad de la composición de los nuevos AEE que se producen, los cuales tienen características cada vez más nuevas modificando los procesos de tratamiento o en su caso se deben crear métodos para la separación y obtención de componentes o materiales valorizables.

No todo está perdido, pues uno de los factores de éxito que influyen sobre el manejo de RAEE en algunos países sobre todo europeos (Suiza), es la manera en cómo por medio de leyes, acuerdos y compromisos, se involucra a los diferentes actores

(productores, distribuidores y consumidores). De esta manera, el éxito genera un impacto social positivo durante toda la cadena de gestión mediante la creación de nuevos empleos y sobre todo en la salud de las personas. Por ejemplo, en Alemania se estima que inicialmente se crearon 3,870 empleos, mientras que en Lituania se generaron 290, todos relacionados con la gestión de los RAEE.

7.4.2. Reciclaje informal

Las actividades de reciclaje de los RAEE, se llevan a cabo en algunos países en vías de desarrollo por medio del sector informal, algunos de estos se encuentran en localidades como Guiyu y Taizhou en China, Gauteng en Sudáfrica, Nueva Delhi en India, Accra en Ghana y Karachi en Pakistán, considerados como los grandes sitios de reciclaje de RAEE's a nivel mundial debido a que reciben grandes toneladas de RAEE's ilegalmente (Kidee *et al.*, 2013).

Pese a ello, el crecimiento de este sector se debe principalmente a que realizan sus procesos de reciclaje en patios de viviendas a cielo abierto, así mismo a los bajos costos de mano de obra, la ineficiencia de las regulaciones en materia de RAEE's y los procesos rudimentarios que utiliza, algunos de los cuales son los cortes y quema de cables para la recuperación de cobre y otros metales, lixiviación ácida para recuperación de metales, calentar y extraer manualmente los componentes de las placas de circuitos impresos, picar y derretir plásticos y triturar al aire libre (Yoshida *et al.*, 2016). Debido a esto, los costos de inversión son bajos comparados con una planta de reciclado formal de RAEE's lo que origina un serio problema de gestión y manejo que a su vez trae problemas graves de contaminación ambiental y sobre todo severos problemas de intoxicación y afectación a la salud humana (por exposición directa o indirecta) como se mencionó anteriormente.

En el caso de los trabajadores de sitios de reciclaje informal, estos apenas sobreviven con el salario otorgado por el dueño de cada sitio, sin contar con seguridad social, equipo de protección o herramienta adecuada para realizar sus labores, lo que conlleva a la exposición de enfermedades graves y/o crónicas. Sin embargo estas consideraciones pasan a segundo término cuando lo primordial es la obtención del recurso económico por ser su única fuente de ingresos sobre todo para los trabajadores (véase Anexo: Entrevista a don Gerardo Bernal reciclador informal de RAEE’s).

7.4.3. El manejo de los RAEE en México

De acuerdo con el PNUD-SEMARNAT (2015), de la cantidad total de RAEE que se genera en México, no hay información concluyente de cuanto se procesa o se recicla de manera ambientalmente racional. Para el año 2015, existían entre 30 y 40 empresas que participaban en el reciclaje, 25 de las cuales se identifican y están registradas como tales. Se ubican principalmente en el área metropolitana en las ciudades de México, Guadalajara y Tijuana, con una capacidad total de cerca de 13,000 ton/año (SEMARNAT, 2010b). Las otras empresas operan en su mayoría, de manera informal. Las 25 empresas de reciclado sólo realizan un pre-procesamiento de los residuos de computadora, específicamente de placas de circuito impreso que se envían al extranjero para recuperarse en otros países, dejando al resto como residuos.

El procesamiento de reciclado (y desecho), consiste principalmente en la separación manual de los desechos, la trituración, y en ciertos casos la separación de residuos de las corrientes de agua y aire. El reciclaje final de los materiales se lleva a cabo en fundidoras o fuera del país para recuperar metales preciosos. Ni los procesos pirometalurgicos ni los hidrometalurgicos se realizan para separar componentes metálicos puros, excepto las fundidoras que recuperan metales básicos tales como

aluminio, cobre, plomo y otros. Existen alrededor de 700 fundidoras de diferentes metales en el país, las cuales, debido a la naturaleza de sus labores, trabajan en el reciclado de chatarra. Los residuos que resultan de las operaciones de reciclado se desechan en los vertederos municipales. Los otros complejos solo trabajan en la recolección. Las empresas recicladoras trabajan, en el mejor de los casos, con un permiso emitido después de haberse sometido a una Evaluación de Impacto Ambiental, cuando establecen su lugar de trabajo. Además, no existen cadenas formales para su logística y la recolección que llevan a cabo, ya que todas son informales y se utiliza la misma mecánica de recolección de los RSU (PNUD-SEMARNAT, 2015).

En síntesis, no existe un sistema de manejo ambientalmente racional integrado para que opere a lo largo del ciclo de esta cadena de residuos. Sin embargo, esto se podría fomentar basándose en los mecanismos de mercado que los gobiernos estatales podrían promover. Los costos del reciclaje y la eliminación de residuos electrónicos, dentro de su fracción más peligrosa, no se pueden determinar con exactitud durante esta etapa.

En México, se han llevado a cabo campañas de recolección patrocinadas por gobiernos estatales mediante sus secretarías ambientales, instituciones educativas, empresas privadas y ONG's que han sido temporales o permanentes. Sin embargo, se desconoce el impacto de estos programas debido a que cada organismo opera de manera individual y no presenta de manera oficial ningún reporte de resultados. Además, la finalidad solo es el acopio ya que el tratamiento lo lleva a cabo la empresa privada y aún en este último paso del manejo, no existen datos reportados (tipos y cantidad de materiales recuperado) (Rojas *et al.* 2013).

Las regulaciones existentes en México, no son suficientes para desarrollar esquemas de gestión de RAEE y por lo tanto no existe un sistema integrado de manejo adecuado que opere a lo largo del ciclo de estos residuos dándose prácticas de eliminación de los RAEE mezclados con el flujo de RSU. Por lo que es necesario promover un marco legal de cumplimiento estricto, específico para esta corriente de residuos de manera que no solo incluya a los generadores sino también a los fabricantes, importadores, ensambladores y distribuidores.

En este contexto, no es suficiente limitar la responsabilidad solo a los generadores, productor (minoristas y vendedores), gobiernos estatales (autoridades), usuarios finales y la industria del reciclaje. Es necesario desarrollar sistemas eficientes, de financiamientos y participación que estén en común acuerdo, de esta manera todos los interesados, desde gobiernos, consumidores y organizaciones gubernamentales, participarían asegurando una mejor disposición de los RAEE de una manera sostenible, rentable, accesible y justa para todos.

En México, para el manejo de los RAEE, las autoridades desarrollaron un documento de orientación para el desarrollo de planes de gestión conocido como *“Programa Modelo para la Gestión Electrónica de Residuos en México”*, el cual contaba con el objetivo de elaborar un modelo de “plan de manejo especial” para residuos electrónicos, como lo estipula la LGPGIR, para que pueda utilizarse como base para las localidades y entidades federales interesadas en su instrumentación. Entre los productos principales del documento, cuenta con un guía con los elementos básicos que deben ser incluidos en dichos planes de manejo, considerando dos enfoques esenciales: el ACV, particularmente en la etapa “final de vida” y la ecoeficiencia. Este documento fue orientado a apoyar a los tomadores de decisiones involucrados en la gestión de RAEE, principalmente la SEMARNAT y el sector privado debido a

que ellos podrían desarrollar un plan de manejo a nivel nacional (INE, 2007; Rojas *et al.* 2013; Cruz-Sotelo *et al.*, 2016).

Por otra parte, realizaron una evaluación de alternativas para la gestión de residuos de manejo especial, específicamente para los RAEE, tomando en cuenta las condiciones del país, de tal forma que puedan ser consideradas para reducir la disposición inadecuada de estos residuos. Las alternativas viables para estos aparatos son:

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Reúso directo |  Reciclaje de materiales |
|  Re-acondicionamiento |  Aprovechamiento de energía |
|  Recuperación de partes |  Disposición final |

No obstante, actualmente la vida final de los RAEE en el país se clasifica de tres tipos: reúso, reciclado y relleno sanitario. Y para el sistema de recolección existen dos grupos: los recolectores y comercializadoras de chatarra, los cuales tienen influencia en el reciclado como alternativa de disposición final de los RAEE, esta funciona a través de la compra-venta, por lo que podría tener una fuerte influencia ya sea positiva o negativa sobre el posible establecimiento de algún sistema de manejo público o privado de los RAEE y los del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU). Los sistemas de recolección RSU es un grupo bien organizado, que cuenta con la dificultad de establecer sistemas alternativos que permiten la recolección completa, de manera que los aparatos electrónicos lleguen a los centros de transferencia, a fin de lograr su valorización integral a través de su canalización hacia acopiadores o recicladores de RAEE (Cruz-Sotelo *et al.*, 2016) avalados por la SEMARNAT (SEMARNAT, 2010b). Como se observa, no existe un plan de manejo definido para estos residuos.

Como se mencionó anteriormente, para que exista una gestión adecuada de los RAEE en México, la legislación designó a los planes de manejo como instrumentos para la disminución de la generación y maximizar la valorización. Sin embargo, a nivel nacional se encuentran registrados 7 planes de manejo para los RAEE (SEMARNAT, 2017), aunque, actualmente no se sabe con certeza si existen programas de seguimiento de los mismos, así como su la eficacia, incluso, en algunos casos el acceso público no es autorizado y en otros aún no han sido elaborados. Los diagnósticos aplicados para el país brindan datos desde el año 2006 hasta el más reciente del 2011, sin embargo, los datos que existen no mostrarían un escenario real de los RAEE en el país, por tanto, la implementación de un plan de manejo quedaría obsoleto dado las crecientes cantidades de estos residuos. Así es que es necesario realizar nuevos diagnósticos que nos acerquen a la situación actual de esta corriente de residuos para así implementar mecanismos de acción para un manejo adecuado.

Por otra parte, en México se encuentra vigente el Plan colectivo RLGA, aprobado el 18 de septiembre del 2013 por la SEMARNAT mediante el Oficio DGFAUT/612/0961 con el número de registro PM-RTEC-004-2013 operado por la empresa RLG México (Returns Management Group México S. de R. L. de C. V.), el cual proporciona una gestión integral de la obligación y las necesidades de los productores e importadores de equipos eléctricos en México. Éste, cumple con todas las exigencias normativas de la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 y brinda a sus miembros soluciones costo-eficientes y ambientalmente amigables. Implementa y opera el sistema de gestión por encargo de sus clientes (empresas adheridas), realiza las gestiones necesarias con las diferentes autoridades competentes del Gobierno, dirige las operaciones de recolección y logística de todo tipo de consumidor final (empresas privadas, instituciones públicas y hogares), se encarga de gestionar la generación propia de las empresas adheridas y así mismo, realiza auditorias para monitorear que el tratamiento se realice de acuerdo con los

estándares técnicos. Además, mediante sistemas informáticos desarrollados específicamente para sistemas de recolección inversa y ofrece la trazabilidad completa del material recogido, desde el punto de entrega hasta que el material se vuelva nuevamente una materia prima (RLG Américas, 2015).

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES

El consumo de AEE ha incrementado durante el periodo de 2000-2016, encontrándose que los productos que se consumieron mayormente en términos de peso fueron los refrigeradores, las lavadoras, los hornos eléctricos, los calefactores eléctricos, los televisores de pantalla plana; a estos se suman los equipos de las TIC's. Este incremento tiene que ver principalmente con la economía, el comercio, la innovación tecnológica y la obsolescencia percibida y programada, ocasionando un incremento inmediato en la generación de residuos procedentes de este flujo.

Los RAEE son los flujos de residuos de mayor crecimiento en el mundo, aproximadamente a una tasa de 3-5% al año y aproximadamente tres veces más rápido que los RSU, generando cantidades de 44.7 Tm/año que en promedio son 6.1 kg/hab ambos para el año 2016. La generación por continente describe que Asia tiene la mayor generación de RAEE a nivel mundial, con 18.2 Tm; en segundo lugar, Europa con 12.3 Tm, seguido de América con 11.3 Tm y por último África y Oceanía con 2.2 Tm y 0.7 Tm respectivamente.

Debido a que aún existe un mal manejo de los RAEE se presentan afectaciones tanto ambientales (contaminando agua, suelo aire y biota circundante (flora y fauna)) como a la salud humana. Esta última se da por la exposición a los componentes peligrosos de los RAEE (inhalación de aire, ingesta dietética, ingesta de suelo o polvo y contacto con la piel) y el grado de toxicidad se dará tanto por el tipo de sustancia o contaminante y/o la cantidad ingresada al organismo.

La Convención de Basilea y las normas de la Unión Europea dan orientación para la legislación en torno a estos residuos tanto en la región como en el resto del mundo.

Hasta enero de 2017, aproximadamente 4,800 millones de personas estaban cubiertas por la legislación nacional de gestión de RAEE, que es el 66% (67 países) de la población mundial, no obstante a pesar de la presencia de la legislación, no siempre se traducen en acciones concretas para su manejo adecuado.

Se identificó que a nivel internacional, el esquema más utilizado para el control de los RAE es el de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), en la que toda la cadena de valor participa en el manejo de los RAEE y el principal responsable es el fabricante.

La reutilización y reparación, refabricación y reciclado son los tratamientos más adecuados para el manejo de los RAEE. Particularmente, el reciclaje trae consigo beneficios como son: reducción de la demanda mundial de recursos naturales, ahorro de energía, reducción de emisión de gases de efecto invernadero y sobre todo reducción de RAEE's en vertederos o rellenos sanitarios. No obstante, la tasa de reciclaje más alta la tiene el continente europeo con un 35%, seguida de América y Asia con 17% y 15% respectivamente. Los continentes restantes obtuvieron las tasas más bajas de reciclado con el 6% para Oceanía y África 0%.

Los factores de gran influencia para el manejo de los RAEE son: el desarrollo socioeconómico, las estructuras de gobernanza, la geografía, los enlaces comerciales, la infraestructura, las consideraciones psicológicas que reflejan las actitudes de los consumidores y los marcos jurídicos, mecanismos de recolección, instalaciones de reciclaje y recuperación, conciencia ambiental y estándares de salud y seguridad. Para estos, existen cuatro pilares para atender la gestión de los RAEE, a saber, el marco legal, el mecanismo de recolección, la infraestructura de procesamiento y las normas de salud y seguridad ambiental.

El marco legal en México no contempla una ley específica para la gestión de los RAEE y por tanto no existe un sistema integrado de manejo de RAEE. Lo único que contempla son los planes de manejo que deberían de implementar los generadores de RME y según la legislación son de carácter obligatorio.

La vida final de los RAEE en el país se clasifica de tres tipos: reuso, reciclado y relleno sanitario (disposición final). Y para el sistema de recolección existen dos grupos: los recolectores y comercializadoras de chatarra y los del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU)

EL diseño de aparatos ecológicos, adecuada recolección, recuperación y reciclaje de materiales mediante métodos seguros, prohibición de transferencias de AEE usados a países en desarrollo y, además, la creación de conciencia sobre el impacto que estos residuos generan hacia la población, podrían ser la clave del éxito para una gestión de RAEE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo M. J., Rivas R. E., Carrillo G. O. (2008). *Diagnóstico regional sobre la generación de residuos electrónicos al final de su vida útil en la región Noreste de México*. INE-ITESM, Monterrey, México [En línea] Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/res_electronicos_noreste_reporte_final.pdf [Fecha de consulta: 2 de mayo del 2017].
- Afroz R., Masud M.M., Akhtar, R., Duasa, J.B., (2013). *Survey and analysis of public knowledge, awareness and willingness to pay in Kuala Lumpur, Malaysia e a case study on household WEEE management*. Journal of Cleaner Production. No. 52. 185-193 pp. [En línea] Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S095965261300053X/1-s2.0-S095965261300053X-main.pdf?tid=5f58c664-022c-11e8-b833-0000aabb0f6b&acdnat=1516925204_47bfb56da2d6791174ae4ab6111c1469 [Fecha de consulta: 25 de enero del 2018].
- Alabi O. A., Adekunle B. A., Xu X. , Li B. , Zhang Y. and Huo X. (2012). *Comparative evaluation of environmental contamination and DNA damage induced by electronic-waste in Nigeria and China*. Science of the Total Environment. Vol. 423. Pp. 62-72. [En línea] Disponible en: <https://sci-hub.tw/10.1016/j.scitotenv.2012.01.056> [Fecha de consulta: 7 de enero del 2018].
- Alcaino-Concha G. I. (2012). *Análisis y Comparación de Tecnologías de Remediación para Suelos Contaminados con Metales*. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología. Santiago de Chile. 63 pp.
- Almeida F. R. M., Carvalho D. C. D. S., De Freitas S. J. y Marques C. A. J. (2012). *Tratamiento de los aparatos electrónicos obsoletos que han sido utilizados en la generación de conocimiento*. Universidad Mesoamericana de San Agustín.

- Merida, Yucatán, México. Tesis Doctoral. [En línea] Disponible en: <http://www.bioetica.org/umsa/seminario/I-12-Producto.pdf> [Fecha de Consulta: 216 de noviembre del 2017].
- Anderson M. (2015). *Smartphone, computer or tablet? 36% of Americans own all three*. Pew Research Center. Washington, DC. [En línea] Disponible en: <http://www.pewresearch.org/fact-tank/2015/11/25/device-ownership/> [Fecha de consulta: 12 de enero de 2017].
- Araiza-Aguilar, Escobar L. K. B., Nájera A. J. A. (2016). *Diagnóstico de generación y manejo de los residuos eléctricos y electrónicos en instituciones educativas: un caso de estudio*. Ingeniería Vol. 20 No. 2. 115-126 pp.
- Arora M., Sharma M. and Bose D. (2018). *Step Towards E-Waste Management (STEM)*. Siddiqui N., Tauseef S., Bansal K. (eds) *Advances in Health and Environment Safety*. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering. Springer, Singapore. Pp 83-88 [En línea] Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-10-7122-5_10 [Fecha de consulta: 12 de febrero del 2018].
- Baldé C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J. (2015a) *Global E-Waste Monitor 2014. Quantities, flows and resources*. United Nations University, IAS - SCYCLE, Bonn, Germany. [En línea] Disponible en: <http://i.unu.edu/media/unu.edu/news/52624/UNU-1stGlobal-EWaste-Monitor-2014-small.pdf> [Fecha de consulta: 229 junio del 2017].
- Baldé C.P., Kuehr R., Blumenthal K., Fondeur G. S., Kern M., Micheli P., Magpantay E., Huisman J. (2015b). *E-waste statistics: Guidelines on classifications, reporting and indicators*. United Nations University, IAS - SCYCLE, Bonn, Germany. [En línea] Disponible en: http://i.unu.edu/media/ias.unu.edu-en/project/2238/E-waste-Guidelines_Partnership_2015.pdf [Fecha de consulta: 9 de mayo del 2017].
- Baldé C. P., Forti V., Gray V., Kuehr R., Stegmann P. (2017). *The Global E-waste Monitor 2017. Quantities, Flows, and Resources*. United Nations University

- (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. [En línea] Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20.pdf> [Fecha de consulta: 12 de diciembre del 2017].
- BD-CND, Biblioteca Digital de la Cámara Nacional de Diputados. (2012). Gobierno de Brasil. [En línea] Disponible en: http://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2017].
- BOE, Boletín Oficial del Estado (2015). *Disposiciones Generales. Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Boletín Oficial del Estado. Núm. 45. Sec. I. Pág. 14211. [En línea] Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2015/02/21/pdfs/BOE-A-2015-1762.pdf> [Fecha de consulta: 20 de diciembre del 2017].
- Cárdenas A. B. C., Fernández G. E. R., Figueroa E. J. R. (2015). *Modelo para la predicción de la generación de residuos electrónicos*. Revista Iberoamericana de Ciencias. Vol. 2, No. 6. Pp. 55-67. [En línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/289377788_Modelo_para_la_pr prediccion_de_la_generacion_de_residuos_electronicos?ev=prf_high [Fecha de consulta: 20 de junio de 2017].
- Chung, S.-W., Murakami-Suzuki, R. (2008). *A comparative study on e-waste recycling systems in Japan, South Korea, and Taiwan from the EPR perspective: implications for developing countries*. In: Kojima, M. (Ed.), *Promoting 3Rs in Developing Countries: Lessons from the Japanese Experience*. Institute of Developing Economics, pp. 125-145. [En línea] Disponible en: <http://ecsenvironment.com/images/Library/Case%20Studies/A%20Camp arative%20study%20of%20e%20waste%20recycling%20system%20In%20Jap>

- an,South%20Korea%20and%20Tawian.pdf [Fecha de consulta: 2 de enero del 2018].
- Cruz-Sotelo S.; Ojeda-Benítez S., Aguilar-Virgen Q., Taboada-González P. A., Santillán-Soto N., García-Cueto O. R. y Aguilar-Villavicencio O. (2014). *La huella del carbono durante el ciclo de vida del teléfono celular*. Cambio climático y cambio global. Madrid. IX Congreso de la Asociación Española de Climatología. Pp. 821-830 [En línea] Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/8237/1/0077_IX-2014-SE_CRUZ.pdf [Fecha de consulta: 12 de enero del 2018].
- Cruz-Sotelo S., Ojeda-Benitez S., Velazquez-Victorica K., Santillan-Soto N., Garcia-Cueto O. R., Taboada-Gonzalez P. and Aguilar-Virgen Q. (2016). *Electronic Waste in Mexico – Challenges for Sustainable Management*. Researchgate. [En línea] Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/e-waste-in-transition-from-pollution-to-resource/electronic-waste-in-mexico-challenges-for-sustainable-management> [Fecha de consulta: 18 de febrero del 2018].
- Cucchiella F., D’Adamo I., Lenny Koh S.C., Rosa, P. (2015). *Recycling of WEEE: an economic assessment of present and future e-waste streams*. *Renew. Sustain. Energy Rev.* Vol. 51. Pp. 263–272. [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115005808?via%3Dihub> [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2018].
- Damrongsiri S., Vassanadumrongdee S. and Tanwattana P. (2016). *Heavy metal contamination characteristic of soil in WEEE (waste electrical and electronic equipment) dismantling community: a case study of Bangkok, Thailand*. *Environ Sci Pollut Res.* [En línea] Disponible en: <https://sci-hub.tw/10.1007/s11356-016-6897-5> [Fecha de consulta: 25 de enero del 2018].
- Duan Hu., Miller T. R., Gregory J., Kirchain R. (2013). *Quantitative Characterization of Domestic and Transboundary Flows of Used Electronics Analysis of Generation, Collection, and Export in the United States*. United Nations University, United

- States Environmental Protection Agency and Solving the E- waste Problem Initiative (StEP). [En línea] Disponible en: http://www.step-initiative.org/files/step/_documents/MIT-NCER%20US%20Used%20Electronics%20Flows%20Report%20-%20December%202013.pdf [Fecha de consulta: 12 de enero del 2018].
- Feszty K. and Calder J. (2007). *E-waste legislation grows in Canada*. Green SupplyLine. [En línea] Disponible en: <http://www.rezagos.com/descargas/CandaEWaste.pdf> [Fecha de consulta: 3 de 14 de enero del 2018].
- Ha N.N., Agusa T., Ramu K., Tu N.P.C., Murata S., Bulbule K.A., Parthasaraty P., Takahashi S., Subramanian A. and Tanabe S. (2009). *Contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Bangalore, India*. Chemosphere. Vol. 76. Pp. 9-15. [En línea] Disponible en: <https://sci-hub.tw/10.1016/j.chemosphere.2009.02.056> [Fecha de consulta: 23 de enero del 2018].
- ILO, International Labour Organization (2014). *Introduction to International Labour Standards*. [En línea] Disponible en: <http://ilo.org/global/standards/introduction-to-international-labour-standards/lang--en/index.htm> [Fecha de consulta: 2 de diciembre del 2017].
- INE, Instituto Nacional de Ecología. (2007). *Informe de Actividades 2007*. Instituto Nacional de Ecología. Pp. 35 y 36. [En línea] Disponible en: https://books.google.com.mx/books?id=zFMuQh0h25oC&pg=PA35&lpg=PA35&dq=%E2%80%9CPrograma+Modelo+para+la+Gesti%C3%B3n+Electr%C3%B3nica+de+Residuos+en+M%C3%A9xico+Instituto+Nacional+de+Ecolog%C3%ADa+2007&source=bl&ots=nI81_cu--j&sig=IdrRM2YL8XnKYWTA3EnVLHKIpt8&hl=es&sa=X&ved=0ahUKewjU9t2pkrjaAhXokOAKHX3eAIAQ6AEIMzAB#v=onepage&q=%E2%80%9CPrograma%20Modelo%20para%20la%20Gesti%C3%B3n%20Electr%C3%B3n

- [ica%20de%20Residuos%20en%20M%C3%A9xico%20Instituto%20Nacional%20de%20Ecolog%C3%ADa%202007&f=false](#) [Fecha de consulta: 12 de enero del 2018].
- Iqbal M., Breivik Kn., Hussain S. J., Mali R. N., Li J., Zhang G. and Jones K. C. (2015). *Emerging issue of e-waste in Pakistan: A review of status, research needs and data gaps*. Environmental Pollution 207. Pp. 308-318 [En línea] Disponible en: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.002> [Fecha de consulta: 27 de diciembre del 2017].
- ISO, International Organization for Standardization. (2006). Norma Internacional ISO 14040: 2006. [En línea] Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es> [Fecha de consulta: 23 de enero del 2017].
- Kahhata R. and Williams E. (2012). *Materials flow analysis of e-waste: Domestic flows and exports of used computers from the United States*. Resources, Conservation and Recycling. Vol. 67. Pp. 67- 74 [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912001383> [Fecha de consulta 23 de enero del 2018].
- Khaliq A., Rhamdhani M., Brooks G., Masood S (2014). *Metal extraction processes for electronic waste and existing industrial routes: a review and Australian perspective*. Resources. Vol.3. No.1. Pp. 152-179. [En línea] Disponible en: <http://www.mdpi.com/2079-9276/3/1/152/htm> [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2018].
- Ka-Yan L. W., Chung S-S and Zhang C. (2013). *A material flow analysis on current electrical and electronic waste disposal from Hong Kong households*. Waste Management. Vol. 33 Pp. 714-721 [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12004199?via%3Dihub> [Fecha de consulta: 17 de enero del 2018].
- Khetriwal D.S., Kraeuchi P., Widmer R., (2009). *Producer responsibility for e-waste management: key issues for consideration – learning from the Swiss experience*.

- Journal of Environmental Management. Vol. 90, 153–165. [En línea] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=e-waste+management+in+swiss> [Fecha de consulta: 12 de diciembre del 2017].
- Kiddee P., Naidu R. and Wong M. H. (2013). *Electronic waste management approaches: An overview*. *Waste Management*. Vol. 33. Pp. 1237–1250. [En línea] Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S0956053X13000147/1-s2.0-S0956053X13000147-main.pdf?_tid=2835f388-0073-11e8-a3e3-00000aab0f26&acdnat=1516735703_d3cb56bd6f6b64da3661d56f0e1e7436 [Fecha de consulta: 12 de diciembre del 2017].
- Krw/AbfG, Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (2012). *Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen* (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG). [En línea] Disponible en: https://www.jurion.de/gesetze/krw_%7Cabfg/ [Fecha de consulta: 12 de diciembre del 2017].
- Kumar A., Holuszko M., Romano E. D. C. (2017). *E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices*. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 122. Pp. 32–42 [En línea] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.018> [Fecha de consulta: 15 de diciembre del 2017].
- La Crónica (2017). *Peligro tóxico por un millón de ton de basura electrónica*. La Crónica Diaria S.A. de C.V. [En línea] Disponible en: <http://www.cronica.com.mx/notas/2017/1031767.html#> [Fecha de consulta: 2 de mayo del 2018].
- Latouche S. (2014). *Hecho para tirar. La irracionalidad de la obsolescencia programada*. Barcelona, España: OCTAEDRO, S.L. [En línea] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/259764135/Hecho-Para-Tirar-la-irracionalidad-del-a-obsolescencia-programada> [Fecha de consulta: 29 de mayo del 2017].

- Lepawsky J. (2014). *The changing geography of global trade in electronic discards: time to rethink the e-waste problem*. The Geographical Journal. Vol. 181, No. 2. Pp. 147-159. [En línea] Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/geoj.12077> [Fecha de consulta: 18 de enero del 2018].
- LGPGIR, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003). Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003. México. 40 pp. [En línea] Disponible en: <http://www.aguascalientes.gob.mx/PROESPA/pdf/LEY%20GENERAL%20PARA%20LA%20PREVENCI%C3%93N%20Y%20GESTI%C3%93N%20INTEGRAL%20DE%20LOS%20RESIDUOS.pdf> [Fecha de consulta: 10 de junio del 2017].
- Li J., Zeng X., Chen M., Ogunseitán O.A., Stevels A. (2015). *Control-Alt-Delete: rebooting solutions for the e-waste problem*. Environ. Sci. Technol. Vol. 49. No. 12. Pp. 7095-7108. [En línea] Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.5b00449> [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2018].
- Li Y., Xu X., Liu J., Wu K., Gu C., Shao G., Chen S., Chen G., Huo X. (2008). *The hazard of chromium exposure to neonates in Guiyu of China*. Sci. Total Environ. Vol. 403. Pp. 99-104. [En línea] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18603282> [Fecha de consulta: 12 de enero del 2018].
- LRSEM, Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos. (2007). Periódico Oficial "Tierra y Libertad" No. 4884 [En línea] Disponible en: <http://www.uaem.mx/progau/archivos/Marco/Estatales/E2.-%20Reglamento%20de%20la%20Ley%20de%20Residuos%20S%C3%B3lidos%20para%20el%20Estado%20de%20Morelos.pdf> [Fecha de consulta: 23 de junio del 2017].

- Lu C., Zhang L., Zhong Y., Ren W., Tobias M., Mu Z., Ma Z., Geng Y. and Xue B. (2015). *An overview of e-waste management in China*. J Mater Cycles Waste Manag. No. 17. Pp 1-12 [En línea] Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10163-014-0256-8.pdf> [Fecha de consulta 24 de octubre del 2017].
- MADS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política nacional para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Bogotá, Colombia. [En línea] Disponible en: <https://www.dropbox.com/s/4ond7vsq7iokjq8/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20RAEE.pdf?dl=0> [Fecha de consulta: 27 de diciembre del 2017].
- Magalini F. (2015). *eWaste en América Latina Análisis estadístico y recomendaciones de política pública*. [En línea] Disponible en: <http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2015/12/gsma-unu-ewaste2015-spa.pdf> [Fecha de consulta: 12 de mayo del 2017].
- Mason A., Martindale W., Heath A. and Chatterjee S. (2016). *French Energy Transition Law. Global Investor Briefing*. Principles Responsible Investment and UNEP FI, United Nations Environment Programme Finance Initiative.
- Matsukami H., Tue. N. M., Suzuki G., Someya M., Huu T. L., Hung V. P., Takahashi S., Tanabe S. and Takigami H. (2015). *Flame retardant emission from e-waste recycling operation in northern Vietnam: Environmental occurrence of emerging organophosphorus esters used as alternatives for PBDEs*. Science of the Total Environment. Vol. 514. Pp. 492-499 [En línea] Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S0048969715001448/1-s2.0-S0048969715001448-main.pdf?_tid=70552332-061d-11e8-93ff-00000aacb360&acdnat=1517358594_f7c93f3d267d1a41d64a2409c419860d [Fecha de consulta: 18 de septiembre del 2017].

- MAyDS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política nacional para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Colombia.
- MAVyDT- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011) *Lineamientos técnicos para el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*. Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Centro Nacional de Producción más Limpia. 100 p. [En línea] Disponible en: http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia_RAEE_MADS_2011-reducida.pdf [Fecha de consulta: 3 de mayo del 2017].
- Meraz C. R. L. (2010) *Diagnóstico de la generación de residuos electrónicos en la zona Metropolitana del Valle De México*. CIEMAD - IPN. México D.F. [En línea] Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/2010_inf_diag_gen_res_electronicos_zmvm.pdf [Fecha de consulta: 29 de abril del 2017].
- Miotti M., Böni H., Hernández S. C. A. y Schluep M. (2015). *Estándares técnicos y ambientales para el tratamiento de RAEE. Comparación de estándares RAEE de Suiza, Europa y Estados Unidos*. Sustainable Recycling Industries. [En línea] Disponible en: https://sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2015/07/SRI_ComparacionEstandares_2015es.pdf [Fecha de consulta: 29 de diciembre del 2017].
- Müller E., Hilty L. M., Widmer R., Schluep M. and Faulstich M. (2014). *Modeling Metal Stocks and Flows: A Review of Dynamic Material Flow Analysis Methods*. Environ. Sci. Technol. Vol. 48. Pp. 2102–2113 [En línea] Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es403506a> [Fecha de consulta: 22 de enero 2018].
- Namias J. (2013). *The Future of Electronic Waste Recycling in the United States: Obstacles and Domestic Solutions*. Columbia University, New York, United States. [En línea] Disponible en: <https://www.allgreenrecycling.com/wp->

- [content/uploads/2016/11/Namias_Thesis_07-08-1312.pdf](#) [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2018].
- Pardo-Córdoba J. J. M. (2014). *Modelo de logística inversa para la recuperación y aprovechamiento de residuos plásticos Abs en Cali*. Universidad Autónoma De Occidente. Colombia. Tesis maestría. 160 pp. [En línea] Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/6983/4/T05024.pdf> [Fecha de consulta: 25 de enero del 2018].
- Pascale A. (2015) *Basura Electrónica y Riesgos para la Salud. Jornadas de Informática del Uruguay Montevideo, Uruguay*. [En línea] Disponible en: http://www.asiap.org/AsIAP//images/IIAP/IIAP2015/Presentaciones/Azul/Miercoles/Azul_16_16hs.pdf [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2017].
- Palma A. L. C., Reyes E. A. Y., Vázquez G. F. A., Lira M. M. A., González D. M. V. (2016) *Los residuos electrónicos un problema mundial del siglo XXI*. CULCyT. Cultura Científica y Tecnológica. Año 13, No 59, Especial No. 1.
- Perkins D. N., Brune D. M-N, Nxele T., and Sly P. D. (2014). *E-Waste: A Global Hazard. Icahn School of Medicine at Mount Sinai. Annals of Global Health*. Vol. 80. Pp. 286-295. [En línea] Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S2214999614003208/1-s2.0-S2214999614003208-main.pdf?_tid=8363afbe-1286-11e8-ba49-00000aab0f6c&acdnat=1518723146_53a9504729fb0025288987ec94da4503 [Fecha de consulta: 12 de enero del 2018].
- Pickren G. (2014). *Geographies of E-waste: Towards a political ecology approach to e-waste and digital technologies*. Geography Compass. Vol. 8 No. 2. Pp. 111-124. [En línea] Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/gec3.12115> [Fecha de consulta: 17 de enero del 2018].
- Premalathaa M., Tabassum-Abbasia, Abbasia T. & Abbasia S. A. (2014). *The Generation, Impact, and Management of E-Waste: State of the Art*. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. Vol. 44 No. 14. Pp. 1577-1678. [En

- línea] Disponible en:
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643389.2013.782171>
[Fecha de consulta: 12 de enero del 2014].
- PNUD-SEMARNAT (2015). Proyecto Manejo adecuado de residuos conteniendo Compuestos Orgánicos Persistentes en México. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Fondo para el Medio Ambiente Mundial. 100 pp.
- PNUMA, Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente. (2014) *CONVENIO DE BASILEA Sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación*. Secretariat of the Basel Convention. Châtelaine, Switzerland. 123 pp. [En línea] Disponible en: <https://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/text/BaselConventionText-s.pdf> [Fecha de Consulta: 6 de junio del 2017].
- Pulgar-Vidal O. Manuel, Sánchez-Moreno C. M., Chávez J. N., Roca P. R., Aranibar T. S. (2012). *Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*. Ministerio del ambiente, Perú.
- Quintero B. S. P. (2014) *Diseño de un plan estratégico para el manejo sostenible de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad De Estudios Ambientales Y Rurales, Ecología. [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13003073>
[Fecha de consulta: 24 de enero del 2018].
- RELAC, Plataforma Regional de Residuos Electrónicos en América Latina y el Caribe. (2010). *Los residuos electrónicos: Un desafío para la Sociedad del Conocimiento en América Latina y el Caribe*. UNESCO, Montevideo. [En línea] Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0019/001900/190020s.pdf> [Fecha de consulta: 17 de enero del 2018].

- RLRSEM, Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos para el Estado de Morelos. (2007). Periódico Oficial “Tierra y Libertad” número 4561- [En línea] Disponible en: http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/reglamentos_estatales/pdf/RLRESIDUOEM.pdf [Fecha de consulta: 22 de junio del 2017]
- Rodríguez G. C. (2014). *La obsolescencia programada y percibida en el ámbito de las TIC*. Universidad de Valladolid. España. Pp. 41 [En línea] Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6182/1/TFG-N.151.pdf> [Fecha de consulta: 2 de junio del 2017].
- Rojas B. L., Gavilán G. A., Alcántara C. V. y Cano R. F. (2013). *Los Residuos Electrónicos en México y el Mundo*. Edit. SEMARNAT e INECC. México, D. F. pp. 149. [En línea] Disponible en: <http://docplayer.es/11047843-Los-residuos-electronicos-en-mexico-y-el-mundo-leonora-rojas-bracho-arturo-gavilan-garcia-victor-alcantara-concepcion-y-frinee-cano-robles.html> [Fecha de consulta: 17 de enero del 2013].
- Román M. G. J., (2007). *Diagnóstico sobre la generación de Residuos Electrónicos en México*. INE-IPN-CIEMAD. México, D.F. [En línea] Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/res_electronicos_borrador_final.pdf [Fecha de Consulta: 3 de mayo del 2017].
- Román M. G. J., (2010). *Diagnóstico regional de residuos electrónicos en dos ciudades de la frontera norte de México: Tijuana y Ciudad Juárez*. INE-CIEMAD, México, D.F. [En línea] Disponible en: http://www.inecc.gob.mx/descargas/sqre/2009_diag_regional_norte_res_electronicos.pdf [Fecha de consulta 30 de abril del 2017].
- Sanabria A. J. P. y Díaz J. C. A. (2017). *Propuesta de gestión de residuos sólidos pertenecientes a la línea blanca Mediante el Análisis del Ciclo de Vida y su caracterización*. Tesis de ingeniería ambiental y sanitaria. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia. [En línea] Disponible en:

- http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20510/41111125_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Fecha de consulta: 17 de enero del 2018].
- SCCA, Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (1993). *Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte*. [En línea] Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/2815/SE_ACAAN.pdf [Fecha de consulta: 17 de enero del 2018].
- Scrap y Rezagos (2018). *Legislación RAEE en el mundo*. [En línea] Disponible en: <http://www.rezagos.com/pages/legislacion> [Fecha de consulta: 8 de mayo del 2018].
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010a). *Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generados por electrodomésticos al final de su vida útil*. Realizado por: Ingeniería y Desarrollo Sustentable S.A. de C.V. (IDS). En respuesta a OFICIO/DGCENICA/160/20 [En línea] Disponible en: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD000932.pdf> [Fecha de consulta: 15 de enero del 2018].
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2010b). Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México 2010. [En línea] Disponible en: http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/transparencia/transparenciafocalizada/residuos/Documents/directorio_residuos.pdf [Fecha de consulta: 23 de mayo del 2017].
- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). *Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011*. Diario Oficial de la Federación (DOF), viernes 1 de febrero del 2013. [En línea] Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013 [Fecha de consulta: 29 de abril del 2017].

- SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017). *Planes de Manejo (RME)*. [En línea] Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/planes-de-manejo-rme> [Fecha de consulta: 13 de enero del 2018].
- SDS, Secretaría de Desarrollo Sustentable. (2017). *Plan de Manejo de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial*. Gobierno del estado de Morelos. [En línea] Disponible en: http://tramites.morelos.gob.mx/tramites/files/mediopresentacion/11_FORMATO%20DE%20PLAN%20DE%20MANEJO%20DE%20RESIDUOS%20SOLIDOS%20URBANOS%20Y%20DE%20MANEJO%20ESPECIAL.pdf [Fecha de Consulta: 23 de junio del 2017].
- Silva U. (2009). *Gestión de residuos electrónicos en América Latina*. Ediciones SUR. Santiago de Chile. 297 pp. [En línea] Disponible en: <file:///C:/Users/maguis/Downloads/SUR-gestian-de-residuos-electronicos-en-amarica-lat.pdf> [Fecha de consulta: 20 de mayo del 2017].
- Song Q. and Li J. (2015). *A review on human health consequences of metals exposure to e-waste in China*. Environmental Pollution. Vol. 196. Pp. 450-461. [En línea] Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S0269749114004564/1-s2.0-S0269749114004564-main.pdf?_tid=1acd968e-061c-11e8-96dc-00000aab0f27&acdnat=1517358021_9519bbb9b0afc451fd98059a29041362 [Fecha de consulta: 18 de septiembre del 2017].
- Step, Solving the E-Waste Problem (2014) *Recommendations for Standards Development for Collection, Storage, Transport and Treatment of E-waste*. [En línea] Disponible en: http://www.step-initiative.org/files/step/_documents/StEP_WP_Standard_20140602.pdf [Fecha de consulta: 12 de enero del 2018].
- Sthiannopkao S. and Wong M. H. (2013). *Handling e-waste in developed and developing countries: Initiatives, practices, and consequences*. Science of the Total Environment. 463–464. 1147–1153 pp. [En línea] Disponible en: <https://ac.els->

cdn.com/S0048969712009217/1-s2.0-S0048969712009217-main.pdf?_tid=1ed1bebe-05e9-11e8-916a-00000aab0f6b&acdnat=1517336124_a556ec8aa7b3cf8d86815d71bfa8c03a

[Fecha de consulta: 27 de diciembre del 2017].

Statista (2018). *Global e-waste generation forecast 2010-2018*. The Statistics Portal Energy & Environmental. Services Waste Management. Germany [En línea] Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/499891/projection-ewaste-generation-worldwide/> [Fecha de consulta: 28 de enero del 2018].

U. E., Unión Europea. (2012). *DIRECTIVA 2012/19/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)*. Diario Oficial de la Unión Europea. [En línea] Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:ES:PDF> [Fecha de consulta: 9 de mayo del 2017].

UE, Unión Europea (2018). *Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE)*. [En línea] Disponible en: <http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/> [Fecha de consulta: 15 de enero del 2018].

UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones, Convenio de Basilea, CRBAS-Centro Regional Basilea para América del Sur, UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura , OMS, Organización Mundial de la Salud, ONUDI, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, OMPI, Organización Mundial de la Propiedad Intelectual y CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe . (2015) *Gestión sostenible de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en América Latina*. [En línea] Disponible en: http://www.unclearn.org/sites/default/files/inventory/raee_gestion_integral_y_elimnacion-395429-normal-s.pdf [Fecha de consulta: 12 de mayo del 2017].

- UNU, Universidad de las Naciones Unidas (2014). *Global E-Waste Monitor 2014. Quantities, flows and resources*. [En línea] Disponible en: <http://i.unu.edu/media/unu.edu/news/52624/UNU-1stGlobal-E-Waste-Monitor-2014-small.pdf> [Fecha de consulta: 22 de junio del 2017].
- Valls M. y Mendella L. S. (2012). *Tratamiento de los aparatos electrónicos obsoletos que han sido utilizados en la generación de conocimiento. Universidad Mesoamericana de San Agustín*. [En línea] Disponible en: <http://www.bioetica.org/umsa/seminario/I-12-Producto.pdf> [Fecha de consulta: 4 de mayo del 2017].
- Van Eygen, E., De Meester, S., Tran, H.P., Dewulf, J. (2016). *Resource savings by urbanmining: the case of desktop and laptop computers in Belgium*. *Resour. Conserv.Recycl.* Vol. 107. Pp. 53–64. [En línea] Disponible en: https://ac.els-cdn.com/S0921344915301269/1-s2.0-S0921344915301269-main.pdf?_tid=e2ca01c3-1727-490a-86bf-2e729cfc173e&acdnat=1524555442_131c2b4d8544eb795e67c49bf028b966 [Fecha de consulta: 24 de enero del 2018].
- Veit H.M., Juchneski N.C. de F., Scherer J. (2014). *Use of gravity separation in metals concentration from printed circuit board scraps*. *Rem Revista Escola de Minas*. Vol.67. No. 1. Pp. 73–79. [En línea] Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/rem/v67n1/v67n1a11.pdf> [Fecha de consulta: 2 de febrero del 2018].
- Wang F., Huisman J., Stevels A., Baldé. C. P.r (2013). *Enhancing e-waste estimates: improving data quality by multivariate Input-Output Analysis*. *Waste Management* Vol. 33. Pp. 2397–2407 [En línea] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23899476> [Fecha de consulta: 7 de enero del 2018]. Wang Y., Luo C., Li J., Yin H., Li X. and Zhang G. (2011). *Characterization of PBDEs in soils and vegetations near an e-waste recycling site in South China*. *Environmental Pollution* 159. Pp. 2443-2448 [En línea] Disponible

- en: <https://sci-hub.tw/10.1016/j.envpol.2011.06.030> [Fecha de consulta: 15 de enero del 2018].
- Wittsiepe J., Fobil J. N., Till H., Burchard G-D, Wilhelma M., Feldt T. (2015). *Levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans (PCDD/Fs) and biphenyls (PCBs) in blood of informal e-waste recycling workers from Agbogbloshie, Ghana, and controls*. *Environment International*. Vol. 79. Pp. 65-73 [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015000598> [Fecha de consulta: 16 de enero del 2018].
- Wu Q., Leung J. Y.S., Geng X., Chene S., Huang X., Li H., Huang Z., Zhu L., Chen J. and Lu Y. (2015). *Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals*. *Science of the Total Environment*. Vol.506-507. Pp. 217-225. [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969714015836?via%3Dihub> [Fecha de consulta: 12 de enero del 2018].
- Yang H., Huo X., Yekeen T. A., Zheng Q., Zheng M. and Xu X. (2013). *Effects of lead and cadmium exposure from electronic waste on child physical growth*. *Environ Sci Pollut Res*. Vol. 20. Pp. 4441-4447. [En línea] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-012-1366-2> [Fecha de consulta: 19 de enero del 2018].
- Yoshida A., Terazono A., Ballesteros F.C., Nguyen D.-Q. Sukandar, S. Kojima, M., Sakata S. (2016). *E-waste recycling processes in Indonesia, the Philippines, and Vietnam: a case study of cathode ray tube TVs and monitors*. *Resour. Conserv. Recycl.* No. 106. 48-58 pp. [En línea] Disponible en: <file:///C:/Users/maguis/Downloads/yoshidaarticle.pdf> [Fecha de consulta 15 de enero del 2018].
- Zeng X., Xu X., Boezen H. M., Huo X. (2016). *Children with health impairments by heavy metals in an e-waste recycling area*. *Chemosphere* Vol. 148. Pp. 408-415. [En línea] Disponible en: <https://ac.els-cdn.com/S0045653515302733/1-s2.0->

[S0045653515302733-main.pdf?tid=58c8ab82-061b-11e8-b243-00000aab0f01&acdnat=1517357696_483e36f1c59984c9554ac9067c564f11](https://www.researchgate.net/profile/Xianlai_Zeng/publication/308881607_Innovating_e-waste_management_From_macroscopic_to_microscopic_scales/links/59d821c9a6fdcc2aad0655a6/Innovating-e-waste-management-From-macroscopic-to-microscopic-scales.pdf?tid=58c8ab82-061b-11e8-b243-00000aab0f01&acdnat=1517357696_483e36f1c59984c9554ac9067c564f11)

[Fecha de consulta: 16 de septiembre del 2017].

Zeng X., Yang C., Chiang J. F. and Li J. (2017). *Review. Innovating e-waste management: From macroscopic to microscopic scales*. Science of the Total Environment. Vol. 575. Pp. 1-5 [En línea] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Xianlai_Zeng/publication/308881607_Innovating_e-waste_management_From_macroscopic_to_microscopic_scales/links/59d821c9a6fdcc2aad0655a6/Innovating-e-waste-management-From-macroscopic-to-microscopic-scales.pdf [Fecha de consulta: 12 de enero del 2017].

Zheng J., Chen K-H, Yan X., Chen S-J, Hu G-C, Peng X-W, Yuan J-G, Mai B-Xian, Yang Z-Y. (2013). *Heavy metals in food, house dust, and water from an e-waste recycling area in South China and the potential risk to human health*. [En línea] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651313002595> [Fecha de consulta: 2 de enero del 2018].

ANEXO

Peligro tóxico por un millón de ton de basura electrónica.

(Fragmento: Entrevista a Gerardo Bernal, reciclador informal de residuos electrónicos. Por Daniel Blancas Madrigal)

“Los médicos me han hablado del riesgo de cáncer u otra enfermedad, pero es mi forma de vida, no hay de otra”, dice don Gerardo Bernal, detrás de la humareda por el cable chamuscado y de los vapores de metales en ácido asoma ya una amenaza en el país, la provocada por el nulo manejo de residuos electrónicos.

Se ha dedicado de siempre a la basura — fue durante décadas pepenador en el Bordo Poniente—, pero desde hace siete años se especializó en el reciclaje informal de chatarra electrónica.

En la entrada de su casa se agolpan unas 500 fuentes CPU, listas para desarmar. “Me enoja que me digan mugroso: gracias a la basura he calzado zapatos Ferragamo, he tenido cinturones Gucci o Louis Vuitton, camisas Ermenegildo Zegna, hebillas Hermes y lentes Miu Miu. Y sólo acabé la primaria”.

Otra cosa le enfada: “El negocio ya se lo están pasando a particulares, con recicladores organizados por universidades y otras instancias públicas. ¿Cuánto ha recibido el gobierno y a quién se lo vende? Todos se llevan su buena tajada o comisión. Hay recicladores supuestamente regulados que vienen a vendernos a los informales todas las donaciones. Que la gente ya no se deje engañar con los kilitos de azúcar o zanahorias por sus aparatos”.

Sus clientes, cuenta, son los recolectores de camiones oficiales de basura, carretas o bocineros, conocidos por la cantaleta del “fierro viejo que vendan”.

“Lo que hago es sacar todo tipo de metales por kilo. Hay un gran poder económico alrededor de la chatarra, somos apenas una migaja de la gran maquinaria. Hay gente que se ha hecho rica en esto. Sin trabajar mucho y manejando mis tiempos, me llevo como mínimo 8 mil pesos libres a la semana”.

– ¿Y el riesgo?

– Mi hijo apenas se rompió la córnea porque le brincó un plástico... Sabemos también que las sustancias son tóxicas y a la larga cancerígenas, que los monitores o televisiones traen dentro un gas dañino y que el vidrio está contaminado, ¿y qué le hacemos? Ya Dios dirá... No hay una norma e igual estos objetos contaminan llevándolos a enterrar a los rellenos.

– ¿Qué medidas de precaución suelen tomar?

– Ninguna, acaso lentes cuando rompemos el vidrio. Los guantes y tapabocas son incómodos.

– ¿Qué hacen con lo rescatado?

– Lo vendemos a depósitos más grandes.

– ¿Y lo que sobra?

– Es puro vidrio contaminado, lo echamos al camión. Parará seguro en algún relleno o basurero a cielo abierto, porque lo de la separación es una farsa.

“Trabajé muchos años en un camión de basura – dice el hijo de don Gerardo, ya recuperado del ojo y ahora concentrado en la talacha diaria, entre martillos y desarmadores—. Al final, tanto los camiones de basura inorgánica como los de orgánica vacían parejo. Al supervisor de la transferencia le das unos 20 pesos y listo. La separación vale madre”.

(La crónica, 2017)



Centro de Investigación en Biotecnología

Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Cuernavaca, Morelos, 30 de mayo de 2018

COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E

Como miembro del Jurado de la alumna **C. BEATRIZ MAGALI SOLIS MIRANDA** con número de matrícula **4420140909**, aspirante al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos y después de haber evaluado la tesina titulada "**ESTADO DEL ARTE DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)**", considero que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dra. Ma. Laura Ortiz Hernández



Centro de Investigación en Biotecnología

Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Cuernavaca, Morelos, 30 de mayo de 2018

COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E

Como miembro del Jurado de la alumna **C. BEATRIZ MAGALI SOLIS MIRANDA** con número de matrícula **4420140909**, aspirante al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos y después de haber evaluado la tesina titulada "**ESTADO DEL ARTE DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)**", considero que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dra. Patricia Mussali Galante



Centro de Investigación en Biotecnología

Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Cuernavaca, Morelos, 30 de mayo de 2018

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

Como miembro del Jurado de la alumna **C. BEATRIZ MAGALI SOLIS MIRANDA** con número de matrícula **4420140909**, aspirante al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos y después de haber evaluado la tesina titulada "**ESTADO DEL ARTE DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)**", considero que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia



M. MRN. Julio Cesar Lara Manrique



Centro de Investigación en Biotecnología

Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Cuernavaca, Morelos, 30 de mayo de 2018

COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E

Como miembro del Jurado de la alumna **C. BEATRIZ MAGALI SOLIS MIRANDA** con número de matrícula **4420140909**, aspirante al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos y después de haber evaluado la tesina titulada "**ESTADO DEL ARTE DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)**", considero que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

M.I. Ariadna Zenil Rodríguez



Centro de Investigación en Biotecnología

Especialidad en Gestión Integral de Residuos

Cuernavaca, Morelos, 30 de mayo de 2018

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

Como miembro del Jurado de la alumna **C. BEATRIZ MAGALI SOLIS MIRANDA** con número de matrícula **4420140909**, aspirante al grado de Especialista en Gestión Integral de Residuos y después de haber evaluado la tesina titulada "**ESTADO DEL ARTE DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE)**", considero que el documento reúne los requisitos académicos para su defensa oral en el examen de grado. Por lo tanto, emito mi **VOTO APROBATORIO**.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dr. Alexis Joavany Rodríguez Solís