UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

PROPUESTA PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELECTRÓNICOS PRINCIPALMENTE TELÉFONOS CELULARES

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

CARLOS DANIEL CORREA ROA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX 2017

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE:	Profesor: Luna Pabello Víctor Manuel
VOCAL:	Profesor: Cruz Gómez Modesto Javier
SECRETARIO:	Profesor: Fernández Villagómez Georgina
1er. SUPLENTE:	Profesor: Andraca Ayala Gema Luz
2° SUPLENTE:	Profesor: Mendoza Campos Alejandra

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

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

ASESOR DE TEMA:

Dra. Georgina Fernández Villagómez

SUSTENTANTE:

Carlos Daniel Correa Roa

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 1

1.1 JUSTIFICACIÓN 1
1.2 OBJETIVOS 2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL 2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES 3

CAPÍTULO 2. TELEFONOS CELULARES 4

2.1 HISTORIA DE LOS TELÉFONOS CELULARES 4
2.2 ANTECEDENTES DE LA TELEFONÍA CELULAR EN MÉXICO 6
2.3 DEFINICIÓN DE TELÉFONO CELULAR 7
2.4 TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO (TCI) 7
2.5 COMPOSICIÓN DE LAS TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO DE LOS TELÉFONOS CELULARES 9
2.6 TIPOS DE TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO 9
2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS TELÉFONOS CELULARES 10
2.7.1 TELÉFONOS CONVENCIONALES 10
2.7.2 SMARTPHONES O TELÉFONOS INTELIGENTES 10
2.8 COMPONENTES DE UN CELULAR 10
2.9 SISTEMA DE TELEFONÍA CELULAR 13
2.9.1 1-G: MÓVILES DE PRIMERA GENERACIÓN 13
2.9.2 2-G: SEGUNDA GENERACIÓN 14
2.9.3 3-G: TERCERA GENERACIÓN 14
2.9.4 4-G: CUARTA GENERACIÓN 15
2.10 CÓMO FUNCIONA UN TELÉFONO CELULAR 15

CAPÍTULO 3. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL Y NACIONAL SOBRE EL MANEJO DE LOS RESIDUOS ELECTRÓNICOS 19

3.1 LEGISLACIÓN INTERNACIONAL 19
3.2 CONVENIO DE ESTOCOLMO 19
3.3 CONVENIO DE BASILEA 20
3.4 LA DIRECTIVA EUROPEA SOBRE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS 21
3.5 GESTIÓN DEL RAEE 23
3.5.1 CHINA 23
3.5.2 INDIA 23
3.5.3 NORUEGA 23
3.5.4 SUDÁFRICA 24
3.5.5 SUECIA 24
3.5.6 SUIZA 24

3.6 GESTIÓN DEL RAEE EN ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA 25
3.6.1 ARGENTINA 25
3.6.2 BRASIL..... 25
3.6.3 CANADÁ 26
3.6.4 COLOMBIA 26
3.6.5 COSTA RICA..... 27
3.6.6 ECUADOR 27
3.6.7 URUGUAY 27
3.7 LEGISLACIÓN NACIONAL..... 29
3.7.1 MÉXICO 29
3.7.2 LA LEY GENERAL PARA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS 31
3.7.3 LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE..... 32
3.7.4 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-161-SEMARNAT-2011 33
3.7.5 PROGRAMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS 34

CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS METALES PRECIOSOS MEDIANTE LA RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE LOS TELÉFONOS CELULARES 36

4.1 LA MINERÍA ELECTRÓNICA 36
4.2 PRETRATAMIENTO 37
4.3 TÉCNICAS PARA LA RECUPERACIÓN DE METALES PRECIOSOS..... 39
4.4 MATERIALES RECICLABLES Y REUTILIZABLES DE UN TELÉFONO CELULAR 39
4.4.1 ORO 39
4.4.2 COBRE..... 42
4.4.3 PLATA..... 42
4.5 PROCESO PIROMETALÚRGICO E HIDROMETALÚRGICO 43
4.5.1 PROCESO PIROMETALÚRGICO 43
4.5.2 PROCESO HIDROMETALÚRGICO 46

CAPÍTULO 5. DAÑOS A LA SALUD Y AL AMBIENTE DE LOS COMPONENTES QUE SE ENCUENTRAN EN LAS TARJETAS DE LOS TELÉFONOS CELULARES 49

5.1 CADMIO 50
5.2 COBALTO 52
5.3 COBRE 55
5.4 COMPUESTOS BFR (RETARDANTES DE LLAMA BROMADOS) 56
5.5 CROMO 60
5.6 CROMO HEXAVALENTE 62
5.7 MERCURIO..... 63
5.8 NÍQUEL..... 66
5.9 PLOMO 67
5.10 POLICLORURO DE VINILO (PVC)..... 68

CAPÍTULO 6. PROPUESTA PARA EL MANEJO Y DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELECTRÓNICOS PRINCIPALMENTE TELÉFONOS CELULARES 70

6.1 SITUACIÓN DE LOS TELÉFONOS CELULARES EN MÉXICO 70
6.2 PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL TELÉFONOS CELULARES (PMR) 71
6.3 SECTOR INFORMAL DE LOS RAEE EN MÉXICO 72
6.4 TRÁFICO ILÍCITO TRANSFRONTERIZO 72
6.5 DISPOSICIÓN EN RELLENO SANITARIO 72
6.6 PROPUESTA PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DE TELÉFONOS CELULARES EN MÉXICO 73
6.6.1 MECANISMOS DE DIFUSIÓN Y COMUNICACIÓN A LA SOCIEDAD EN GENERAL 73
6.6.2 RECOLECCIÓN (CENTROS DE ACOPIO) 74
6.6.3 TRASPORTE Y TRASLADO 75
6.6.4 INCENTIVOS EN LOS CENTROS DE ACOPIO 76
6.7 BENEFICIOS 77

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES 78

7.1 RECOMENDACIONES 79

REFERENCIAS 80

Índice de Acrónimos

AEE:	Aparatos Eléctricos y Electrónicos.
AMPS:	Sistema de Teléfono Móvil Avanzado (Advanced Mobile Phone System).
ANAAE:	Asociación Nacional de Autoridades Ambientales Estatales.
Anatel:	Asociación Nacional de Telecomunicaciones.
ARF:	Honorarios de Reciclaje Avanzados (Advanced Recycling Fees).
AT&T:	Teléfono americano y Telégrafo (American Telephone and Telegraph).
BFR:	Retardantes de Llama Bromados.
CCM:	Centros de Conmutación de Móviles.
CDMA:	División de Código Múltiple Acceso (Code Division Multiple Access).
CEPT:	Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations).
COFETEL:	Comisión Federal de Telecomunicaciones.
COP:	Contaminantes Orgánicos Persistentes.
CRT:	Tubos de Rayos Catódicos (Cathode Ray Tube).
DHHS:	Departamento de Salud y Servicios Humanos.
DynaTAC:	Sistema de Comunicaciones de Acceso Dinámico Total (Dynamic Total Access Communications System).
EDC:	Dicloruro de Etileno.
ERP:	Responsabilidad Extendida del Productor (Extended Producer Responsibility).
FCC:	Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission).
FDA:	Administración de Drogas y Alimentos.
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System).
GSM:	Sistema Global para Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications).
HBCDD:	Hexabromociclododecanos.
IARC:	Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (International Agency For Research On Cancer).
iDEN:	Integrated Digital Enhanced Network (Red Digital Integrada mejorada).
IDS:	Identificación del Sistema.
INECC:	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

LCDs:	Pantalla de Cristal Líquido (Liquid Crystal Display).
LGEEPA:	Ley General para el Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
LGPGIR:	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
MTSO:	Oficina de Conmutación de Telefonía Móvil (Mobile Telephone Switching Office).
NOM:	Norma Oficial Mexicana.
NTT:	Telégrafo de Japón y Corporación Telefónica (Nippon Telegraph & Telephone Corp).
PBB:	Bifeniles Polibromados.
PBDE:	Éteres Difenílicos Polibromados.
PCB:	Bifenilos Policlorados.
PCB:	Bifenilos Policlorados.
PDA:	Asistente Digital Personal (Personal Digital Assistant).
PNPGIR:	Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
PNUMA:	Proyecto de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
PRC:	Principio de Responsabilidad Compartida.
PROFEPA:	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
PVC:	Policloruro de Vinilo.
RAEE:	Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.
RBS:	Estaciones de Radio Base.
RE:	Residuos Electrónicos.
RME:	Residuos de Manejo Especial.
SEMARNAT:	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
Sms:	Servicio de Mensajes Cortos (Short Message Service).
TCI:	Tarjeta de Circuito Impreso.
UMTS:	Servicio Universal Móvil Telefónico (Universal Mobile Telephone Service).
VCM:	Cloruro de Vinilo Monómero.
WAP:	Teléfonos Permitidos por Web (Web-enabled phones).
WARC:	Conferencia de Radio Mundial Administrativa (World Administrative Radio Conference).

RESUMEN

En el primer capítulo se estableció la justificación del trabajo así como los objetivos, alcances y limitaciones del mismo dentro del cual se menciona que la producción y uso de los teléfonos celulares va en aumento debido a la rápida innovación de estos equipos, además de que la vida útil de los aparatos es cada vez menor, contribuyendo con la generación de la denominada basura electrónica al desecharlos de manera inadecuada.

Continuando con el capítulo segundo en el cual se habla de los antecedentes de los teléfonos celulares al igual que su definición, la manera en cómo operan estos dispositivos, su clasificación y los componentes que forman parte del mismo como son los metales valiosos como Aluminio, Cobre, Oro, Paladio y Plata por mencionar algunos. Además por componentes tóxicos como, BFR (Retardantes de llama bromados), Cadmio, Cobalto, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y PVC, los cuales son dañinos para la salud y al ambiente.

Posteriormente, en el tercer capítulo se aborda la legislación internacional y nacional sobre el manejo de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, como son los convenios de Estocolmo y Basilea. Respecto a México se encontró que no cuenta con una legislación para el tratamiento y disposición de estos equipos aunque dispone con leyes como la Ley General para el Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) que tienen como objetivo garantizar el derecho a tener un ambiente adecuado, y normas como la NOM-161-SEMARNAT-2011, que consideran a estos aparatos como residuos de manejo especial. Las cuales no cubren el problema de hoy en día por lo que se debe instaurar una legislación respecto al tratamiento de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Para continuar, en el capítulo cuarto se establecieron los procedimientos para la obtención de los metales preciosos, implementado métodos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos para la recuperación de dichos metales.

En el quinto capítulo se mencionan los daños a la salud y al ambiente debido a los componentes de los teléfonos celulares ya mencionados anteriormente.

En vista del deterioro ambiental y de los problemas que conlleva la inadecuada disposición de los teléfonos celulares, en el capítulo sexto se aconseja a la minería electrónica como una alternativa viable así como la implementación de la propuesta que se elaboró para el tratamiento, manejo y disposición de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos principalmente para los teléfonos celulares.

Finalmente se presentan las conclusiones y algunas recomendaciones para el tratamiento y la disposición adecuada de los teléfonos celulares.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la telefonía celular alcanzó en los países desarrollados su máximo nivel de saturación con un 100% de penetración en el mercado. A nivel mundial se calcula que existen 5000 millones de abonados al servicio de telefonía móvil con un crecimiento de 1000 millones de celulares por año. La tendencia en aumento continúa en los países en vías de desarrollo con un crecimiento del 20% anual y sin señales de disminuir (Greenpeace Argentina, 2011).

Un factor determinante con relación al crecimiento de los aparatos en desuso es la vida útil. Se ha ido observando una disminución de la vida útil de los productos debido a los avances tecnológicos y las exigencias de los consumidores. Según la industria de la telefonía celular, la vida útil de un teléfono móvil ya está por debajo de los dos años (Ott, 2008).

Los celulares contienen metales pesados y sustancias químicas tóxicas persistentes que contaminan el medio ambiente y afectan a la salud, en especial a los recuperadores informales que los manipulan sin la protección adecuada; además, muchos de sus componentes poseen materiales que son muy valiosos y podrían recuperarse en vez de disponerse en rellenos sanitarios o en basureros a cielo abierto (Greenpeace Argentina, 2011).

Una tonelada de mineral de hierro de una mina de oro produce en promedio solo 5 gramos de oro, mientras que de una tonelada de teléfonos celulares descartados se pueden lograr 150 gramos o más (Emol, 2008).

En México aún no hay control sobre el destino final de los desechos electrónicos, como teléfonos celulares, computadoras o televisiones ya que 40 por ciento de estos aparatos quedan almacenado en las casas, 50 por ciento llegan a los basureros sin control alguno y sólo 10 por ciento se reciclan (Enciso, 2015).

Al no existir en México una cultura y una legislación apropiadas en la disposición y reciclaje de desechos electrónicos, a los que aquí se les considera basura “no peligrosa, sino de manejo especial”, se ha generado una situación ambigua mediante la cual, por un lado hay intentos fallidos o muy tibios por legislar al respecto (Ferrater, 2010).

El grupo de interés integrado por los acopiadores, igualmente consolidado, se relaciona con el reciclado de los residuos electrónicos y funciona con base en la compra-venta. Los acopiadores controlan los canales de recepción, concentración y comercialización de distintos residuos, su mercado está constituido principalmente por empresas y organizaciones que periódicamente desechan equipos de cómputo y otros equipos electrónicos. (INNECC-SEMARNAT, 2010)

Es indispensable, por tanto, establecer un sistema de gestión de este tipo de residuos, que promueva mejoras ambientales en el ciclo de vida completo de los productos, extendiendo la responsabilidad del fabricante desde la producción hasta el tratamiento una vez finalizada la vida útil del producto (recuperación, reciclaje y disposición final) (Basterretche, 2007) (Greenpeace Argentina, 2011).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una propuesta para el manejo de los residuos de aparatos electrónicos principalmente teléfonos celulares considerando sus componentes reciclables.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Llevar a cabo una revisión bibliográfica sobre la situación de los aparatos electrónicos haciendo énfasis en los teléfonos celulares.

Revisar la legislación nacional e internacional sobre el manejo de los residuos electrónicos considerando sólo los teléfonos celulares.

Recopilar información sobre los procedimientos para la obtención de los metales preciosos mediante la recuperación y reciclaje de los teléfonos celulares.

Investigar sobre los daños a la salud y al ambiente de los componentes que se encuentran en las tarjetas de los teléfonos celulares.

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Se considerará la información de los últimos quince años.

Se considerará todo tipo de teléfono celular excepto tabphone y celulares de última generación.

CAPÍTULO 2. TELEFONOS CELULARES

Al inicio de la telefonía celular se hizo más apremiante la necesidad de comunicarse a largas distancias que fuera más exacto y más preciso, al surgir la energía eléctrica hizo posible la comunicación entre zonas distantes. (Robledo, 2007).

2.1 HISTORIA DE LOS TELÉFONOS CELULARES

Todo comenzó en la Segunda Guerra Mundial donde se vio la necesidad de comunicarse a distancia, por lo que Motorola creó un equipo militar llamado Handie Talkie H12-16 para comunicaciones vía ondas de radio. Los primeros equipos eran enormes y pesados por lo que su uso casi estaba limitado a bordo de automóviles. (Ranchal, 2014).

La demanda para el servicio de telefonía móvil creció rápidamente y permaneció por detrás de la capacidad disponible en muchas de las ciudades de gran tamaño. Es increíble que a pesar de la demanda hayan pasado más de 30 años para cubrir las necesidades de telefonía móvil. La capacidad del sistema era menor que el tráfico que tenía que soportar, por ello, la calidad del servicio era terrible, las probabilidades de bloqueo eran del 65% o más altas. La inutilidad del teléfono móvil disminuyó la frecuencia de su uso ya que los usuarios encontraron que era mejor prevenir no hablando en horas pico. Los usuarios y las compañías telefónicas se dieron cuenta que un conjunto de canales no sería suficiente para desarrollar un servicio telefónico móvil útil. Se necesitarían grandes bloques del espectro para satisfacer la demanda en áreas urbanas. (Robledo, 2007).

La telefonía celular en el mundo da sus primeros pasos cuando el Dr. Martin Cooper, un ejecutivo norteamericano que trabajaba para Motorola Company, atestiguado por la revista Popular Science realizó la primera llamada celular el 3 de abril de 1973 en las calles de Nueva York. El Dr. Cooper fue el primero en desarrollar y poner a prueba el teléfono portátil, DynaTAC (Dynamic Total Access Communications System) de la compañía Motorola. En esta misma década la compañía Motorola empezó a desarrollar dispositivos portátiles de comunicación para el consumo masivo (Lara, 2006).

Pero no fue hasta 1979 en que aparece el primer sistema comercial en Tokio Japón por la compañía NTT (Nippon Telegraph & Telephone Corp). Esta desarrolló un sistema de telefonía móvil que permitía un total de 600 canales de 25 KHz. En 1980, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) reconsideró la estrategia de mercado único y estudió la posibilidad de dividir el espectro de 40 MHz en dos portadoras por área de servicio. La idea era eliminar la posibilidad de un monopolio y proporcionar las ventajas que acompañan a un ambiente de competencia. Entonces, estos 40 MHz se repartirían entre dos concesionarios, tocándole a cada uno un espectro de 20 MHz identificados como bloque A y bloque B o mejor conocidos como banda A y banda B. La banda A se definió para las compañías sin líneas fijas y la banda B para las compañías con líneas fijas. De esta manera la Bell System operaría en la banda B y la banda A sería operada por Ameritech a partir de octubre de 1983. (Martínez, 2001).

En 1982, cuando aparecieron los primeros servicios celulares comerciales, la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT) tomó la iniciativa de formar un grupo de estudio llamado Groupe Special Mobile (GSM), para estudiar y desarrollar un sistema telefónico móvil terrestre y público común para Europa en la banda de 900 MHz, banda que había sido reservada por la Conferencia de Radio Mundial Administrativa (World Administrative Radio Conference (WARC)) en 1978. (Martínez, 2001).

El DynaTAC 8000X desarrollado por Motorola junto con AT&T se convirtió en el primer teléfono celular portátil aprobado por la FCC en 1983, el cual se puso en marcha en Baltimore y Washington D.C. por la compañía Cellular One el 16 de diciembre de 1983. A partir de este momento, en Europa, Latinoamérica y otros rincones del mundo, empiezan a operar diversas compañías de telefonía celular a ofrecer el servicio en sus respectivas regiones (Martínez, 2001).

2.2 ANTECEDENTES DE LA TELEFONÍA CELULAR EN MÉXICO

En México se inició el servicio cuando las tecnologías ya habían sido ampliamente probadas en otros países y se tenía un buen estimado de la demanda. En 1984 Telcel obtiene la concesión para explotar la red de servicio radiotelefónico móvil en el área metropolitana de la Ciudad de México, bajo la denominación de Radio móvil Dipsa S.A. de C.V. (Gsmonline, 2016).

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) convocó la introducción de la telefonía celular en nuestro país en las nueve diferentes regiones en que fue dividido. Cada una de estas regiones divididas en 2 bandas de frecuencia, A y B. Una para la comunicación del equipo móvil hacia las bases y otra para la comunicación de las bases hacia las unidades móviles. (Martínez, 2005).

La asignación se muestra en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1: Asignación de frecuencias de telefonía celular en México.

Banda	Comunicación MS-BS	Comunicación BS-MS
A	824 − 835, 845 − 846.5 MHz	**869 − 88O, 890 − 891.5 MHz**
B	**835 − 845, 846.5 – 849 MHz**	**88O − 89O, 891.5 – 894 MHz**

Para el año 1989 la compañía Iusacell empieza ofrecer el servicio en el Distrito Federal y Telcel en Tijuana B.C. A partir de 1990 Telcel y Iusacell expanden sus servicios en el Distrito Federal y su zona metropolitana y paulatinamente a escala nacional. En México las regiones celulares se encuentran concesionadas por la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) en las bandas A y B en 9 regiones para un solo concesionario, en este caso, Radio móvil Dipsa (Telcel). (Martínez, 2005).

Posteriormente la COFETEL en 1997 lanza una convocatoria para licitar en México una nueva banda de frecuencias (1850-1970 MHz). Posterior a esta licitación aparecen nuevos operadores en estas bandas como Unefon y Pegaso PCS. En agosto de 1998 empieza operar en nuestro país Nextel Internacional (Nextel), quien se alía con Motorola para establecer una red de radio digital con la tecnología conocida como iDEN (integrated Digital Enhanced Network).En 2002 la empresa española Telefónica Movistar adquiere gran parte de las

acciones de la compañía Pegaso PCS. A este paso, el sector de la telefonía celular en México se componía únicamente de 5 compañías: Telcel, Iusacell, Telefónica Movistar, Unefon y Nextel. Telcel con casi con el 76 % del mercado nacional, Movistar con 12 %, Iusacell con 5 %, Unefon con 4 % y Nextel con menos del 3 %. (Medina et al., 2011).

2.3 DEFINICIÓN DE TELÉFONO CELULAR

Definimos teléfono móvil o celular como un dispositivo electrónico de comunicación, normalmente de diseño reducido, basado en la tecnología de ondas de radio (es decir, transmite por radiofrecuencia), tiene la misma funcionalidad que cualquier teléfono de línea fija. Es un dispositivo portable e inalámbrico, es decir, la realización de llamadas no depende de ninguna terminal fija y que no requiere de ningún tipo de cableado. Incorpora un conjunto de funciones adicionales, tales como mensajería instantánea (sms), agenda, juegos, etc. (Basterretche, 2007).

Se denomina celular en la mayoría de países latinoamericanos debido a que el servicio funciona mediante una red de celdas, donde cada antena es una célula. (Aguilar & Brizo, 2011).

A partir del siglo XXI, los teléfonos celulares han adquirido funcionalidades que van mucho más allá de limitarse a solo llamar o enviar mensajes de texto, se han unificado mas no sustituido con distintos dispositivos tales como PDA, cámara, agenda electrónica, reloj despertador, calculadora, GPS o reproductor de multimedia entre otros. A este tipo de evolución del teléfono celular se le conoce como Smartphone. (Aguilar & Brizo, 2011).

2.4 TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO (TCI)

La tarjeta de circuitos impresos es una base sobre la cual se montan componentes microelectrónicos tales como capacitores y chips semiconductores. Ésta proporciona las interconexiones entre los componentes (Goodship, 2012).

En un teléfono celular, la tarjeta de circuitos impresos corresponde a un 40% del peso total del mismo, sin considerar el peso de la batería. Los circuitos están formados por una delgada capa de material conductor depositado o impreso en la superficie de un tablero conocido como sustrato, este provee una estructura que físicamente sostiene a los componentes del circuito y los cables impresos en su lugar y provee aislamiento eléctrico entre partes conductoras. (Khandpur, 2006).

Las TCI tienen perforaciones, que son utilizadas para montar componentes electrónicos y para proporcionar un circuito conductivo. (CEMPRE, 2010)

Los circuitos electrónicos están constituidos principalmente por fibra de vidrio y metales tales como oro, plata, paladio, cobre, plomo, aluminio, níquel, entre otros. (Khandpur, 2006).

En una TCI, existen conectores de borde, que poseen contactos de resorte unidos a pestañas conectoras. Dichos conectores son utilizados para la interconexión de varios módulos como semiconductores, resistores, condensadores, chips, etc. son montados sobre las tarjetas e interconectados mediante soldadura de plomo y otros metales pesados. (Mitzner, 2009).

Dentro de una TCI, el cobre es utilizado para la interconexión de los componentes en el sustrato. A pesar de la buena conductividad de éste metal en la tarjeta para formar la línea de conducción, es propenso a oxidarse si es expuesto a la atmósfera. (Goodship, 2012).

El proceso de cobertura con metal, o blindaje, es una práctica estándar para asegurar la soldabilidad y proteger al circuito de la corrosión, por lo cual juega un papel importante en la fabricación de las TCI. (Khandpur, 2006).

2.5 COMPOSICIÓN DE LAS TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO DE LOS TELÉFONOS CELULARES

Para la fabricación de las TCI son utilizadas grandes cantidades de productos químicos altamente peligrosos, tales como bifenilos policlorados, formaldehido, dimetilformamida y plomo. (Vélez, 2010).

Además de contener diversos materiales, constituidas en un 63% por metales (Fe, Pb, Cu, Sn, Ni, Ti y Al, además de algunos metales preciosos como Pd, Au y Ag), 24% de cerámicos (SiO_2 y AL_2O_3) y 13% de polímeros (Polietileno, Polipropileno, Poliésteres, Cloruro de polivinilo y Politetrafluoretileno). (Yamane et al., 2011).

2.6 TIPOS DE TARJETA DE CIRCUITO IMPRESO

Las TCI son diversas y complejas en término del tipo, cantidad, tamaño y forma de los materiales y componentes, que significa un reto para su clasificación y reciclaje. (Wang & Gaustad, 2012).

En la actualidad existen tres tipos de TCI (Yamane et al., 2011):

- Tarjeta con una sola capa: circuitos de cobre y agujeros sin metalización.
- Tarjeta de doble capa: los circuitos están unidos por dos capas de cobre con agujeros metalizados.
- Tarjeta con múltiples capas: se caracterizan por tener circuitos en todas las capas.

Una de las características principales para diferenciar una TCI de una computadora de una TCI de un teléfono celular es que la TCI de la computadora posee una sola capa mientras que la del teléfono celular no. (Yamane et al., 2011).

Ambas tarjetas se encuentran dentro de las TCI de alto grado de metales preciosos, en comparación con las TCI de bajo grado como las TCI de televisores. (Wang & Gaustad, 2012).

2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS TELÉFONOS CELULARES

2.7.1 TELÉFONOS CONVENCIONALES

Un teléfono celular convencional está diseñado para en primer lugar realizar llamadas. El teclado y el diseño del teléfono son generalmente similar al de un teléfono tradicional. El software dentro de un teléfono celular convencional es limitado. La mayoría incluye libretas de direcciones, calendarios, relojes despertadores y otras herramientas básicas para la productividad. Estos teléfonos celulares pueden tener juegos, conexión a Internet y otras funciones adicionales, pero no son el objetivo principal del teléfono. (Red, 2014).

2.7.2 SMARTPHONES O TELÉFONOS INTELIGENTES

Estos dispositivos son más completos y avanzados. Entre otras cosas, la conexión a Internet es superior. Además, la pantalla es de grandes dimensiones, excelente calidad y táctil. Por otro lado, estos teléfonos cuentas con reproductores de música muy avanzados, bluetooth, cámara para grabar y sacar fotos en alta definición, brújula digital y muchas otras aplicaciones y juegos que hacen del celular una excelente opción no sólo para mantenerse conectado con otros usuarios sino también como medio de entretenimiento y de información. (Red, 2014).

2.8 COMPONENTES DE UN CELULAR

Los teléfonos celulares convencionales representaron el punto de partida para llegar primero a los web-enabled phones (WAP) y después a los que hoy se conocen como smartphones (Morillo, 2011).

Protocolo de Aplicación Inalámbrica (WAP); Sistema de protocolos y tecnologías que permite que teléfonos celulares y otros dispositivos inalámbricos de pantallas pequeñas y conexiones de banda ancha, tengan acceso a información y servicios basados en la Web. (Admin, 2013).

En la Tabla 2.2 se observa la composición de un teléfono móvil.

Tabla 2.2: Componentes de un Teléfono Celular.

1.- Pantalla convencional o táctil: muestra al usuario la interfaz gráfica del teléfono.
2.- Teclado de navegación: se encarga de realizar funciones tales como accesos directos, subir y bajar pantalla, etc.
3.- Teclado Alfa-numérico: permite la inserción de números, letras y símbolos especiales.
4.- Antena: permite una mejor recepción de la señal celular.
5.- Cubierta: protege los circuitos interiores y le da estética al producto.
6.- Visor de la cámara: es el encargado de enfocar las imágenes a grabar.
7.- Tapa: protege la batería y el chip.
8.- Conector de alimentación: permite la inserción del conector del adaptador AC/DC.
9.- Puerto: se encarga de permitir la conexión de un cable especial de comunicaciones hacia la computadora.
A. Puerto Infrarrojo: permite la conexión directa con otro dispositivo para envío de datos sin necesidad de cable.
B. Ranura para memoria: alberga una tarjeta de memoria digital para aumentar la capacidad de almacenamiento del teléfono.
C. Teclado QUERTY (opcional): es retráctil y permite la escritura de manera más cómoda y fácil, como si se escribiera con el teclado convencional de la computadora

Fuente: Ramírez, 2012.

Algunos metales son indispensables para las TIC y los teléfonos móviles, en particular; antimonio, cobalto, litio, tántalo, tungsteno y molibdeno. Además de los metales comúnmente conocidos (como aluminio, cobre y acero), otros metales pueden encontrarse en los teléfonos móviles, a veces en porcentajes muy pequeños como se puede observar en la Tabla 2.3. (GSMA, 2015).

Tabla 2.3: Composición de un Teléfono Celular en Peso.

Elemento	Porcentaje (%)
Acero (Fe)	9.74
Aluminio (Al)	2.35
Cobalto (Co)	5.00
Cobre (Cu)	9.94
Indio (In)	0.0006
Litio (Li)	0.35
Neodimio (Nd)	0.04
Níquel (Ni)	1.60
Oro (Au)	0.02
Paladio (Pd)	0.008
Plástico	45.03
Plata (Ag)	0.24
Plomo (Pb)	0.004
Praseodimio (Pr)	0.0079
Ta (Tantalio)	0.018
Tungsteno (W)	0.31
Vidrio	3.80
Zinc (Zn)	0.40
Otros	21.15

Fuente: (GSMA, 2015).

Estos elementos se utilizan sobre todo por sus propiedades que permiten distintas funcionalidades (GSMA, 2015):

- La plata y el oro, se utilizan ampliamente en la industria electrónica por sus naturalezas maleables y dúctiles, su buena conductividad eléctrica y solubilidad en soldaduras a base de estaño.
- El cobalto se utiliza en medios de grabación magnética y también en conexiones para la difusión del oro en sustratos. Además se utiliza en baterías recargables.

- Tungsteno se utiliza, debido a su alta densidad, como un contrapeso en el extremo del eje del motor diminuto que hace vibrar los teléfonos celulares.
- Tantalio se utiliza en los condensadores, y el indio se utiliza en LCDs.

2.9 SISTEMA DE TELEFONÍA CELULAR

Los sistemas de telefonía celular son sistemas de comunicaciones móviles en los cuales la zona o territorio en que se brinda el servicio (área de cubrimiento) se divide en celdas, cada una de las cuales es servida por una estación de radiocomunicaciones, de modo que cuando un celular se mueve a través de la zona de cubrimiento del sistema, en cada momento es atendido por la estación correspondiente a la celda en que se encuentra, y al transitar a una celda vecina pasa a ser atendido por la estación correspondiente a la misma, sin que se pierda la comunicación. (Rodríguez, 2005).

Un sistema de telefonía celular se compone de tres elementos fundamentales:

• Las unidades: los teléfonos celulares.

• Las estaciones de radio base (RBS), que dan servicio a cada celda.

• Los centros de conmutación de móviles (CCM), a través de los cuales se establecen las conexiones de las RBS entre sí y con la red telefónica. (Rodríguez, 2005).

2.9.1 1-G: MÓVILES DE PRIMERA GENERACIÓN

La 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979, se caracterizó por tener un tamaño y peso inmanejable. Funcionaban de manera analógica, es decir, la transmisión y recepción de datos se apoyaba sobre un conjunto de ondas de radio que cambiaban de modo continuo. El hecho de que fueran analógicos traía consigo una serie de inconvenientes, tales como que solo podían ser utilizados para la transmisión de voz (el uso de mensajería instantánea era algo solo visible en un futuro “muy lejano”) o su baja seguridad, la cual hacia posible a una persona escuchar llamadas ajenas con un simple sintonizador de radio. (Basterretche, 2007).

La tecnología predominante de esta generación es el Sistema de Teléfono Móvil Avanzado (AMPS, Advanced Mobile Phone System).

2.9.2 2-G: SEGUNDA GENERACIÓN

La denominada “segunda generación” no es un estándar concreto, sino que marca el paso de la telefonía analógica a la digital, que permitió, mediante la introducción de una serie de protocolos, la mejora del manejo de llamadas, más enlaces simultáneos en el mismo ancho de banda y la integración de otros servicios adicionales al de la voz, de entre los que destaca el Servicio de Mensajes Cortos (Short Message Service). (Basterretche, 2007).

Estos protocolos fueron implementados por diversas compañías, siendo este hecho el origen de uno de los principales problemas de esta generación la incompatibilidad entre protocolos, debido a que el radio de utilización del teléfono quedaba limitado al área en el que su compañía le diera soporte.

Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System for Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA- 136 o ANSI-136) y CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications) (Basterretche, 2007).

2.9.3 3-G: TERCERA GENERACIÓN

El año 2001 fue un año revolucionario en el ámbito de la telefonía móvil ya que supuso la aparición de los primeros celulares que incorporaban pantalla LCD a color, hecho que abría un inmenso abanico de posibilidades en cuanto a adaptación de nuevas funciones. El usuario pudo asistir al nacimiento de dispositivos que se creían como mínimo futuristas tales como móviles con cámara fotográfica digital, posibilidad de grabar videos y mandarlos con un sistema de mensajería instantánea evolucionado, juegos 3d, sonido Mp3 o poder mantener conversaciones por videoconferencia gracias a una tasa de transferencia de datos más que aceptable y a un soporte para Internet correctamente implementado (correo electrónico, descargas, etc.) (Basterretche, 2007).

Los sistemas 3G alcanzaran velocidades de hasta 384 Kbps permitiendo una movilidad total a usuarios viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores y alcanzará una velocidad máxima de 2 Mbps permitiendo una movilidad limitada a usuarios caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores (Martínez, 2001).

Entre las tecnologías contendientes de la tercera generación se encuentran UMTS (Universal Mobile Telephone Service), cdma2000, IMT-2000, ARIB (3GPP), UWC-136, entre otras (Martínez, 2001).

2.9.4 4-G: CUARTA GENERACIÓN

La cuarta generación fue un proyecto a largo plazo que se pensó fuera 50 veces más rápida en velocidad que la tercera generación. Se planearon hacer pruebas de esta tecnología hasta el 2005 y se comercializaron la mayoría de los servicios hasta el 2010. (Martínez, 2001).

2.10 CÓMO FUNCIONA UN TELÉFONO CELULAR

Los teléfonos celulares trabajan con la idea de células. Cada área de acción como puede ser una ciudad se divide en pequeñas células o celdas, lo que permite la utilización de una misma frecuencia por muchas personas al mismo tiempo. Cada celda tiene normalmente unos 26 kilómetros cuadrados y tiene una estación base donde se encuentra la antena y el equipo receptor/emisor de radio, tiene una capacidad limitada de frecuencias para que puedan hablar muchas personas al mismo tiempo. (Rossi, 2011).

Cuando se habla a través del celular un pequeño micrófono, encontrado en su interior, convierte los sonidos altos y bajos de tu voz en el patrón correspondiente de señales eléctricas altas y bajas. Un microchip dentro del teléfono convierte esas señales en cadenas de números. Los números son empaquetados en una onda de radio y se emiten desde la antena del teléfono (en algunos países, la antena es conocida como aéreo). Las ondas de radio viajan por el aire a la velocidad de la luz (300.000 kilómetros por segundo) hasta alcanzar el mástil o estación más cercana. (Ramírez, 2012).

Las estaciones de base se separan entre 1 a 3 Km. en zonas urbanas, aunque pueden llegar a separarse por más de 35Km en zonas rurales. En zonas muy densamente pobladas o áreas con muchos obstáculos (como ser edificios altos), las células pueden concentrarse en distancias cada vez menores. (Inzaurralde, 2006).

Para entender mejor cómo funcionan estos aparatos puede ayudar compararlos con una radio de onda corta (OC) o con un walkie-talkie. Un radio OC es un aparato simple, permite que dos personas se comuniquen utilizando la misma frecuencia, así que sólo una persona puede hablar al tiempo. Un celular es un dispositivo dual, esto quiere decir que utiliza una frecuencia para hablar, y una segunda frecuencia aparte para escuchar. (Inzaurralde, 2006).

En las figura 2.1 se ilustra el ejemplo de un radio simple y en la figura 2.2 se ilustra el ejemplo de un radio dual.

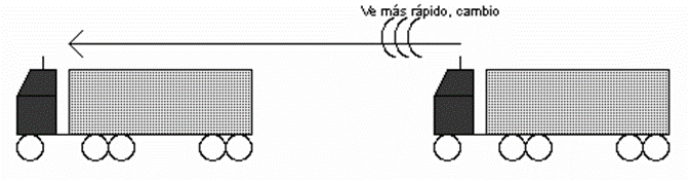

Figura 2.1. En un radio simple, ambos transmisores utilizan la misma frecuencia. Sólo uno puede hablar al tiempo. (León, 2007).

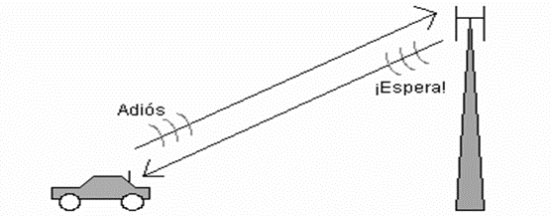

Figura 2.2 Ejemplo de un radio dual (León, 2007).

En un radio dual, los dos transmisores utilizan diferentes frecuencias, así que dos personas pueden hablar al mismo tiempo. Los teléfonos celulares son duales. (León, 2007).

En la figura 2.3 se puede observar la operación de las celdas. Cada celda tiene una estación base que consiste de una torre y un pequeño edificio que contiene

el equipo de radio. Cada celda tiene alrededor de 56 canales de voz disponibles. En otras palabras, en cualquier celda, pueden hablar 56 personas en sus teléfonos celulares al mismo tiempo. Con la transmisión digital, el número de canales disponibles aumenta. (Aguilar & Brizo, 2011).

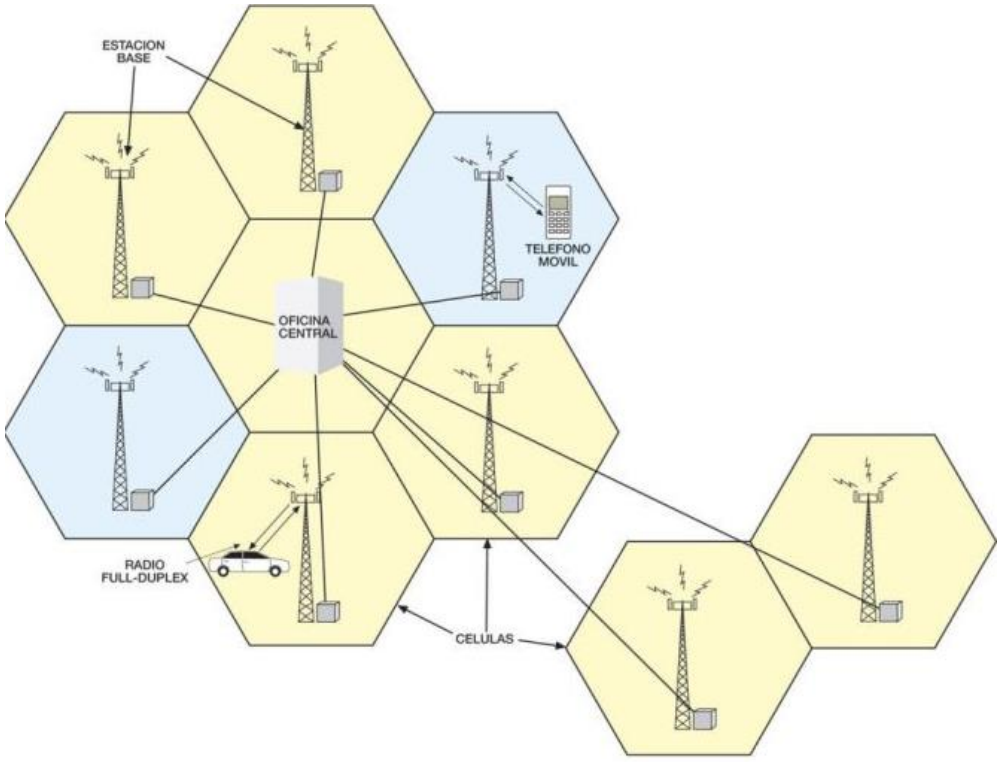

Figura 2.3 Descripción de cómo operan las señales de los celulares con la estación base y las diferentes células. (Aguilar & Brizo, 2011).

Cuando el usuario desea realizar una llamada, el teléfono celular envía un mensaje a la torre solicitando una conexión a un número de teléfono específico. Si la torre dispone de los suficientes recursos para permitir la comunicación, un dispositivo llamado "switch" conecta la señal del teléfono celular a un canal en la red de telefonía pública. La llamada en este momento toma un canal inalámbrico así como un canal en la red de telefonía pública que se mantendrán abiertos hasta que la llamada se concluya. (Inzaurralde, 2006).

Cuando se tiene un celular y alguien trata de llamar, la Oficina de Conmutación de Telefonía móvil (Mobile Telephone Switching Office o MTSO) recibe la llamada, y trata de encontrar al receptor. (León, 2007).

A medida que el receptor se mueva en la célula, la estación base notará que la fuerza de su señal disminuye. Entre tanto, la estación base de la célula hacia la que se está moviendo (que está escuchando la señal) será capaz de notar que la señal se hace más fuerte. Las dos estaciones base se coordinan a sí mismas a través del MTSO, y en algún punto su teléfono obtiene una señal que le indica que cambie de frecuencia. Este cambio hace que su teléfono mude su señal a otra célula. En sistemas modernos los teléfonos esperan una señal de identificación del sistema (IDS) del canal de control cuando se encienden. (Inzaurralde, 2006).

Si el teléfono no puede hallar canales para escuchar se sabe que está fuera de rango y muestra un mensaje de "sin servicio". (Inzaurralde, 2006).

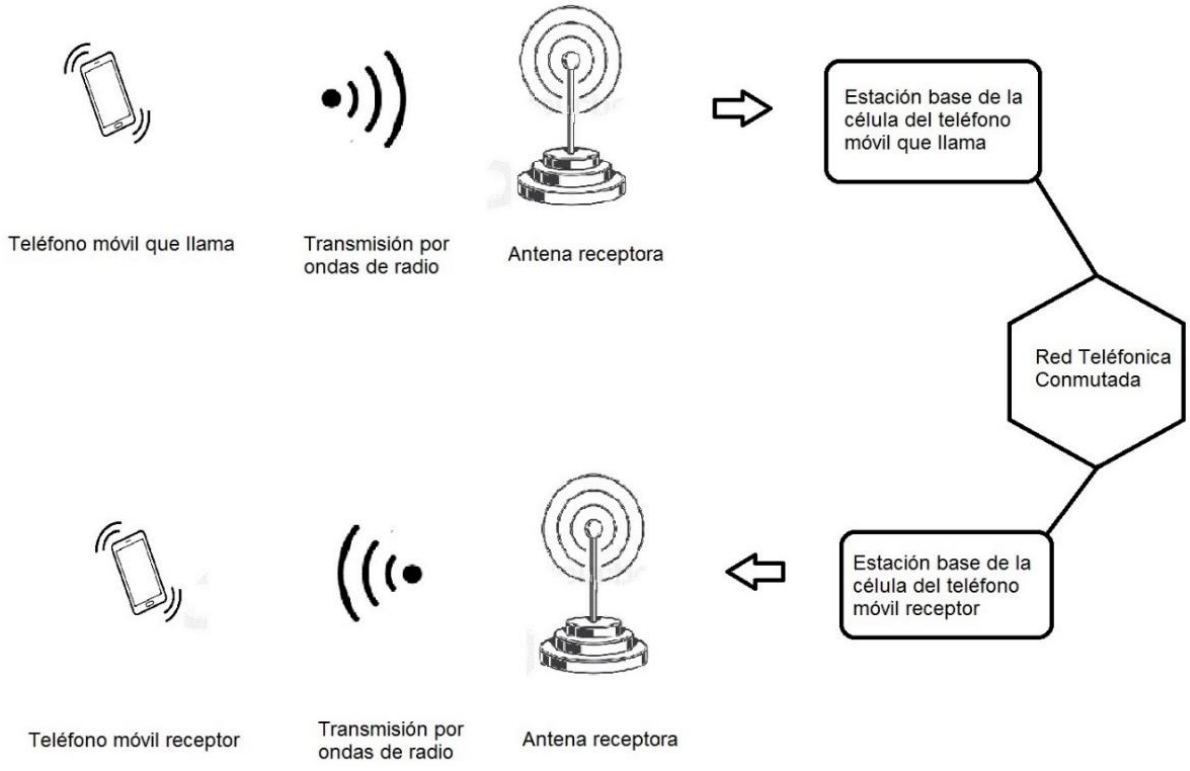

Figura 2.4. Representación de la realización de una llamada telefónica desde un teléfono celular. (Imaginar, 2011).

CAPÍTULO 3. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL Y NACIONAL SOBRE EL MANEJO DE LOS RESIDUOS ELECTRÓNICOS

3.1 LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

El tema de los residuos electrónicos ha cobrado importancia internacional a partir de su inclusión en las agendas de diferentes tratados entre países que buscan fomentar acciones para la reducción de impactos ambientales como los convenios (Estocolmo y Basilea), iniciativas y conceptos que abordan directa e indirectamente la gestión, el manejo y la disposición final de los RAEE. Estos instrumentos han sido fundamentales para que las naciones creen sus propias legislaciones adaptadas a su realidad. (Buitrago, 2010).

Las políticas públicas pueden estimular y fortalecer un incremento en la responsabilidad de los productores y consumidores de AEE, que incluya la gestión de los residuos que propician dichos aparatos. Con este fin, la Unión Europea promulgó la directiva Europea 2002/196/EC sobre los RAEE. Esta legislación define la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) que relaciona el uso ecológico de los productos, su recolección al final de su vida útil, así como la reincorporación y el reciclaje de los componentes que aún son utilizables. (Ávila Salazar, 2013).

3.2 CONVENIO DE ESTOCOLMO

El Convenio de Estocolmo es un mecanismo promovido por el Proyecto de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para la colaboración, la reducción o eliminación de la liberación de los contaminantes orgánicos persistentes (COP) al ambiente. El Convenio fue adoptado en mayo de 2001 y entró en vigor en mayo de 2004. En su versión original se incluyeron doce COP considerados de alto riesgo para la salud humana y al ambiente: aldrina, endrina, hexaclorobenceno, toxafeno, dieldrina, heptacloro, DDT, bifenilos policlorados (PCB), dioxinas y furanos. (INECC-SEMARNAT, 2010).

El convenio de Estocolmo tiene por objetivo proteger a la salud humana y al ambiente frente a los COP, así como promover las mejores prácticas y tecnologías disponibles para remplazar a los COP a través del fortalecimiento de las legislaciones y de planes nacionales de implementación para cumplir estos compromisos. (SEMARNAT, 2013).

3.3 CONVENIO DE BASILEA

El 7 de febrero de 1994 entra en vigor el Convenio de Basilea, tiene por objeto reducir estrictamente los intercambios de residuos (movimiento transfronterizo) con el fin de proteger la salud humana y al ambiente estableciendo un sistema de control de las exportaciones e importaciones de residuos peligrosos así como su eliminación. El Convenio define los residuos que se consideran peligrosos. Toda parte del Convenio podrá añadir a esta lista otros residuos clasificados peligrosos en su legislación nacional. (Linares, 2015).

Los anexos del Convenio se refieren de manera específica a los desechos metálicos y desechos que contengan aleaciones metálicas de antimonio, arsénico, berilio, cadmio, plomo, mercurio, selenio, telurio, entre otros; montajes eléctricos y electrónicos (TCI), aparatos que contengan componentes baterías, interruptores, capacitores, cubiertos o aislados con plástico. (PNUMA, 2004).

Responsabilidad Extendida del Productor.

Las legislaciones de los diferentes países están construidas sobre dos modelos básicos. El primero de ellos es la Responsabilidad Extendida del Productor (ERP, Extended Producer Responsibility), el cual es sostenido financieramente por los fabricantes, quienes son responsables de los AEE una vez que su vida útil ha terminado. (Rezagos, 2015).

El otro modelo, Honorarios de Reciclaje Avanzados (ARF, Advanced Recycling Fees), en el cual los consumidores y los contribuyentes son responsables de los RAEE y deben pagar un impuesto que cubre el reciclaje de los aparatos. Esta segunda opción es criticada porque no aporta soluciones para detener el flujo de desechos electrónicos alrededor del mundo. Los impuestos recaen sobre los consumidores o los contribuyentes, mientras los productores se

liberan de cualquier responsabilidad, sin incentivos para desarrollar diseños más limpios. (Linares, 2015).

Como legislación más específica se puede citar la creación de la Directiva Europea Relativa a los Residuos Electrónicos y Eléctricos que entró en vigencia en el 2003, la cual se presenta a continuación (Buitrago, 2010).

3.4 LA DIRECTIVA EUROPEA SOBRE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

La Directiva Europea sobre RAEE, establece como premisa la prevención de la generación de desechos de AEE, así como fomentar la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización, a fin de reducir su eliminación. Así mismo, pretende mejorar el comportamiento ambiental de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de dichos aparatos, por ejemplo, los productores, distribuidores y consumidores y, en particular, de aquellos agentes directamente implicados en el tratamiento de los desechos derivados de estos aparatos. (RECYCLA Chile S.A., 2007).

Las políticas europeas sobre aspectos ambientales se basan en cuatro principios: Principio de precaución, principio de adopción de medidas preventivas, los daños ambientales deben, de manera prioritaria, corregirse en su origen y quien contamina, paga.

Las restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en los AEE: la Directiva 2002/95/CE implica, principalmente:

- Uso restringido de sustancias tóxicas. Prohíbe la utilización de cuatro metales pesados (plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente) y los materiales ignífugos bromados PBB y PBDE para fabricar AEE nuevos.
- Protección de la salud humana.
- Disposición ambientalmente amigable.

En la Unión Europea la prevención de la formación de residuos eléctricos y electrónicos así como fomentar la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización para reducir su cantidad y mejorar los resultados ambientales de

los agentes económicos implicados en dicho procedimiento resultan ser los objetivos principales junto con el establecimiento de medidas sobre la limitación del uso de sustancias peligrosas en dichos aparatos. La Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre RAEE se clasifica en 10 categorías (Tabla 3.1). (Directiva 2002/96/EC de la Unión Europea, 2002).

Tabla 3.1 Categorías de RAEE según la Directiva de la Unión Europea

N°	Categoría	Ejemplos
1	Grandes electrodomésticos	Neveras, congeladores, lavadoras, lavaplatos, etc.
2	Pequeños electrodomésticos	Aspiradoras, planchas, secadores de pelo, etc.
3	Equipos de informática y telecomunicaciones	Procesadores de datos centralizados (minicomputadoras, impresoras), y elementos de computación personal (computadores personales, computadores portátiles, fotocopiadoras, telex, teléfonos, etc.).
4	Aparatos electrónicos de consumo	Aparatos de radio, televisores, cámaras de vídeo, etc.
5	Aparatos de alumbrado	Luminarias, tubos fluorescentes, lámparas de descarga de alta intensidad, etc.
6	Herramientas eléctricas y electrónicas.	Taladros, sierras y máquinas de coser.
7	Juguetes, equipos deportivos y de tiempo libre	Trenes y carros eléctricos, consolas de vídeo y juegos de vídeo.
8	Aparatos médicos	Aparatos de radioterapia, cardiología, diálisis, etc.
9	Instrumentos de medida y control	Termostatos, detectores de humo o reguladores de calor.
10	Máquinas expendedoras	Máquinas expendedoras de bebidas calientes, botellas, latas o productos sólidos.

Fuente: Directiva 2002/96/EC de la Unión Europea

3.5 GESTIÓN DEL RAEE

Antes de la creación de la Directiva Europea sobre RAEE, diversos países europeos habían definido su normativa y sistemas de gestión para estos residuos, cada uno con las orientaciones y características propias del país. Como la Directiva establece que los Estados deben aplicarla en su territorio, algunos tendrán que adaptarla a sus actuales legislaciones. (Asociación de Ciudades y Regiones para el Reciclaje y la Gestión Sostenible de los Recursos, 2007).

3.5.1 CHINA

China se ha convertido en el mayor fabricante de productos eléctricos y electrónicos del mundo y al mismo tiempo en el eje central hacia donde se dirige gran parte de los RAEE. Varias investigaciones e informes realizados por organizaciones no gubernamentales lo ponen de manifiesto. El país firmó el convenio de Basilea, sin embargo, al no existir una amplia “legislación” sobre residuos, la importación continúa ocurriendo. (Rezagos, 2010).

3.5.2 INDIA

India firmó el Convenio de Basilea, sin embargo, no existe todavía una legislación específica que regule la importación/exportación o la recolección y tratamiento de los desechos electrónicos. Por este motivo, se utiliza una normativa relacionada con los residuos peligrosos poco clara. La falta de claridad y su ambigüedad hacen que la aplicación de la normativa sea imposible y de este modo alienta las prácticas indebidas. El país es uno de los grandes receptores de RAEE que se exportan desde occidente. El reciclaje y la extracción de los elementos valiosos de los desechos electrónicos se realizan de manera clandestina con pésimas condiciones para los trabajadores. (UNU, 2015).

3.5.3 NORUEGA

La recolección es un trabajo asumido por las municipalidades, minoristas y distribuidores. No se consideran residuos aquellos AEE que aún se pueden reutilizar. (Rojas et al., 2011).

3.5.4 SUDÁFRICA

Sudáfrica carece de una legislación dedicada a los desechos electrónicos, no obstante, cuenta con leyes sobre sustancias peligrosas y residuos, su gestión y eliminación. Se puede seguir una guía en las leyes que rigen temas como el ambiente, el agua, el aire, los residuos, las sustancias peligrosas, así como la salud y la seguridad. (Rezagos, 2010).

3.5.5 SUECIA

Los puntos de recolección son gestionados por las municipalidades, financiados por ellas y los productores. El reciclaje es una tarea exclusiva de los productores. Lo mismo ocurre en Bélgica y Países Bajos. (Rojas, et al., 2011).

3.5.6 SUIZA

El manejo de los RAEE en Suiza está organizado de manera simple y libre. Está basado fundamentalmente en el carácter voluntario, consensuado y con el respaldo de un sistema de control y seguimiento. Cada usuario se encarga de gestionar de manera voluntaria y correcta los tratamientos para sus RAEE. El manejo correcto de la basura electrónica posee un amplio alcance y brinda al fabricante independencia, así como también al punto de venta, sobre la gestión una vez terminada la vida útil del aparato. Según la “Ordenanza sobre el retorno, la recogida y la eliminación de equipos eléctricos y electrónicos” (“Ordinance on the return, the take back and the disposal of electrical and electronic equipment") los minoristas, los fabricantes y los importadores están obligados a aceptar la devolución de los aparatos en desuso sin costo alguno. Los consumidores, por su parte, están obligados a regresar los aparatos al final de su vida útil, debido a que no está permitido disponerlos como residuos domiciliarios. (Rezagos, 2010).

3.6 GESTIÓN DEL RAEE EN ALGUNOS PAÍSES DE AMÉRICA

3.6.1 ARGENTINA

Argentina carece a nivel nacional de normativa específica sobre los RAEE. Por este motivo, el marco legal utilizado para el manejo de estos residuos es la Ley Nacional N° 24.051 de residuos peligrosos (la cual regula la generación, manejo, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos) y para su exportación la Ley Nacional N° 23.992, que aprueba el convenio de Basilea (situaciones donde los residuos son sometidos a movimientos transfronterizos para su disposición o recuperación). (CRBAS, 2015).

3.6.2 BRASIL

Brasil posee una ley nacional denominada "Ley de la Basura" la cual establece que toda persona tiene la responsabilidad en la generación de los RAEE. Esta responsabilidad aplica a la industria, el comercio, municipios y los consumidores. Para el caso específico de los RAEE, el 5 de agosto de 2010, se aprobó la Ley Federal Nº 12.305 sobre la Política Nacional de Residuos Sólidos en donde se ha trabajado para dar un tratamiento adecuado a los RAEE. También, en la Ciudad de São Paulo se promulgó en julio de 2010 la Ley estatal N. 13.576 para el establecimiento de normas y procedimientos para el correcto y adecuado reciclaje, manejo y disposición de los RAEE. Brasil ha firmado el Convenio de Basilea en el año 1993 a través del Decreto 875/1993. (UNESCO-RELAC, 2010).

Los marcos regulatorios de este país incluyen el Principio de Responsabilidad Compartida (PRC) en cuanto al ciclo de vida de los dispositivos eléctricos y electrónicos. Estos marcos establecen también el reconocimiento del residuo sólido como residuo reutilizable y reciclable, considerándolo como un bien económico y cuyo valor es también de tipo social, lo cual ha permitido calificar al sector como generador de trabajo e ingresos. (Rojas et al., 2011).

Brasil posee empresas especializadas en gestión de RAEE. Una vez recolectados, los dispositivos desechados pasan por un proceso de logística inversa, donde son desmantelados y retirados cada uno de los componentes, para luego ser clasificados individualmente. Las empresas recicladoras procesan los materiales reciclados para obtención de materias primas tales

como plásticos, hierro, aluminio, alambres y cables. Las sustancias peligrosas generalmente son tratadas bajo proceso de neutralización mediante procesos químicos específicos. (UNESCO-RELAC, 2010).

Durante el proceso de reciclaje algunos materiales como los monitores o pantallas de rayos catódicos (CRT, Cathode Ray Tube en inglés) son recuperados. Algunos tipos de baterías, lámparas de mercurio, los cuáles suponen un proceso de difícil o costosa descontaminación, son gestionados también a nivel local. (UNESCO-RELAC, 2010).

3.6.3 CANADÁ

La Dirección Nacional de Principios para el Manejo de Productos Eléctricos y Electrónicos fue aprobada por el Canadian Council of Ministers of the Environment en junio de 2004. Esta contemplaba el acceso de los consumidores a los productos, su combinación, la designación de las responsabilidades de las partes, las metas de desempeño y las normas de reciclaje. (UNU, 2015).

Provincias canadienses han desarrollado planes y legislación, las cuales se basan en la responsabilidad ampliada del productor. Se reconoce que los propietarios de marcas y fabricantes se encuentran en la mejor posición para controlar el contenido y el reciclaje de los productos a través de su diseño y los mercados. (Rezagos, 2010).

3.6.4 COLOMBIA

Este país posee cuenta con una ley específica sobre gestión integral de los RAEE. La Ley N. 1672 fue publicada en el año 2013 y establece los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de RAEE que se generen en el territorio nacional de ese país. (UNESCO-RELAC, 2010).

A efectos de la aplicación de esta ley se tendrán en cuenta algunos principios rectores, tales como la REP, la participación activa de productores, comercializadores y usuarios. Asimismo la ley prevé la creación de estímulos, la descentralización, la innovación en ciencia y tecnología, el ciclo de vida del producto, la producción, el consumo sostenible y la prevención de la

contaminación. Estos conceptos han sido los principales problemas a afrontar y se estima que esta legislación podrá ser un camino acertado hacia la solución de estos retos en Colombia. (UNU, 2015).

Además de esta Ley, se destaca la Resolución No. 1297 de julio 8 de 2010, mediante la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Pilas y/o Acumuladores y se adoptan otras disposiciones, la Resolución 1511 de agosto 5 de 2010 donde se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Bombillas y se dictan otras disposiciones, la Resolución 1512 de agosto 5 de 2010, que establece los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Computadores y/o Periféricos y se adoptan otras disposiciones. Asimismo, es importante mencionar que Colombia ha aprobado el Convenio de Basilea, mediante la Ley 253 del año 1996. (UNESCO-RELAC, 2010).

3.6.5 COSTA RICA

La legislación no se refiere en forma específica al manejo de los desechos de equipos electrónicos. Sin embargo, existe alguna ley general sobre el tema, que puede ser aplicada a las diferentes etapas del ciclo de vida de estos equipos. (UNU, 2015).

3.6.6 ECUADOR

Ecuador cuenta con normativa nacional al respecto de desechos peligrosos, desde la Constitución de la República del Ecuador publicada en el año 2008, en cuyo artículo 15 establece la prohibición de la introducción de desechos peligrosos al país. Ecuador ha ratificado el Convenio de Basilea el 24 de mayo del año 1993. (ONUDI, 2014).

3.6.7 URUGUAY

En Uruguay no existen regulaciones unificadas sobre RAEE, sin embargo, cuenta con un marco general de políticas públicas para la gestión de los RAEE. Existen algunas iniciativas impulsadas desde el Gobierno Central, los Gobiernos Departamentales y por parte de otras instituciones públicas como la Agencia Nacional de Investigación e Innovación, Plan Ceibal y el Laboratorio

Tecnológico del Uruguay. Sin embargo, es necesario unificar y consolidar una política específica de RAEE (Rezagos, 2010).

Al momento, este país no cuenta con asociaciones especializadas para la disposición final de estos RAEE, pero existen algunos emprendimientos privados para la gestión de estos residuos y también iniciativas en la recolección. (UNU, 2015).

En la Tabla 3.2 Se presentan información de cantidades, flujos y recursos asociados a los RAEE de algunos países de América Latina y el Caribe.

Tabla 3.2 Cantidades, flujos y recursos asociados a la gestión de RAEE.

País	RAEE (kg/ hab)	RAEE anual (tons)	Población (habitantes)	Legislación RAEE a 2013
Argentina	7.0	291.7	41,961,000	No
Belice	6.5	2.3	35,5000	No
Bolivia	4.0	44.7	11,246,000	No
Brasil	7.0	1411.9	201,413,000	Sí
Chile	9.9	176.2	17,711,000	No
Colombia	5.3	252.2	47,711,000	Sí
Costa Rica	7.5	35.8	4,770,000	Sí
Ecuador	4.6	72.9	15,699,000	Sí
El Salvador	4.8	30.1	6,282,000	No
Guatemala	3.5	55.0	15,870,000	No
Honduras	1.8	1.7	8,546,000	No
México	8.2	957.9	117,181,000	No
Nicaragua	1.7	10.8	6,165,000	No
Panamá	8.2	3.2	3,788,000	No
Paraguay	4.9	34.2	6930000	No
Perú	4,7	147.6	31,424,000	Sí
Uruguay	9.5	32.4	3404000	No
Venezuela	7.6	232.7	30457000	No

Fuente: (Rezagos, 2010).

3.7 LEGISLACIÓN NACIONAL

Se estima que la vida útil de los aparatos electrónicos, en promedio, fue de 5 a 8 años para PCs, monitores, impresoras y laptops. De 4 años para celulares, de 8 años para televisores y de 10 años para refrigeradores. Sin embargo, gracias a la innovación tecnológica y a la promoción en el mercado, el periodo de vida útil de los equipos ha ido en declive de manera considerable desde entonces (Ávila Salazar, 2013).

3.7.1 MÉXICO

México carece de una norma oficial para determinar los planes de manejo de los RAEE. No obstante, cuenta con una ley de gestión integral de los residuos, bajo la cual quedan enmarcados los RAEE. (Rezagos, 2010).

En junio del 2004 se contempló por primera vez el tema de los residuos electrónicos con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). En 2006 surge el Reglamento para dicha Ley, la cual específica y clasifica los residuos tecnológicos. Por su parte, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) dependencia mexicana encargada de la regulación ambiental, prevé impulsar proyectos de manejo de estos desechos en el Plan Nacional de Residuos, sin aplicación actual alguna. (Ávila Salazar, 2013).

México cuenta con un marco jurídico específico en el tema de residuos que busca asegurar su prevención y gestión integral. Los instrumentos que regulan a los residuos electrónicos en particular se sustentan primeramente en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y de ahí se derivan la Ley General para el Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), los reglamentos correspondientes, así como las Normas Oficiales Mexicanas que se aplican en todo el territorio mexicano. (Rojas et al., 2011).

En México se aplica una serie de convenios internacionales que el gobierno ha suscrito con la aprobación del senado, entre los que se encuentran el Convenio de Basilea sobre movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y su eliminación, y el Convenio de Estocolmo sobre COP. Figura 3.1. (Rojas et al., 2011).

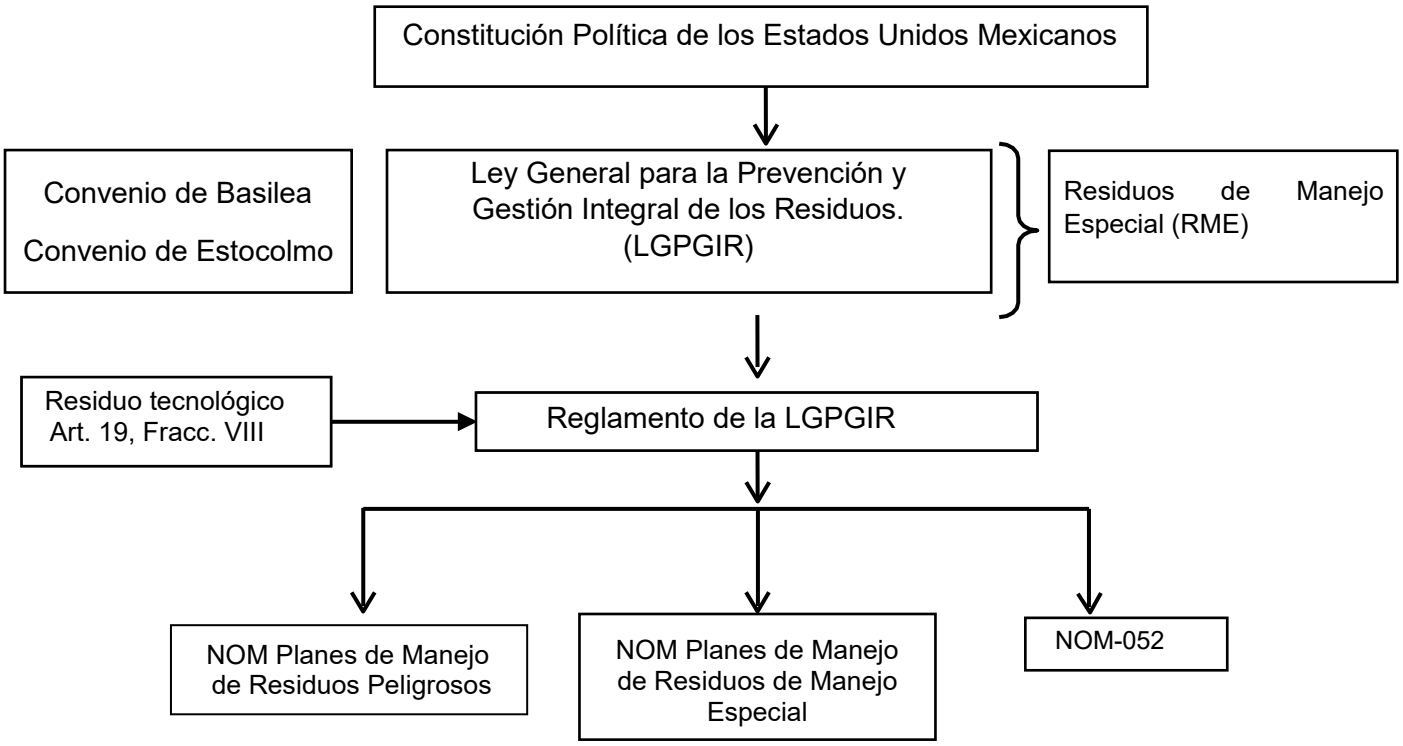

Figura 3.1. Esquema de la legislación nacional sobre residuos electrónicos. (Rojas et al., 2011).

La LGEEPA y la LGPGIR tienen como objetivo general garantizar el derecho de toda persona a tener un medio ambiente adecuado, propiciar el desarrollo sustentable, definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación. En particular, la LGPGIR establece los principios que favorecen la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de los de manejo especial; así como prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación. Establece las bases para 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. (Diario Oficial de la Federación, 2007).

3.7.2 LA LEY GENERAL PARA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS

La Ley General para Prevención y Gestión Integral de los Residuos considera los residuos electrónicos en el artículo 19, donde establece:

Los residuos electrónicos están definidos como de manejo especial de acuerdo al artículo 19 sección VIII, descritos como: 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. (INECC-SEMARNAT, 2010).

Artículo 19.- Los residuos de manejo especial se clasifican como se indica a continuación, salvo cuando se trate de residuos considerados como peligrosos en esta Ley y en las normas oficiales mexicanas correspondientes: (LGPGIR, 2015).

VIII. Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico. (LGPGIR, 2015).

Los residuos de manejo especial (RME) están definidos en el artículo 5 sección XXX, como aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos. (INECC, 2011).

Las entidades federativas cuentan con la facultad de formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar los programas en materia de residuos electrónicos. También son las encargadas de autorizar el manejo integral de éstos, e identificar aquellos que puedan estar sujetos a planes de manejo. También tienen la autoridad para realizar programas para la instalación de sistemas destinados a su recolección, acopio, almacenamiento, transporte, tratamiento, valorización y eliminación final de acuerdo a la ley o a normas oficiales mexicanas en el ámbito de su competencia. (INECC-SEMARNAT, 2010).

El Artículo 11 del reglamento de la LGPGIR establece que la clasificación de los residuos de manejo especial sujetos a planes de manejo, y la definición de los elementos y procedimientos que se deben considerar al formularlos, se deben establecer en normas oficiales mexicanas cuya emisión está a cargo de SEMARNAT. (INECC, 2007).

Para dar cumplimiento lo anterior, la Subsecretaría de Fomento y Normatividad formó un grupo de trabajo multidisciplinario para crear un anteproyecto que establece los criterios para clasificar a los RME y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como, los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. En el listado se incluyen una serie de residuos electrónicos como las televisiones, computadoras, celulares, equipo de oficina, entre otros. (SEMARNAT, 2008).

3.7.3 LA LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE

La LGEEPA se publica en 1988 y partir de esa fecha se ha modificado en concordancia con los cambios en la Ley de la Administración Pública, con las necesidades de ampliar, profundizar y hacer más eficiente las acciones en materia de protección ambiental y con el objetivo de reforzar el proceso de federalización a través de la descentralización de las funciones de la administración pública. (LGEEPA, 2010).

La LGEEPA tiene como objetivo preservar y restaurar el equilibrio ecológico y procurar la protección al ambiente en el territorio nacional y en las zonas de soberanía y con jurisdicción. Esta ley entró en vigor el 1 de marzo de 1998, después de que los artículos 27 y 73 de la constitución mexicana fueran modificados, aunque su última modificación fue el 30 de mayo del año 2000. (LGEEPA, 2010).

La LGEEPA tiene cuatro reglamentos:

1) En Materia de Impacto Ambiental.
2) En Materia de Residuos Peligrosos.
3) En Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.
4) En Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica.

Con excepción del recurso agua, la función de inspección y fiscalización del cumplimiento de la LGEEPA recae en la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). En el caso de las leyes ecológicas estatales, esta función está a cargo de las procuradurías estatales. (FAO, 2015).

3.7.4 NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-161-SEMARNAT-2011

La Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. (SEGOB, 2013).

Los residuos de manejo especial (RME) están definidos en el artículo 5 sección XXX como aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos. (LGPGIR, 2015).

La presente Norma Oficial Mexicana tiene los siguientes objetivos (Diario Oficial de la Federación, 2013):

- Establecer los criterios que deberán considerar las Entidades Federativas y sus Municipios para solicitar a la Secretaría la inclusión de otros Residuos de Manejo Especial, de conformidad con la fracción IX del artículo 19 de la Ley.
- Establecer los criterios para determinar los Residuos de Manejo Especial que estarán sujetos a Plan de Manejo y el Listado de los mismos.

- Establecer los criterios que deberán considerar las Entidades Federativas y sus Municipios para solicitar a la Secretaría la inclusión o exclusión del Listado de los Residuos de Manejo Especial sujetos a un Plan de Manejo.
- Establecer los elementos y procedimientos para la elaboración e implementación de los Planes de Manejo de Residuos de Manejo Especial.
- Establecer los procedimientos para que las Entidades Federativas y sus Municipios soliciten la inclusión o exclusión de Residuos de Manejo Especial del Listado de la presente Norma.

Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para (SEGOB, 2013):

- Los grandes generadores de Residuos de Manejo Especial.
- Los grandes generadores de Residuos Sólidos Urbanos.
- Los grandes generadores y los productores, importadores, exportadores, comercializadores y distribuidores de los productos que al desecharse se convierten en Residuos de Manejo Especial sujetos a un Plan de Manejo.
- Las Entidades Federativas que intervengan en los procesos establecidos en la presente Norma.

3.7.5 PROGRAMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS

Otro instrumento que apoya el manejo adecuado de los residuos electrónicos en México es el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012 (PNPGIR), el cual propone y establece la política ambiental en materia de residuos, al tiempo que plantea objetivos, acciones y metas. Fue elaborado por la SEMARNAT, conjuntamente con otras dependencias de la Administración Pública Federal, la Asociación Nacional de Autoridades Ambientales Estatales (ANAAE), representantes municipales y de los sectores académico, social y privado. (Cortinas de Nava, 2008).

El PNPGIR establece como meta de mejora en el manejo actual de residuos electrónicos el recuperar y reciclar 21 ton/día de esta corriente. Las acciones propuestas en este programa consideran el fomento a la industria de reciclaje que permitan inyectar un valor agregado a los materiales recuperados y considera la creación de industria que permita inyectar un valor agregado a los materiales recuperados y considera la creación de industria que permita aprovechar hasta el 5% de la generación total de residuos electrónicos. (LGEEPA, 2010).

Para fomentar la elaboración de Planes de Manejo Nacionales para las corrientes de RME, se menciona que se debe cumplir la meta de creación de estos planes para corrientes de manejo especial operando, entre los cuales se incluye uno especial para residuos electrónicos y que debe considerar la participación de los diversos actores involucrados en la cadena de valor. Se menciona que es necesario diseñar e implementar al menos dos planes de manejo para aquellos residuos que sean generadores de gases de efecto invernadero, entre ellos considera a los eléctricos y electrónicos. (Cortinas de Nava, 2008).

Otra norma relativa a la gestión de residuos electrónicos es la NOM-083-SEMARNAT-2003 que establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de eliminación final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. (SEMARNAT, 2008).

CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS METALES PRECIOSOS MEDIANTE LA RECUPERACIÓN Y RECICLAJE DE LOS TELÉFONOS CELULARES

4.1 LA MINERÍA ELECTRÓNICA

Es el proceso por el cual se recuperan los metales preciosos de los RAEE. Este proceso puede dividirse en cuatro etapas subsecuentes: la recolección de los RAEE, su clasificación y desmantelamiento, su pretratamiento mecánico, y el tratamiento final, que incluye el refinado de los metales y la disposición de los materiales peligrosos; como se muestra en la Figura 4.1. Usualmente para cada una de estas etapas se requiere de personal especializado para incrementar la eficiencia de cada una. (Namias, 2013).

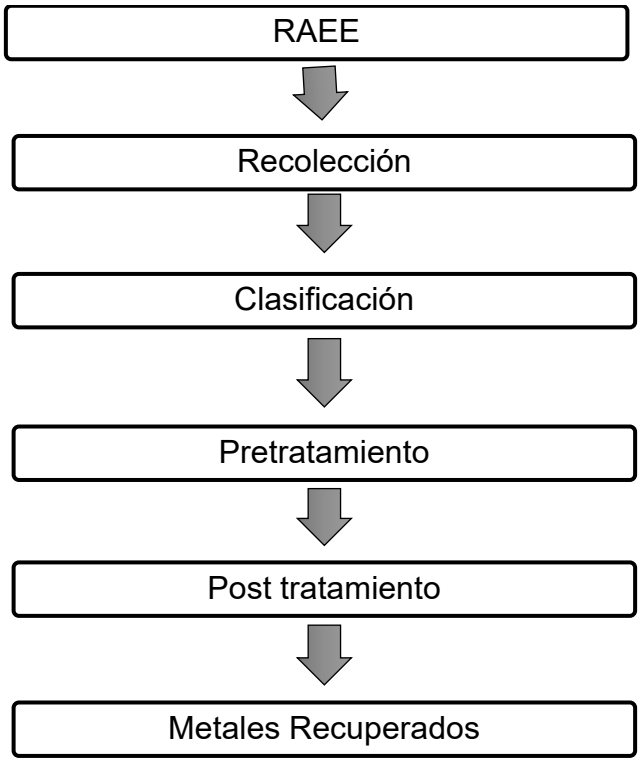

Figura 4.1 Etapas principales en el proceso de la Minería Electrónica (StEP, 2009).

A continuación se describirán las etapas del pretratamiento y los tratamientos que reciben estos residuos con la finalidad de recuperar los metales.

4.2 PRETRATAMIENTO

Es una de las etapas más importantes en el proceso de la Minería Electrónica. Los RAEE son manualmente desmantelados hasta obtener componentes individuales. Los procesos mecánicos son una parte integral de esta etapa, puesto que los residuos desmantelados son triturados utilizando usualmente un molino de martillos. La fracción metálica es separada de la no metálica utilizando técnicas provenientes de la minería tradicional, como lo son: el cribado, bandas magnéticas y corrientes inducidas. (Khaliq et al., 2014).

En la Figura 4.2 se puede observar un diagrama de flujo que sigue el procedimiento en un pretratamiento básico hasta los procesos disponibles para la recuperación de metales a partir de los RAEE. (Akcil et al., 2009).

Cabe mencionar que el factor más importante que afecta la eficiencia del proceso para el reciclaje y la recuperación de los materiales contenidos en los RAEE es la pérdida de los metales preciosos, debido al proceso de pulverización. (Akcil et al., 2009).

Debido a lo anterior, los componentes y dispositivos complejos, como por ejemplo las TCI y los teléfonos celulares, deben ser removidos de la corriente de RAEE que se lleva a un pretratamiento; puesto que, cuando los teléfonos celulares no son desmantelados manualmente y se trituran, los metales preciosos que contienen se mezclan con otras fracciones de los residuos, como vidrio o aluminio. Triturar los residuos electrónicos con alto valor puede resultar en pérdidas por encima del 40% del total de los metales preciosos que contienen, lo que también puede provocar la formación de residuos peligrosos como polvos y dioxinas. (Jiang & Harney, 2012).

La composición de metales en los componentes de los teléfonos celulares depende del pretratamiento que éstos reciban. Esto se puede observar en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Composiciones de Metales en los Teléfonos Celulares (Umicore, 2007).

Componente	Cobre (%)	Plata (ppm)	Oro (ppm)	Paladio (ppm)
Celular completo	12.8	3630	347	151
Celular triturado	13.4	2273	354	113
Tarjeta de circuitos	25.1	5541	982	287

A partir de los RAEE, la producción de los metales empieza por las etapas de recolección, desmantelamiento manual, trituración y separación de la parte metálica y plástica antes de los procesos metalúrgicos. (Delaunay & Montero, 2013).

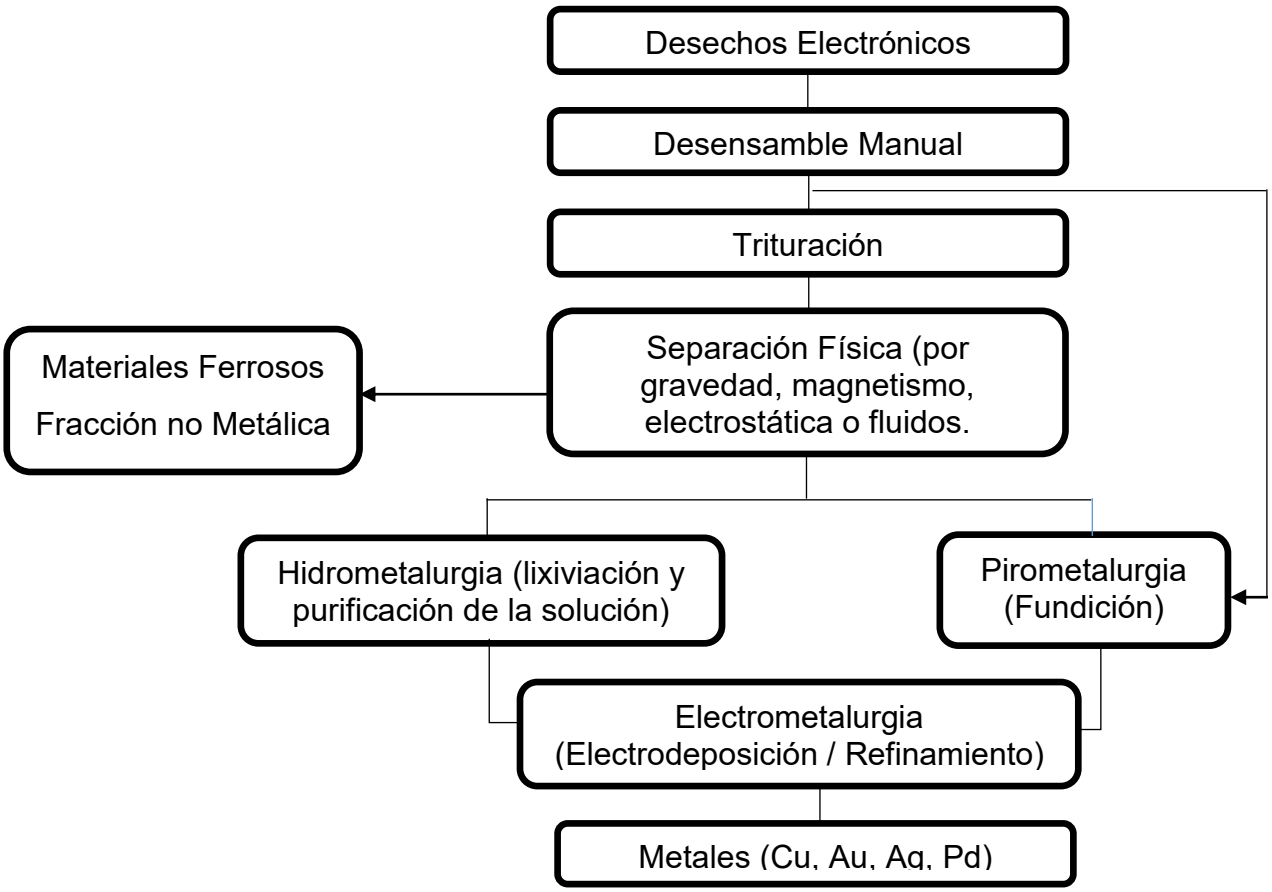

Figura 4.2 Representación esquemática de diagrama de flujo que presenta las opciones del proceso para la recuperación de metales de desechos electrónicos (RAEE). (Tuncuk et al., 2012).

4.3 TÉCNICAS PARA LA RECUPERACIÓN DE METALES PRECIOSOS

Los AEE, los nuevos diseños, aplicaciones y las constantes innovaciones, hacen que la tasa de cambio se acelere cada vez más. A ello debemos sumar un dato clave: la industria de la electrónica ha decidido “diseñar para el basurero”, lo que significa que los nuevos dispositivos electrónicos son producidos con la finalidad primera de durar menos y convertirse en residuos lo más rápidamente posible, para dar inicio nuevamente a la toda la cadena de producción y descarte. (Greenpeace, 2012).

4.4 MATERIALES RECICLABLES Y REUTILIZABLES DE UN TELÉFONO CELULAR

Actualmente son pocos los procesos propuestos para recuperar metales preciosos contenidos en la chatarra electrónica. Al respecto, en la mayoría de los casos, el desmantelamiento inicial consiste en cortar conectores. Las otras partes que no contienen metales preciosos son separadas durante el desmontaje manual inicial. Las fracciones típicamente separadas por el desmontaje son hierro, aluminio, cobre y sólidos, mezcla de partes rotas, materiales que contienen metales preciosos y piezas reutilizables. (Ramírez, 2008).

Más del 95% de los elementos presentes en un teléfono celular se pueden recuperar, reciclar y volver a utilizar en un nuevo producto electrónico. Del 95% un 1% Son elementos preciosos como plata, oro, paladio, 14% cobre, y un 80% son elementos restantes como vidrio, estaño, Indio, cobalto, plástico y tierras raras. (Greenpeace, 2012).

4.4.1 ORO

El oro es el metal más dúctil y maleable de todos los metales pudiéndose obtener hojas o panes de 1/12000 mm, un gramo de oro puede ser estirado en hilos con una longitud de hasta 2000 metros. Es más blando que la plata pero más duro que el estaño. Las resistencias técnicas del oro se mejoran cuando se propicia la aleación con plata, cobre, níquel, platino, zinc y cadmio. (Ávila Salazar, 2013).

El oro se emplea en la mayoría de los dispositivos electrónicos, debido a que este metal es un buen conductor, capaz de llevar corrientes minúsculas y mantenerse libre de la corrosión. El oro está presente en los conectores que son utilizados para ensamblar el microprocesador y los chips de memoria sobre la placa madre, así como, los conectores que son empleados para fijar todos los cables. (Ávila Salazar, 2013).

En la Tabla 4.2. Se describe la estimación del consumo de metales preciosos en kilogramos y metales pertenecientes al grupo del platino por la industria fabricante de aparatos electrónicos.

Tabla 4.2. Consumo de Metales en la Industria Electrónica. (Ávila Salazar, 2013).

Metal	Año 1986 (kg)	Año 2000 (kg)
Iridio	31.1	93.3
Oro	33,277	78,750
Osmio	31.1	31.1
Paladio	7,775	13,995
Plata	804,152.7	964,100
Platino	2,332.5	4,665
Rodio	248.8	373.2
Rutenio	2,208.1	3,245

Fuente: (Ávila Salazar, 2013).

El oro extraído anualmente a nivel mundial se destina principalmente en la joyería en un 48,26%, a inversiones financieras en un 40,35%, en usos tecnológicos 11,39%, electrónicos 8,11%, usos industriales 2,19% y usos odontológicos 1,07%. (World Gold Council, 2011).

Haciendo una comparación, entre la demanda total del metal y la producción neta del mismo, es forzoso reconocer, que existe la necesidad de buscar una alternativa para la obtención de este valioso metal. En la Tabla 4.3 se muestra la producción mundial del oro, y se observan los países que poseen una mayor producción. (Ávila Salazar, 2013).

Tabla 4.3 Producción de Oro en el Mundo.

Ranking	País/Región	Producción (toneladas)
1	China	370
2	Australia	250
3	Estados Unidos	230
4	Rusia	205
5	Sudáfrica	170
6	Perú	165
7	Canadá	102
8	Indonesia	95
9	Uzbekistán	90
10	Ghana	89
11	México	87
12	Papúa Nueva Guinea	60
13	Brasil	56
14	Chile	45
15	Resto del mundo	686

Fuente: (Ávila Salazar, 2013).

Importancia de obtener oro a partir de las TCI de los teléfonos celulares.

El problema que radica alrededor del oro es que se encuentra bastante diluido en la corteza terrestre, y los métodos extractivos y de refinación actual a partir de los minerales son complicados, caros y no amigables con el ambiente. (Dill, 2010).

Por lo que el desarrollo de la recuperación a partir de los materiales de desecho es cada vez más necesario. Es importante hacer referencia sobre este último punto en especial, pues en materiales de desecho (TCI de teléfonos celulares) se pueden encontrar mayores cantidades de este metal (20%) que en su extracción a partir de minerales (0.5-1%) que es una ventaja para su recuperación desde el punto de vista económico y ambiental, ya que en una tonelada de suelo se extraen de 1 a 10g de oro mientras que en una tonelada de TCI se extraen 250g. (Tuncuk et al., 2012).

4.4.2 COBRE

El cobre (Cu), es el metal más utilizado en los AEE debido a su elevada conductividad eléctrica, por lo que otros metales son adheridos a éste con la finalidad de modificar su dureza, su resistencia y sus propiedades anticorrosivas. Se obtienen aleaciones de cobre con distintos tipos de metales, como bronces que son aleaciones de Cobre con Estaño, Aluminio o Silicio; latón que es una aleación de Cobre con Zinc o simplemente aleaciones de metales preciosos como son la Plata, Oro y Paladio. (Cui & Zhang, 2008).

Muchos metales se pueden disolver en el Cobre, incluyendo Oro, Plata, Platino, Paladio, Selenio y Telurio; por lo tanto, la recuperación de los metales preciosos contenidos en los RAEE se basa en la fundición para recuperar el Cobre impuro y entonces refinarlo para obtenerlo puro y obtener los metales con los que éste se encontraba aleado. (Cui & Zhang, 2008).

4.4.3 PLATA

La Plata (Ag), se encuentra en todo el mundo, pero la mayor parte se produce en México, el oeste de Estados Unidos, Bolivia, Perú, Canadá y Australia.

Dado que la Plata pura es demasiado blanda para la fabricación de monedas, adornos, objetos y joyería, se endurece aleándola con Cobre. Como es muy resistente al ácido acético, en la industria del ácido acético, el vinagre, la sidra y la cerveza se utilizan recipientes de plata. También se emplea en las barras colectoras y devanados de plantas eléctricas, en soldadores de plata, circuitos electrónicos, amalgamas dentales, baterías de gran capacidad, cojinetes de motores, objetos de plata de ley y pinturas cerámicas. (Nordberg, 2012).

La plata se utiliza en las TCI. Antes de soldar los microchip, las placas se bañan en plata, y eso sirve para que puedan soldarse bien cada componente de las TCI y se reduzca la resistencia de las placas al paso de la corriente eléctrica. (Namias, 2013).

En el mundo de la electrónica, la plata conduce igual de bien que el oro la electricidad. Combinado en forma de aleación con el estaño, el material también se emplea para soldar los chips con los circuitos impresos. (Dill, 2010).

Otro elemento que convierte a nuestro móvil en un objeto tan valioso como un anillo: el oro. Y no sólo el oro: otros metales de gran valor como la plata, el estaño o el paladio pueden hacer acto de presencia en el dispositivo. Estos metales preciosos se encuentran en nuestro teléfono celular debido a que son muy buenos conductores de la electricidad. (Chacón, 2014).

Debido a que la concentración de oro en los AEE es considerablemente alta, la recuperación de éste y otros metales preciosos a través de los RAEE por medio de la Minería Electrónica se convierte potencialmente en una actividad minera ecológicamente compatible, económicamente viable y socialmente aceptada, es decir, sustentable. Es por eso que las investigaciones sobre una gestión adecuada de los RAEE han tomado relevancia en los últimos años, sumado a que la materia prima proveniente de las minas, es cada vez más escasa y costosa. (Villavicencio, 2015).

4.5 PROCESO PIROMETALÚRGICO E HIDROMETALÚRGICO

Los procesos de recuperación de metales a partir de residuos electrónicos se pueden dividir en dos tipos: hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos. Los procesos hidrometalúrgicos tienen como limitante el número de metales que se pueden recuperar y el grado de pureza obtenido al final del proceso. (Cui & Zhang, 2008).

4.5.1 PROCESO PIROMETALÚRGICO

El proceso pirometalúrgico es el método más antiguo y vigente, ha sido usado para recuperar metales a partir de residuos electrónicos. Este tipo de procesos se realizan en países desarrollados como Estados Unidos, Canadá, Suecia, Bélgica, Alemania, Japón, entre otros. (Cui y Zhang, 2008).

Este proceso consiste en fundir los residuos electrónicos pretratados dentro de un horno a temperaturas muy elevadas, y que actualmente sigue siendo el proceso más utilizado para la recuperación de los metales contenidos en los RAEE. Principalmente se recupera el cobre contenido en los residuos además de ciertas porciones de metales preciosos, como plata, oro, platino y paladio; que a través de la fundición se disuelven en el cobre. El hierro y el aluminio no se recuperan en este proceso y terminan como escorias del mismo. (Cui & Zhang, 2008).

La operación de estas plantas, está enfocadas a la producción de lingotes de cobre con valores de metales preciosos. Un proceso típico, consiste en la fundición del metal enriquecido para la obtención de lingotes, los cuales se someten a refinación electrolítica para obtener cobre de alta pureza. Los "lodos" de cobre recogidos en la electrorefinación se refinan nuevamente para recuperar los metales como Ag, Au, Pt, Pd, e Ir.

En la Tabla 4.4 se enlistan las plantas correspondientes a las compañías líderes en la tecnología de la pirometalurgia, así como su capacidad de tratamiento que ha aumentado en los últimos años.

Tabla 4.4 Capacidad de los principales fundidores de RAEE.

Complejo	**Capacidad en 2008 (ton)**	**Capacidad en 2012 (ton)**	**RAEE tratados en 2012 (ton/año)**
Fundidora *Ronnskar* de *Boliden* (Skelleftehamn, Suecia)	45,000	120,000	2,700,000
Horno de fundición de *Xstrata Copper* (Quebec, Canadá)	50,000	100,000	2,250,000
Fundidora *Elektro-Recycling NORD* de *Aurubis GmbH* (Hamburgo, Alemania)	N/A	60,000	1,350,000
***Umicore* (Hoboken, Bélgica)**	27,000	40,000	900,000

Fuente: (Namias, 2013).

En la Tabla 4.5 Se puede observar cómo se lleva a cabo generalmente un proceso Pirometalúrgicos.

Tabla 4.5 Descripción de las etapas de un Proceso Pirometalúrgico.

Etapa	Descripción
Etapa de fundición	Una vez que lleva a cabo todo el pretratamiento requerido para los residuos electrónicos, éstos se colocan en un fundidor, que trabaja a temperaturas muy elevadas, que produce una solución de cobre con sulfuro de hierro (llamada mate), mientras el hierro y otros óxidos forman una solución conocida como escoria. Los metales preciosos están contenidos en la solución mate, la cual es llevada a la etapa de conversión.
Etapa de conversión	La solución mate se lleva entonces a un convertidor para obtener como producto principal una solución de cobre impuro, conocida como “cobre blister”.
Horno anódico	El cobre blister líquido es refinado dentro de hornos anódicos; primero es moldeado dentro de los ánodos que son posteriormente electrorefinados para obtener cobre puro.
Electrorrefinación	Los ánodos de cobre producidos en el horno anódico son refinados para producir cátodos de cobre puro y obtener metales preciosos como plata, oro, selenio y telurio en forma de precipitados al fondo de la celda de electrorrefinación.
Refinación de los metales preciosos	Los precipitados de metales preciosos son fundidos y refinados, con procesos más específicos para cada metal según sea requerido.

Fuente: (Cui & Zhang, 2008).

Sin embargo, se considera que este proceso es de uso intensivo de energía, alto costo y con requerimientos particulares en cuanto al grado de metales en la alimentación. Por otra parte, al fundir los retardantes de flama y el PVC que contienen los RAEE se propicia la formación de dioxinas, furanos, metales volátiles, por lo que se requiere de un control de emisiones. (Hagelüken, 2006).

No se pueden recuperar ciertos componentes como los chips o de las TCI, tampoco pueden recuperarse el aluminio y el hierro, debido a que se oxidan por lo que se debe utilizar el proceso hidrometalúrgico de manera subsecuente. (Namias, 2013).

4.5.2 PROCESO HIDROMETALÚRGICO

Este proceso se ha convertido en el más utilizado para el tratamiento de los residuos electrónicos, esto se debe a que los métodos que se utilizan son más exactos, predecibles y más controlables, que el proceso Pirometalúrgico. La hidrometalurgia puede separarse en tres áreas principales: la lixiviación, la concentración de soluciones y la purificación (recuperación de metales). (Kamberovic et al., 2011).

Dentro de los procesos hidrometalúrgicos, la cianuración, lixiviaciones ácidas y básicas son algunas de las alternativas de recuperación de oro, plata y cobre de los residuos electrónicos. Un proceso hidrometalúrgico cubre la extracción y recuperación de metales usando soluciones líquidas, acuosas y orgánicas. (Montero, 2012).

A diferencia de los procesos pirometalúrgicos, los procesos hidrometalúrgicos son de bajo costo de capital y de reducido impacto ambiental (por ejemplo, no generan gases peligrosos o polvo), la alta recuperación de metales hacen que el proceso se pueda realizar a pequeña escala. (Yazici & Deveci, 2009).

Un proceso hidrometalúrgico implica un pretratamiento mecánico de los residuos, la lixiviación de metales mediante un agente adecuado y la recuperación del metal. Puesto que los elementos metálicos están cubiertos por diversos materiales, ya sean poliméricos o cerámicos, el pretratamiento necesario es la reducción de tamaño para exponer los metales de interés a la acción de la lixiviación y por lo tanto facilitar su extracción. (Yoo et al., 2009).

En la Tabla 4.6 se puede observar cómo se lleva a cabo generalmente un proceso hidrometalúrgico. (Kamberovic et al., 2011).

Tabla 4.6 Descripción de un proceso hidrometalúrgico.

Etapa	Descripción
Tratamiento mecánico	Antes del tratamiento químico, es necesario un tratamiento mecánico con la finalidad de convertir los residuos electrónicos en materiales granulares (reducción del tamaño).
Lixiviación	Los residuos son sometidos a una serie de soluciones ácidas, donde los componentes solubles son extraídos de los sólidos que se forman a través de un solvente. Las soluciones más eficientes para la lixiviación son las ácidas, debido a la eficiencia con la que separan los metales preciosos y menores.
Separación y purificación	Las soluciones lixiviadas son enviadas a los proceso de separación y purificación para concentrar los metales valiosos y eliminar impurezas.
Recuperación de metales preciosos	Se realiza a través de la electrorrefinación, reducción química o cristalización.

Fuente: (Kamberovic et al., 2011).

En la etapa de lixiviación las soluciones de cianuro, de haluro, de tiourea y de tiosulfato son las más utilizadas en este proceso; para cada metal que se requiera separar existe una solución óptima para su lixiviación. Para metales se usa ácido nítrico; metales menores o básicos: ácido nítrico; cobre, ácido sulfúrico o agua regia; oro y plata: tiourea o cianuro; paladio: ácido clorhídrico y clorato de sodio. (Khaliq et al., 2014).

Las soluciones de cianuro, agua regia, tiourea y tiosulfato son corrosivas, e incluso tóxicas, por lo que requieren de un tratamiento especial al momento de su disposición. Aunque utilizar la solución de cianuro como agente lixiviante representa el método más económico, es también el más peligroso debido a la alta toxicidad del cianuro. (Cui & Zhang, 2008).

Sin embargo, existen algunas características que limitan la aplicación de esta tecnología a escala industrial. (Khaliq et al., 2014):

- Todas las reacciones hidrometalúrgicas son lentas y consumen tiempo que repercute en la economía de la recuperación de los metales.
- El tratamiento mecánico que se necesita para disminuir su tamaño de partícula también consume demasiado tiempo, si se quiere tener una eficiencia mayor.
- El cianuro es una sustancia peligrosa que al convertirse en residuo debe tratarse con las medidas de seguridad más elevadas, puesto que puede producir contaminación irreparable en ríos y agua de mar.
- Los halogenuros como agentes lixiviantes son muy complicados de manejar debido a sus propiedades, altamente corrosivo y oxidante.
- El uso de tiourea como lixiviante para la extracción de oro es limitado por su elevado costo y consumo.
- Existe el riesgo de que se pierdan cantidades de los metales durante la disolución.

CAPÍTULO 5. DAÑOS A LA SALUD Y AL AMBIENTE DE LOS COMPONENTES QUE SE ENCUENTRAN EN LAS TARJETAS DE LOS TELÉFONOS CELULARES

Las sustancias tóxicas presentes en los teléfonos celulares, provocan que estos dispositivos tengan un impacto negativo a la salud y al ambiente por la contaminación que producen cuando la disposición final es inadecuada. (Lim & Schoenung, 2010).

El mal manejo de los teléfonos celulares (vertidos a cielo abierto, utilizados en rellenos sanitarios o incinerados) en países que no cuentan con una legislación al respecto, contribuyen en gran medida a la contaminación de suelos y cuerpos de agua debido a la lixiviación de los metales presentes en los dispositivos móviles, mientras que la incineración sin control de estos desechos genera la contaminación del aire al liberarse dioxinas, furanos, hidrocarburos policíclicos aromáticos y compuestos orgánicos polibromados. (Lincoln et al., 2007).

La salud humana se ve afectada ya que la mayoría de las sustancias tóxicas presentes en los teléfonos celulares son persistentes, bioacumulables y pueden provocar cáncer, problemas reproductivos, cardiovasculares, renales, inmunológicos y neurológicos. (Nnorom & Osibanjo, 2009).

En la Tabla 5.1 se puede observar los componentes primarios, componentes secundarios y microcomponentes de los teléfonos móviles (no todas las sustancias se utilizan en todos los teléfonos móviles ya que, por ejemplo, la batería puede ser de hidruro de níquel o de ion-litio, por lo que el total no suma el 100%).

Tabla 5.1 Sustancias Contenidas en los Teléfonos Celulares

Nombre de la sustancia	**Ubicación en el teléfono celular**	**% Porcentaje**
Plásticos	Carcasa, TCI	~40%
Vidrio, cerámica	Pantalla LCD, chips	~15%
Cobre (Cu), compuestos	TCI, cables, empalmes, incluyendo baterías	~17 %
Níquel (Ni), compuestos	Baterías NiCd o NMH	~10%
Hidróxido de potasio (KOH)	Baterías	~5%
Cobalto (Co)	Batería de ion-litio	~4%
Litio (Li)	Batería de ion-litio	~4%
Carbono (C)	Baterías	~4%
Aluminio (Al)	Carcasa, armazón, baterías	~3%
Acero (Fe)	Carcasa, armazón, cargador, baterías, TCI	~3%
Estaño (Sn)	TCI	~1%

Fuente: UNEP, 2006

5.1 CADMIO

El Cadmio (Cd) es un metal que se encuentra en la corteza terrestre, asociado con minerales de cinc, plomo y cobre. El cadmio puro es un metal blando de color plateado. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). El cloruro de cadmio y el sulfato de cadmio son solubles en agua. (Bandillo, 2005).

Los principales usos y aplicaciones del cadmio o sus compuestos son (Bandillo, 2005):

- Como pigmento en pinturas, esmaltes, plásticos, textiles, vidrios, tintas de impresión, caucho, lacas, etc.
- En aleación con cobre, aluminio y plata.
- En la producción de pilas de cadmio-níquel.
- Como estabilizador de termoplásticos, como el PVC.
- En fotografía, litografía y procesos de grabado.
- Como “endurecedor” de ruedas y llantas de automóvil.

Las principales fuentes de contaminación son: la minero metalurgia de metales no ferrosos, la metalurgia del hierro y acero, la fabricación de fertilizantes fosfatados, la incineración de residuos de carbón o “plásticos” y las aplicaciones industriales de cadmio. (Tchounwou, 2014)

El Cd puede ser transportado en la atmósfera largas distancias para ser depositado ya sea húmedo o seco sobre la superficie del suelo o del agua, la inhalación no es una ruta importante de exposición al Cd, excepto para personas que viven cerca de industrias que lo liberan. (Pérez & Azcona, 2012).

Una ruta importante de exposición es a través de inhalación o de la ingestión. La exposición se puede controlar mediante el uso de equipo de protección personal, buenas prácticas de higiene industrial, y el control y la reducción de las emisiones de cadmio. (UNEP, 2006). La exposición al cadmio ocurre mediante las siguientes actividades (UNEP, 2010):

- Comiendo alimentos que contienen cadmio; todos los alimentos contienen niveles bajos (los niveles más altos se encuentran en hojas de verduras, granos, legumbres y riñón).
- Fumando cigarrillos o respirando humo de cigarrillo.
- Respirando aire contaminado en el trabajo.
- Bebiendo agua contaminada.
- Viviendo cerca de plantas industriales que liberan cadmio al aire.

Efectos sobre la salud

Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco después de la exposición al cadmio (NJDH, 2009):

El contacto puede irritar la piel y los ojos. (ATSDR, 2012).

- La exposición al cadmio podría causar fiebre por humos metálicos. Ésta enfermedad es similar a la influenza con síntomas de sabor metálico, dolor de cabeza, fiebre, escalofríos, dolores, opresión en el pecho, tos, náuseas, vómito, diarrea y dolor abdominal.
- La inhalación de cadmio puede irritar los pulmones, causando tos o falta de aire. La exposición más alta podría causar un edema pulmonar, lo que constituye una emergencia médica caracterizada por acumulación de líquido en los pulmones e intensa falta de aire.

Efectos crónicos sobre la salud

Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir tiempo después de la exposición y pueden durar meses o años. (Staessen et al., 2000):

- Puede causar cáncer de pulmón y próstata.
- Probable teratógeno humano.
- Puede causar daño al aparato reproductor masculino (testículos) y afectar al ciclo reproductor femenino.

El cadmio se puede medir en la sangre, la orina, el cabello o las uñas. Se ha demostrado que el cadmio en la orina refleja fielmente la cantidad de cadmio en el cuerpo. La cantidad de cadmio en la sangre refleja exposiciones recientes a cadmio. La cantidad de cadmio en la orina refleja tanto la exposición reciente como exposiciones en el pasado. (ATSDR, 2012).

5.2 COBALTO

El cobalto (Co) es un metal dúctil gris plateado. Se usa en aleaciones de acero, motores de reacción, tecnología nuclear, abrasivos y herramientas de carburo cementado. El cobalto tiene varios isótopos radiactivos artificiales, entre los cuales el más importante es el ^{60}Co. Este emite radiaciones beta y gama y se

usa en terapia por radiación, indicadores de nivel e investigaciones. El Co es un elemento natural que se encuentra en las rocas, el suelo, en el agua, en plantas y animales. (ATSDR, 2016).

El cobalto puede entrar al ambiente desde fuentes naturales como (NJDH, 2005):

- Durante la producción de aleaciones de cobalto.
- Puede entrar a aguas superficiales en agua de escorrentía producida por lluvia que cae sobre suelo o rocas que contienen cobalto.
- El cobalto liberado al agua o al suelo se adherirá a partículas.
- El cobalto no puede ser destruido del ambiente. Solamente puede cambiar de forma o adherirse o separarse de partículas. El decaimiento radiactivo es una manera de disminuir la cantidad de cobalto.

El cobalto se usa para producir (Albiano, 2011):

- Aleaciones usadas en la manufactura de motores de aviones, imanes, herramientas para triturar y cortar y articulaciones artificiales para la rodilla y la cadera.
- Compuestos de cobalto se usan también para colorear vidrio, cerámicas y pinturas.
- Secador de esmaltes y pinturas para porcelana.
- Esterilizar equipo médico y artículos de consumo.
- En radioterapia para pacientes con cáncer.
- Para fabricar plásticos.

La exposición al cobalto ocurre mediante las siguientes actividades (Albiano, 2011):

- Por inhalación, ingestión. Los alimentos y el agua potable son las fuentes principales de exposición al cobalto para la población general.
- Trabajar en industrias que fabrican o usan herramientas para cortar, triturar o procesar materiales que contengan cobalto.

- La población general raramente se expone al cobalto radiactivo, a menos que una persona esté recibiendo radioterapia. Sin embargo, los trabajadores en plantas nucleares, facilidades de irradiación o sitios que almacenan residuos nucleares pueden estar expuestos a radiación desde estas fuentes.

Efectos sobre la salud

Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco tiempo después de la exposición al cobalto. (Lopes, 2003):

- Irritar la piel, ojos, nariz y garganta.

Efectos crónicos sobre la salud

Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir tiempo después de la exposición al cobalto y pueden durar meses o años (Lopes, 2003):

- Puede ser un carcinógeno humano.
- Dañar el aparato reproductivo masculino (incluida una disminución en la cantidad de esperma) y afectar la fertilidad de animales machos.
- Alergia en la piel. La exposición posterior muy baja puede causar picazón y salpullido.
- Puede causar ataques asmáticos, con falta de aire, respiración con silbido, tos u opresión en el pecho.
- Afectar al corazón, la tiroides, el hígado y al riñón.
- La muerte.

La mayor parte de lo que se sabe acerca de la toxicidad del cobalto está basado en estudios con animales. El Co tiene efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud de seres humanos y es esencial para el crecimiento y desarrollo de algunos animales como las vacas y las ovejas. (Lopes, 2003).

5.3 COBRE

El cobre (Cu), es un metal inodoro de color marrón rojizo. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas y físicas, así como su abundancia. El Cu se utiliza en cableado eléctrico, plomería, en aleaciones y revestimientos protectores de otros metales, en insecticidas, fungicidas y herbicidas. El cobre se encuentra normalmente en todo el cuerpo: en el cabello, las uñas, la sangre, la orina, las heces, y en otros tejidos. (Ruiz, 2005).

La exposición al cobre ocurre mediante las siguientes actividades (NJDH, 2008):

- Respirar aire.
- Tomar agua.
- Comer alimentos.
- Por contacto de la piel.
- Partículas o compuestos que lo contengan.
- Al trabajar en minas de cobre.
- Al pulverizar metales que lo contengan.
- Al vivir cerca de una mina de cobre o de una fábrica de latón o bronce.

Efectos sobre la salud

El cobre en bajos niveles es esencial para mantener buena salud. En niveles altos, el cobre puede producir efectos nocivos como por ejemplo (NJDH, 2008):

- El contacto puede irritar y quemar la piel y los ojos.
- Al inhalarlo puede irritar la nariz y la garganta.
- Puede causar dolor de cabeza, náusea, vómitos, diarrea y dolor abdominal.
- Puede causar alergia en la piel, afectar al hígado y al riñón.

Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir tiempo después de la exposición al cobre y pueden durar meses o años. (Arnal, 2010).

- Aunque se ha sometido el cobre a pruebas, no se puede clasificar su potencial de causar cáncer.
- El cobre podría disminuir la fertilidad en hombres y mujeres.

Efectos ambientales del Cobre

El Cobre puede ser liberado en el ambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Ejemplo de fuentes naturales son las tormentas de polvo, descomposición de la vegetación, incendios forestales y aerosoles marinos. Otros ejemplos son la minería, la producción de metal y la producción de fertilizantes. (Ruiz, 2005).

Cuando el Cu termina en el suelo, es fuertemente atado a la materia orgánica y minerales. Como resultado éste no viaja muy lejos antes de ser liberado y es difícil que entre en el agua subterránea. En el agua superficial el cobre puede viajar largas distancias, tanto suspendido sobre las partículas de lodos como iones libres. (ATSDR, 2016).

El Cu se puede acumular en plantas y animales cuando este es encontrado en suelos. En suelos ricos en Cobre sólo un número pequeño de plantas pueden vivir, por esta razón no hay diversidad de plantas cerca de las fábricas de Cu, debido al efecto del Cobre sobre las plantas. La manera más probable de exponerse al Cu es a través del agua potable, especialmente si el agua es corrosiva y al tener tuberías de cobre en los hogares. (Ruiz, 2005).

5.4 COMPUESTOS BFR (RETARDANTES DE LLAMA BROMADOS)

Los retardantes de llama bromados (BFR, por sus siglas en inglés), son mezclas de sustancias químicas artificiales que se añaden a una amplia variedad de productos para que sean menos inflamables. Suelen utilizarse en textiles y material eléctrico y electrónico, en las TCI y carcasas plásticas, no se descomponen fácilmente y son acumulables. (ACSA, 2014).

Los retardantes de llama bromados son un grupo diverso de sustancias, incluyen éteres difenílicos aromáticos, cíclicos alifáticos, derivados fenólicos, alifáticos, derivados de anhídrido ftálico y otros. Su mayor característica es que son usados para retardar el inicio del fuego, y que todos contienen bromo en su composición. (OSPAR Commission, 2001).

Se usan como componentes en una gran variedad de polímeros, como espumas de poliestireno, poliestireno, y resinas expoxídicas. Estos polímeros se usan luego en una gran variedad de productos de consumo, incluyendo

ordenadores, equipamiento eléctrico y electrónico, televisiones, textiles, espumas para muebles, espumas aislantes y otros materiales de construcción. (OSPAR Commission, 2001).

Hoy en día, existen más de 175 tipos diferentes de retardantes de llama, que son generalmente divididos en clases que incluyen los orgánicos halogenados (normalmente bromados o clorados), los que contienen fósforo, nitrógeno, y los retardantes de llama inorgánicos. Los BFRs representan actualmente el grupo de mayor importancia, debido a su bajo costo y alta eficiencia. (Birnbaum et. al., 2004).

Los BFRs pueden actuar de dos formas: previniendo el inicio del fuego, o previniendo la expansión del fuego (US EPA 2005):

- La susceptibilidad de ignición de un producto es rebajada, ya que el retardante incrementa la capacidad calorífica neta, la capacidad de un cuerpo para almacenar calor.
- Una vez que el fuego ha comenzado, estos compuestos pueden reducir la tendencia del fuego a extenderse, creando una capa gaseosa no combustible a lo largo del borde del fuego.

Los BFRs, en general, pueden incorporarse a un material ya sea como componentes activos o bien como aditivos. Los componentes activos se integran a la estructura polimérica de algunos tipos de plásticos. Esta modalidad es la preferida, ya que produce materiales más estables y con propiedades uniformes. Los aditivos, por otra parte, son más económicos y versátiles, aunque presentan el inconveniente de modificar las propiedades de los materiales de base. (Barrera et al., 2007).

Se puede clasificar de acuerdo con sus usos (ACSA, 2014):

- Éteres difenílicos polibromados (PBDE): utilizados en plásticos, textiles, TCI.
- Hexabromociclododecanos (HBCDD): utilizados como aislamiento térmico en la industria de la construcción.
- Tetrabromobisfenol A (TBBPA) y otros fenoles: utilizados en TCI, termoplásticos (principalmente en televisores).

- Bifeniles polibromados (PBB): utilizados en aparatos de consumo, textiles, espumas plásticas.
- Otros retardantes de llama bromados. Estas clases de BFR han sido comercializadas como mezclas técnicas bajo distintas marcas comerciales constituidas por diferentes compuestos químicos dentro de cada clase.

LOS ÉTERES DIFENÍLICOS POLIBROMADOS

Por sus siglas en inglés (PBDE), son sustancias químicas ignífugas fabricadas, que se emplean en muchos productos de consumo para aumentar su resistencia al fuego. Los productos tratados con PBDE se usan en la casa, las empresas y el sector de transporte. Pertenecen a una clase más amplia de sustancias químicas bromadas que se utilizan como ignífugos. (Kalantzi, 2011).

No hay información definitiva sobre los efectos de los PBDE para la salud. Los análisis toxicológicos indican que pueden ser tóxicos para el hígado y la tiroides y afectar el desarrollo neurológico. (Tox Town, 2015).

HEXABROMOCICLODODECANOS (HBCDD)

Es una sustancia sólida blanca que se utiliza como aditivo pirorretardante por sí sola o en combinación con otros. Se emplea principalmente en el poliestireno expandido y extruido para planchas aislantes en edificios y vehículos, en los revestimientos textiles y en el poliestireno para AEE. (CNRCOP, 2004).

El HBCD es muy tóxico para los organismos acuáticos y puede afectar el funcionamiento del sistema tiroideo y del hígado. También existen indicaciones de sus efectos sobre la fertilidad y la neurotoxicidad del desarrollo en mamíferos. El HBCD puede transferirse de madre a hijo durante la gestación mediante la sangre, y después del parto, a través de la lactancia. (CNRCOP, 2004).

TETRABROMOBISFENOL A (TBBPA)

El TBBPA es un compuesto sólido con un contenido de 59% de bromo. Tiene un punto de fusión de 180 °C, un punto de ebullición de 316 °C, tiene una alta afinidad por la materia orgánica del suelo. (Chairman, 2005).

El TBBPA comercial es un retardante de flama utilizado en todo el mundo y tiene una demanda de cerca de 60,000 toneladas anuales. Esta sustancia se utiliza como reactivo o como aditivo retardante de flamas en polímeros, como el ABS, y las resinas epóxicas y policarbonadas, poliestiren, resinas fenólicas, adhesivos y otros. (Barrera et al., 2007).

La molécula del TBBPA se adhiere covalentemente al plástico, por lo cual se utiliza en las TCI. En todo el mundo se estima una producción de 50,000 ton/año. (Barrera et al., 2007).

El TBBPA se degrada parcialmente bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en suelo, sedimentos y agua. Según el tipo de suelo, humedad y composición. No se dispone de datos sobre los derivados del TBBPA ni sobre su toxicidad; por lo tanto, no se ha realizado una evaluación del riesgo de estos compuestos. (Harju et al., 2008).

BIFENILOS POLIBROMADOS (PBB)

Son hidrocarburos bromados con estructura similar a la de los bifenilos policlorados (PCB) pero con la diferencia de que pueden contar con átomos de bromo en la estructura del bifenilo. Las mezclas de PBB se han utilizado como retardantes de flama en plásticos, equipos de televisión y otras aplicaciones electrónicas. (Newman, 2003).

El riesgo para la población a la exposición a PBB a través de los alimentos es irrelevante. Además las concentraciones ambientales son bajas y en descenso. Son compuestos de baja prioridad para la monitorización y/o investigaciones futuras. (Harju, et al., 2008).

Dentro de estas sustancias se cuentan algunas de las que más preocupan hoy en día a la comunidad científica por su toxicidad, alta persistencia y capacidad de difundirse en el ambiente, contaminan la cadena alimenticia. Son detectados

en la mayoría de los cuerpos humanos (sangre, grasa, hígado, leche materna, fetos), a los que pueden haber llegado a través de diferentes vías entre las que se cuenta la inhalación. (ATSDR, 2016).

La exposición persistente a estos compuestos puede conducir a problemas en las personas de aprendizaje y memoria, puede interferir con la tiroides y con el sistema hormonal del estrógeno. (Nudelman, 2014).

Puede producir dificultades en las mujeres para ser fecundadas, efectos serios en el desarrollo de los niños, como un mayor riesgo que los niños tengan criptorquidia (una anomalía genital en la que los testículos de los niños no descienden de la cavidad abdominal). (Vuong et al., 2015).

Sobre animales, cultivos celulares o personas han mostrado la posible asociación con problemas en los riñones, el hígado (incluido el cáncer hepático), supresión de la inmunidad, etc. (Nudelman, 2014).

Alrededor del 90% de las TCI, contienen BFRs, y considerando el crecimiento exponencial en ventas de AEE desde los años 80, la demanda de BFRs creció sustancialmente. (Janssen, 2005).

La Unión Europea ha dictado normas para reducir la presencia de algunas de estas sustancias. También varias de ellas han sido han sido incluidas en el Convenio de Estocolmo sobre COP a fin de reducir su presencia. A consecuencia de estas y otras medidas algunos retardantes de llama identificados como conflictivos están siendo sustituidos por otras sustancias pero, al margen de que muchos productos que los contengan pueden seguir presentes en los hogares y de su alta persistencia, no es infrecuente que algunas de las sustancias de sustitución acaben también siendo identificadas como problemáticas. (Barrera et al., 2007).

5.5 CROMO

El cromo (Cr) es un sólido duro, gris, inodoro, con un brillo metálico. Se utiliza en aceros inoxidables y de aleación, en la producción de aleaciones y como isótopo en medicina e investigación. (NJDH, 2009).

Se encuentra en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en varias formas diferentes. Dependiendo de la forma que toma, puede encontrarse en

forma de líquido, sólido o gas. Las formas más comunes son el cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). Los compuestos de cromo no tienen ningún sabor u olor especial. (ATSDR, 2010).

El Cr metálico es la forma de cromo (0), se usa en la fabricación de acero. El cromo (VI) y el cromo (III) se usan en cromado, colorantes y pigmentos, curtido de cuero y preservación de madera. (Wilbur, 2008).

El cromo puede entrar al ambiente desde fuentes como (CSEM, 2011):

- Industrias que lo usan o lo manufacturan.
- Sitios de desechos peligrosos que lo contengan.
- Humo de cigarrillo

Efectos sobre la salud

Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco después de la exposición al cromo. (ATSDR, 2010):

- El contacto puede irritar y quemar la piel y los ojos con la posibilidad de daño ocular.
- La inhalación puede irritar la nariz y la garganta, causando tos y respiración con silbido.
- La exposición a los humos de cromo puede causar fiebre por humos metálicos. Esta enfermedad es similar a la influenza con síntomas de sabor metálico, dolor de cabeza, fiebre, escalofríos, dolores, opresión en el pecho y tos.

Después de la exposición, los síntomas podrían tardar varias horas en aparecer, y generalmente duran uno o dos días. (NJDH, 2009).

El problema de salud más común que ocurre en trabajadores expuestos al cromo involucra a las vías respiratorias. Estos efectos incluyen irritación del revestimiento interno de la nariz, úlceras nasales, secreción nasal y problemas respiratorios tales como asma, tos, falta de aliento o respiración jadeada. (DoveMed, 2016).

El efecto principal que se observa en animales que ingieren compuestos de cromo (VI), es irritación, úlceras en el estómago y en el intestino delgado además de anemia. Los compuestos de cromo (III) son mucho menos tóxicos y no parecen causar estos problemas. (Abadin et al., 2008).

El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo (VI) puede producir úlceras en la piel. Algunas personas son muy sensibles al cromo (VI) y cromo (III). En algunas personas se han descrito reacciones alérgicas que se manifiestan como enrojecimiento e hinchazón grave de la piel. En animales de laboratorio machos expuestos al cromo (VI) también se han observado daño de los espermatozoides y del sistema reproductivo. (Singh et al., 2013).

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), han determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos. En animales de laboratorio, los compuestos de cromo (VI) han producido tumores del estómago, los intestinos y el pulmón. (DoveMed, 2016).

La Administración de Drogas y Alimentos (FDA) ha determinado que los niveles de Cr en el agua en botella no deben exceder 0.1 mg/L. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido límites legales en el aire del trabajo de 0.005 mg/m^3 para cromo (VI), 0.5 mg/m^3 para cromo (III) y 1.0 mg/m^3 para cromo (0) como promedios durante una jornada diaria de 8 horas. (NJDH, 2009).

5.6 CROMO HEXAVALENTE

El cromo hexavalente es una forma química del metal cromo. Tiene usos como inhibidor de corrosión y protección de endurecimiento también a la corrosión en cubiertas metálicas. El cromo hexavalente es mucho más reactivo y soluble en agua que otras formas de cromo, lo que lo hace más móvil en este medio. (Mukherjee 1998).

La incineración de los desechos que contienen cromo puede causar liberaciones a la atmósfera y generan cenizas que contiene cromo hexavalente. (Allsopp et al., 2001).

El cromo hexavalente es altamente tóxico aún a bajas concentraciones y en algunos casos cancerígenos, también es corrosivo y puede causar fácilmente reacciones alérgicas de la piel después de contacto, independiente de la cantidad. Daños en el riñón y el hígado. Además, la exposición al cromo hexavalente se ha asociado con cáncer de pulmón, clasificando los compuestos de cromo hexavalente como carcinógenos. (ATSDR 2000).

Se ha restringido el uso de determinadas sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos, en el caso del cromo hexavalente no pueden contener una concentración superior al 0,1% en peso a partir del 01 de julio de 2006. (ATSDR 2000).

5.7 MERCURIO

El mercurio (Hg), es el único metal en la tierra que es líquido a temperatura ambiente. El Hg se caracteriza por ser un líquido brillante, de color plata-blanco, inodoro, mucho más pesado que el agua. El mercurio metálico se utiliza en: (Morales & Reyes, 2003).

- Termómetros.
- Barómetros.
- Esfigmomanómetros (instrumentos empleados para medir la presión arterial).
- Termostatos de pared para la calefacción y el aire acondicionado.
- Bombillas.
- Tubos fluorescentes.
- Baterías.

El mercurio metálico es la forma de mercurio que muchos adultos recuerdan haber frotado en monedas para sacarles brillo cuando eran niños; y es debido a esta práctica que muchas personas no se dan cuenta del peligro verdadero de estar expuesto al mercurio metálico. (Español, 2001).

Aproximadamente el 80% del mercurio que es liberado por actividades humanas es mercurio elemental liberado al aire, principalmente como consecuencia del uso de combustibles fósiles, la minería, fundiciones y de incineraciones de desechos sólidos. (ATSDR, 2010).

Cerca del 15% del total se libera al suelo y proviene de abonos, fungicidas y desecho sólido municipal (por ejemplo, de basura que contiene baterías, interruptores eléctricos o termómetros). Un 5% adicional es liberado al agua desde aguas residuales de industrias. (Español, 2001).

Las fuentes antropogénicas son varias; la utilización del mercurio como fungicida, herbicida y conservante de semillas en agricultura; las papeleras, la industria electroquímica, su uso en pinturas y pilas, la industria de los catalizadores, la combustión de carbones, los vertidos industriales y por las alcantarillas, son las más importantes. (Doadrio, 2004).

El mercurio también puede incorporarse al agua o al suelo a través de (NJDH) (2009):

- La erosión de rocas que contienen mercurio.
- De fábricas.
- Termómetros.
- Interruptores eléctricos.
- Baterías.

El Hg puede entrar a los alimentos y acumularse en la cadena alimenticia. En forma de metilmercurio. Cuando peces pequeños ingieren metilmercurio en sus alimentos, el mercurio pasa a sus tejidos. Cuando peces más grandes se comen a los peces pequeños o a otros organismos que contienen metilmercurio, la mayor parte del metilmercurio que se encontraba originalmente en el pez pequeño se acumulará en el cuerpo del pez más grande. (Español, 2001).

Como resultado, los peces de mayor tamaño y de más edad que habitan aguas contaminadas acumulan las cantidades más altas de metilmercurio en sus cuerpos. Los peces de agua salada (especialmente tiburones y pez espada) que viven muchos años y que pueden alcanzar un tamaño muy grande tienden a tener los niveles de mercurio más altos en sus cuerpos. (Español, 2001).

El maíz, trigo y guisantes tienen niveles de mercurio muy bajos, aun cuando se cultiven en suelos que tienen niveles de mercurio considerablemente más altos que los niveles normales. Sin embargo, los hongos comestibles pueden acumular niveles altos si se cultivan en suelos contaminados. (Español, 2001).

Efectos en la salud

El mercurio elemental y el metilmercurio son tóxicos para el sistema nervioso central y el periférico. La inhalación de vapor de Hg puede ser perjudicial para los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo y los pulmones y riñones, con consecuencias a veces fatales. (OMS, 2016).

Tras la inhalación o ingestión de distintos compuestos de Hg o tras la exposición cutánea a ellos se pueden observar trastornos neurológicos, síntomas como temblores, insomnio, pérdida de memoria, efectos neuromusculares, cefalea o disfunciones cognitivas y motoras. En trabajadores expuestos durante varios años a niveles atmosféricos de al menos 20 $\mu g/m^3$ de Hg se pueden observar signos subclínicos leves de toxicidad para el sistema nervioso central. (OMS, 2016).

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) no han clasificado al Hg en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos. (NJDH, 2009).

5.8 NÍQUEL

El níquel (Ni) es un sólido metálico duro, plateado e inodoro que se utiliza en la fabricación del acero inoxidable, monedas y baterías alcalinas, como aleación y catalizador. El níquel ocupa el lugar número 24 en la lista de elementos más abundantes. En el ambiente se encuentra principalmente combinado con oxígeno o azufre en forma de óxidos o sulfuros. (NJDH, 2012).

Algunos de los metales con los cuales forma aleaciones el níquel son el hierro, cobre, cromo y zinc. Estas se usan para fabricar monedas y joyas y en la industria para fabricar artículos tales como válvulas e intercambiadores de calor. La mayor parte del níquel se usa para fabricar acero inoxidable. (Nordberg, 2005).

El níquel también se combina con muchos otros elementos tales como el cloro, azufre y oxígeno para formar compuestos que resultan solubles en agua y tienen un color verde característico. El níquel y sus compuestos no tienen ni olor ni sabor característico. Estos compuestos se usan para colorear cerámicas, fabricar baterías y como catalizadores. (Albiano, 2004).

El níquel puede entrar al ambiente desde fuentes como (NJDH, 2012):

- El níquel es liberado a la atmósfera por industrias que manufacturan o usan níquel, sus aleaciones o compuestos. Por plantas que queman petróleo o carbón.
- En el aire, se adhiere a pequeñas partículas de polvo que se depositan en el suelo o son removidas del aire, en la lluvia o la nieve.
- El níquel liberado en desagües industriales termina en el suelo o en el sedimento, en donde se adhiere fuertemente a partículas que contienen hierro o manganeso.

Efectos del Níquel sobre la salud

Los fumadores tienen un alto grado de exposición al níquel a través de sus pulmones. Los humanos pueden ser expuestos al níquel al respirar el aire, beber agua, comer comida o fumar cigarrillos. (Wilson, 2016).

Tanto el níquel metálico como sus compuestos son carcinogenéticos y tóxicos. La toma de altas cantidades de níquel tienen las siguientes consecuencias: elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata, mareos, fallos respiratorios, defectos de nacimiento, asma, bronquitis crónica y reacciones alérgicas como son erupciones cutáneas, mayormente de las joyas. (Diminich, 2013).

5.9 PLOMO

El plomo (Pb) es un metal gris plateado, blando y pesado. Se utiliza en la producción de baterías de acumuladores, municiones, revestimiento de cables, pigmentos, vidrio, cerámica vidriada, metales de fundición y soldaduras.

Tiene dos usos principales en productos de electrónica (Matthews 1996):

- El plomo metálico se utiliza en soldadura eléctrica sobre todo en TCI (comúnmente como una aleación con estaño).
- El óxido de plomo se utiliza en tubos de rayos catódicos (CRT) incorporado dentro del vidrio, un tipo de vidrio de soldadura utilizado para unir la placa frontal y secciones del embudo.

Efectos sobre la salud

El Pb es altamente tóxico para los seres humanos, animales y plantas. No tiene ninguna función bioquímica o nutritiva. (ATSDR, 2000).

Los efectos tóxicos del Pb son los mismos independientemente de si es ingerido o inhalado. En los seres humanos la exposición al plomo cuenta con una amplia gama de efectos que incluyen daño al sistema nervioso y sangre, impactos en los riñones y en la reproducción. Puede resultar perjudicial en discapacidad intelectual. (Canfield et al., 2003).

Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco después de la exposición al plomo (NJDH, 2009):

- El contacto puede irritar los ojos.
- El plomo puede causar dolor de cabeza, irritabilidad, memoria reducida, trastornos del sueño, y cambios de ánimo y personalidad.
- La exposición puede causar malestar estomacal, falta de apetito, debilidad y cansancio.

Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir tiempo después de la exposición al plomo y pueden durar meses o años (NJDH, 2009):

- El plomo es un probable carcinógeno humano. Existen indicios que el plomo y sus derivados pueden causar cáncer de pulmón, estómago, cerebro y riñón en humanos y se ha demostrado que causan cáncer de riñón en animales.
- Puede llegar a ser un teratógeno en humanos ya que lo es en animales.
- Podría disminuir la fertilidad masculina y femenina y causar daño al feto en desarrollo y a los testículos (glándulas reproductoras masculinas).

La exposición al plomo es acumulativa y sus efectos parecen ser irreversibles. Similares efectos se observan en los animales, además de ser tóxico para toda la vida acuática. (Bellinger & Dietrich, 1994).

5.10 POLICLORURO DE VINILO (PVC)

El cloruro de polivinilo o PVC es un termoplástico clorado que representa una enorme fuente de sustancias contaminantes para el ambiente. Se encuentra en las recubiertas de los cables de los AEE formando más del 90% de los mismos. En el momento de la fabricación del PVC o cuando éste es quemado, libera dioxinas y furanos clorados. Estas sustancias son tóxicas en bajas concentraciones, se bioacumulan en los tejidos y son persistentes en el ambiente. (Greenpeace, 2009).

El PVC se usa para fabricar una variedad de productos de plástico, entre los que se incluyen. (Mannise, 2011):

- Cañerías.
- Revestimientos de alambres y cables y materiales para empaque.
- Tapices de muebles y automóviles.
- Cubiertas de murallas.
- Artículos para el hogar y partes para automóviles.

Cuando los productos de PVC son residuos, si acaban en un vertedero, los aditivos que contienen contaminan el suelo y las aguas subterráneas, si se queman, forman sustancias organocloradas, incluyendo dioxinas, que se emiten al ambiente. (Mannise, 2011).

Efectos sobre la salud

El PVC está ligado a la formación y emisión de grandes cantidades de dioxinas, las sustancias sintéticas más tóxicas que se conocen. Las dioxinas son sustancias cancerígenas, disminuyen las defensas del organismo al dañar el sistema inmunológico y alteran el sistema hormonal, que es un sistema complejo de mensajeros químicos que tiene nuestro organismo para regular funciones vitales como la reproducción, el desarrollo y el crecimiento. Las dioxinas afectan especialmente a los fetos y a los bebés lactantes quienes las ingieren a través de la leche materna. (Mannise, 2011).

CAPÍTULO 6. PROPUESTA PARA EL MANEJO Y DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE APARATOS ELECTRÓNICOS PRINCIPALMENTE TELÉFONOS CELULARES

6.1 SITUACIÓN DE LOS TELÉFONOS CELULARES EN MÉXICO

En México la cultura de reciclaje es muy pobre, por lo que es importante impulsar propuestas orientadas a promover el reúso de la basura electrónica y tratar de que las empresas que producen los aparatos electrónicos asuman la responsabilidad de hacerse cargo de sus productos cuando sean desechados por el usuario, creando sitios de acopio para estos aparatos. (Benítez et al., 2010).

México genera alrededor de 350 mil toneladas de RAEE cada año. De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en 2006 el país generó 257 mil toneladas de residuos eléctricos y electrónicos; en 2010, 300 mil; y en 2014 se alcanzaron las 358 mil toneladas. (Mendoza, 2015).

Actualmente, México recicla apenas el 10 por ciento de sus desechos; el 40 por ciento permanece almacenado en casas habitación, oficinas o bodegas y cerca de 50 por ciento llega a rellenos sanitarios o tiraderos no controlados. (Benítez et al., 2010).

Por lo que se debe de implementar un programa exclusivo para el manejo de los RAEE, no sólo como una alternativa para el tratamiento final de los RAEE, sino como una nueva fuente para la obtención de materia prima como son los metales preciosos, en el cual, se defina el alcance de las responsabilidades de cada actor tomando como base la responsabilidad compartida, es decir desde productores, importadores, consumidores, responsables del manejo, gobierno, sociedad, entre otros. (Pérez-Belis et al., 2014).

6.2 PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS DE MANEJO ESPECIAL TELÉFONOS CELULARES (PMR)

Diez empresas forman parte del Programa Verde de la Anatel (Alcatel ONE TOUCH, Belmont, HTC, AT&T, Microsoft México, Motorola Mobility, NEC, Samsung, Telcel Y Telefónica Movistar), tomando en cuenta que AT&T entró en el mercado mexicano y ampara marcas como Iusacell y Nextel.

En cumplimiento a la NOM-161-SEMARNAT-2011, La Asociación Nacional de Telecomunicaciones, A.C. (Anatel) presenta ante la SEMARNAT el Plan de Manejo de Residuos de Manejo Especial para Teléfonos Celulares (PMR). En dicho documento se estipula la colaboración entre las empresas líderes que operan redes de telecomunicaciones y los principales fabricantes de teléfonos celulares en el Programa Verde de la Anatel:

- Usuario. Los usuarios entregarán los teléfonos celulares después de su uso en contenedores colectores instalados en puntos determinados, u otros medios de acopio previamente establecidos conforme al programa.
- Acopio y Almacenamiento. A través de contenedores colectores situadas en puntos de venta/servicio o a través de cualquier otro canal de acopio que resulte adecuado. Entrega de los teléfonos celulares al agente logístico encargado de la siguiente etapa.
- Transporte. El traslado de los teléfonos celulares desde los puntos de acopio hasta los establecimientos para su reciclaje, las condiciones para el adecuado transporte y logística deberán asegurar el cumplimiento de la normatividad ambiental aplicable.
- Reciclaje y Destino. Mediante los procesos que permitan restituir su valor económico sin que sea perjudicial al ambiente, la salud de acuerdo con la normatividad ambiental vigente.
- Comunicación. Comercializadores y fabricantes colaborarán respecto a la comunicación de los canales y/o sitios de acopio y otros aspectos del programa.

6.3 SECTOR INFORMAL DE LOS RAEE EN MÉXICO

La recolección informal que realizan los llamados “cartoneros”, es una disposición manual en la cual participan, por lo general, tanto adultos como niños. Mediante un sistema de recorrido por las calles se revisan y recolectan las bolsas de residuos dispuestas en los domicilios, previos a que los camiones recolectores de las empresas antes mencionados las retiren. Generalmente, luego se lleva lo recolectado a los domicilios y se realiza allí una separación de los distintos materiales, entre ellos los residuos electrónicos, para luego ser vendidos a empresas recicladoras. Esta disposición se realiza sin ningún tipo de protección, capacitación o seguimiento por parte de las autoridades. (Tufró, 2010).

No obstante, el sector informal hace un trabajo insustituible: separa, clasifica, reúsa y aprovecha los recursos de valor, trabajando en condiciones deplorables, así como, exponerse a sustancias perjudiciales para su salud y para su entorno. (Wolfensberger, 2009).

Se puede indicar que la formalización las actividades informales en la gestión de residuos electrónicos tendría ventajas para toda la sociedad. Pero, por lo general siempre queda una fracción no aprovechable de residuos electrónicos. (Silva, 2009)

6.4 TRÁFICO ILÍCITO TRANSFRONTERIZO

Otro de los riesgos asociados a un inadecuado manejo de los desechos de los televisores analógicos es el envío ilegal a otros países, con los consecuentes daños al ambiente y a la salud; además del incumplimiento al Convenio de Basilea relacionado con el tráfico de los movimientos fronterizos de los desechos peligrosos. (SEMARNAT, 2015).

6.5 DISPOSICIÓN EN RELLENO SANITARIO

Los residuos electrónicos contribuyen a la aparición de efectos negativos ambientales en los rellenos sanitarios, dada la cantidad de metales pesados y sustancias halogenadas que lixivian y evaporan. Adicionalmente la variedad de sustancias contenidas en los mismos ejerce efectos sinérgicos, aumentando potencialmente y magnificando sus efectos negativos. (Fernández, 2007).

6.6 PROPUESTA PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DE TELÉFONOS CELULARES EN MÉXICO

Tomando como base el Programa Verde de la Asociación Nacional de Telecomunicaciones, A.C. (Anatel), se hace mención a la siguiente propuesta para dar solución al problema de los teléfonos celulares cuando estos llegan al final de su vida útil.

6.6.1 MECANISMOS DE DIFUSIÓN Y COMUNICACIÓN A LA SOCIEDAD EN GENERAL

Los participantes en el presente programa harán difusión de diferentes maneras, para que así se pueda involucrar la participación de la gente sin importar edad o sexo. Dando a conocer los efectos negativos que genera el manejo inadecuado de los AEE, es decir, como residuo convencional:

- Habrá una página de internet.

En la cual se difunda estadísticas, así como información respecto a la forma adecuada del reciclaje de su equipo, así como los sitios de acopio donde uno pueda dejar su celular u otro AEE.

En dicha página de internet se proporcionará información general relacionada con materiales y el aprovechamientos de los mismos, etc.

- Difusión en redes sociales, la radio y televisión.

Son medios que en la actualidad se han convertido en una fuerte herramienta de difusión, las cuales se utilizarán para que los usuarios hagan conciencia del riesgo que conlleva que sus AEE sean desechados de forma convencional.

- Anuncios en periódicos, facturas, tickets, recibos (agua, luz, renta, compras, estacionamiento, consumo de combustible, etc.)

Estos son algunos de los comprobantes que la gente llega a tener a diario, una ventaja de este medio es evitar la generación de más basura por lo que se pedirá la colaboración de los establecimientos que tengan que dar estos comprobantes de compra, en los cuales se haga una invitación a formar parte de este programa.

- Difusión a distribuidores, clientes y socios.

Los distribuidores de los equipos electrónicos deber formar parte de las campañas publicitarias de reciclaje. Informando a los compradores la importancia que tiene su participación al contribuir a que los equipos cuando lleguen al final de su vida útil reciban un tratamiento adecuado.

- Eventos específicos de reciclaje.

Se harán eventos de reciclaje en lugares concurridos para que la gente que no es usuaria de internet, se informe de la existencia de este programa, así como de los riesgos y beneficios que conlleva el reciclaje de sus aparatos.

- Difusión en empresas y sistemas de transporte concurridos (metrobus, tren ligero, metro).

Se colocarán anuncios informando la ubicación de los distintos centros de acopio de acuerdo a la zona en donde residan. Utilizando anuncios que puedan permanecer durante un tiempo prolongado en lugar de entregar folletos o algún otro similar a este. Ya que se ha visto que los folletos y volantes terminan arrojados al suelo.

- Difusión en escuelas.

Se impartirán pláticas a los estudiantes para que hagan conciencia del daño que genera el desechar de forma convencional los AEE al llegar al final de su vida útil.

6.6.2 RECOLECCIÓN (CENTROS DE ACOPIO)

Los centros de acopio deben de ser espacios amplios acondicionados de forma adecuada para el resguardo de dichos aparatos, es decir, cumpliendo con los lineamientos establecidos por la norma que los rige para este fin.

Los teléfonos celulares serán depositados en súper-sacos de dimensiones iguales y de fácil reconocimiento, los cuales deben disponer con un sistema de ruedas similares a la de los patines hidráulicos para su fácil manipulación además de contar con un sistema de etiquetado, donde como mínimo deberá anotarse la fecha, nombre del residuo, el área generadora, cantidad de volumen, medidas de seguridad. Esto es con la finalidad de llevar un control y

evitar el robo de estos aparatos con el fin de envíos ilegales a otros países con los consecuentes daños al ambiente y a la salud.

Además, se tendrá la posibilidad de poder dejar cualquier otro tipo de AEE, el personal que acopie los teléfonos celulares debe mantenerlos separados de otros residuos.

Los aparatos se recibirán siempre y cuando no presenten modificaciones, es decir, que hayan intentado quitarle piezas como la tarjeta de circuitos entre otras cosas.

Se deberá llevar una bitácora de entrada y salida de los contenedores, estos se ubicarán en los centros de acopio los cuales estarán distribuidos en puntos estratégicos de la ciudad que podrán ser:

- Instalaciones del gobierno municipal.
- Tiendas comerciales.
- Instituciones educativas.
- Carpas en las estaciones más concurridas del metro.
- Centros de distribución telefónica

El horario de los centros de acopio estará sujeto al horario de los puntos estratégicos ya mencionados a diferencia de las instalaciones independientes las cuales se propone que tengan un horario de 10:00 a 19:00 horas de Lunes a Sábado, pensado para las personas que no tienen hijos que llevar a una institución educativa o simplemente por la cercanía a sus hogares.

6.6.3 TRASPORTE Y TRASLADO

El transporte de dichos aparatos consiste en la utilización de sistemas de transporte de carga (camionetas de 3 ½ y thorton`s) los cuales deben cumplir con las normas sujetas para su traslado.

El periodo de recolección en general estará programado cada 15 días tentado a ser semanalmente mientras se vaya divulgando la existencia de este programa y aumente la participación de la gente o en su defecto en cuanto a las dimensiones de los aparatos recolectados.

Al llegar a su capacidad de carga estas unidades se dirigirán a un centro de confinamiento mayor a las dimensiones que de los centros de acopio o directamente a las plantas donde se lleve a cabo el tratamiento adecuado.

6.6.4 INCENTIVOS EN LOS CENTROS DE ACOPIO

Los programas de incentivos tienen por objeto otorgar reconocimientos por el buen desempeño, la participación y la difusión del programa que se está ejecutando. Es una forma de recompensar a las personas que participen en la recolección de los AEE.

Entre los incentivos que se otorgaran están contemplados (**):

- Artículos escolares (mochilas, plumas, libretas, lápices, colores, juegos de geometría, diccionarios, etc.).
- Artículos de cocina (Abrelatas, aceitera, bandejas, cacerolas, cucharas, cuchillos, escurridores, exprimidores, filtros, sartenes, vasos, etc).
- Artículos deportivos (Pelotas de fútbol americano, soccer, vóley, básquet, gorras, playeras, etc.).
- Juegos de destreza y habilidad mental (ajedrez, rompecabezas, scrabble, etc.).
- Artículos de trabajo (palas, picos, azadones, picoletas, seguetas, martillos, macetas, pinzas, etc.).

(**) Se consideró dar despensas, pero a la gente no le llama tanto la atención porque creen que son alimentos caducados o de mala calidad.

Los incentivos se otorgaran de acuerdo a la cantidad de equipos o al volumen que estos presenten, así se reciclaran cantidades mayores y se disminuirá al mismo tiempo las sustancias toxicas presentes en cuerpos de mayor volumen.

Otra forma de incentivo es el intercambio de estos equipos por:

- Composta
- Árboles (frutales, jardín, etc)
- Plantas
- Semillas
- Tierra para jardín

No se descarta esta forma de incentivo ya que existe gente que accedería a dejar sus equipos en desuso por este gran incentivo que tiene efectos positivos para el ambiente.

6.7 BENEFICIOS

Empresas mexicanas deberían de ser las encargadas de llevar el control total del proceso de reciclaje tanto de la disposición de los metales recuperados así como de los elementos que ya no tienen más que su disposición final.

El reciclaje de estos aparatos disminuye:

- Contaminación atmosférica.
- Contaminación de suelos.
- Contaminación de aguas subterráneas y superficiales.
- Disminución del impacto en el paisaje.
- La cantidad de equipos que son tratados de forma inadecuada.
- La extracción de recursos naturales y ahorro energético.

Además de que promueve la incorporación a un nuevo ciclo de producción de los materiales que son recuperados como los metales preciosos mencionados en capítulos anteriores. De esta manera disminuiría el capital que se invierte para la extracción de los recursos naturales lo que generaría un ahorro del capital, el cual se puede aprovechar para el mejoramiento de calles (que en México se encuentran en condiciones deplorables), puentes, autopistas, así como el otorgar becas, invertir en proyectos de investigación, para reforestar etc.

Esto generaría trabajo, sobre todo para aquellas personas que no tienen los estudios necesarios para conseguir un trabajo debido a falta de estudios.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

Inicialmente se revisó la información disponible en medios impresos y electrónicos a nivel nacional e internacional sobre los RAEE haciendo énfasis en los teléfonos celulares, encontrándose que son aparatos electrónicos que han llegado al final de su vida útil, lo que hoy en día es cada vez menor, lo que contribuye al aumento en la producción de estos aparatos lo cual repercute en la generación de la basura electrónica.

Posteriormente se revisó tanto la legislación nacional como la internacional sobre el manejo de los RAEE, identificando el riesgo de los componentes presentes en dichos aparatos principalmente en los teléfonos celulares, se encontraron regulaciones como el Convenio de Basilea, el cual busca reducir el volumen de los intercambios de residuos con el fin de proteger la salud humana y al ambiente, al igual que el Tratado de Estocolmo que tiene como objetivo proteger a la salud humana y al ambiente frente a los COP, así como promover las mejores prácticas y tecnologías disponibles para reemplazarlos tomando en cuenta las legislaciones.

Además se realizó una recopilación sobre la minería electrónica, hallando ésta como una alternativa económicamente viable para el manejo de los RAEE y la recuperación de metales preciosos presentes en dichos aparatos. Por otro lado, se propusieron alternativas para la implementación de la Minería Electrónica en México, con base a la información recopilada en las experiencias de países desarrollados en donde se emplea la pirometalurgia y la hidrometalurgia como métodos de tratamiento y recuperación de estos metales.

Asi mismo se recopiló la información sobre los daños a la salud y al ambiente que producen los componentes presentes en los RAEE especialmente de los teléfonos celulares con lo que se puede afirmar que el daño es irreversible por lo que se debe de tener un control sobre la disposición de estos equipos.

Finalmente se realizó una propuesta para el manejo y disposición de los RAEE principalmente para los teléfonos celulares concluyendo que hoy en día se está a tiempo para implementar las tecnologías que minimicen el impacto a la salud y al ambiente que produce la presencia de los componentes tóxicos que constituyen dichos aparatos.

7.1 RECOMENDACIONES

Se debe de hacer más conciencia sobre el uso y la disposición adecuada de los teléfonos celulares debido a que la producción y uso de los RAEE va en aumento, generando basura electrónica que se ha convertido en un problema en todo el mundo llegando a más de 40 millones de toneladas en el 2014, en los años (2015-2018) se espera una tasa de crecimiento promedio anual de 6,6% a nivel mundial.

En México no se cuenta con una legislación para el tratamiento de los RAEE, aunque se cuenta con la Ley General para el Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) que tienen como objetivo general garantizar el derecho de toda persona a tener un ambiente adecuado, propiciar el desarrollo sustentable, definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación, además de normas como la NOM-161-SEMARNAT-2011, que consideran a estos aparatos como residuos de manejo especial por lo que se sugiere una norma específica para los RAEE.

Utilizar medios de difusión como las redes sociales para brindar información acerca de los daños que ocasionan los componentes tóxicos presentes en los RAEE así como, la importancia que tiene el desechar estos aparatos de manera adecuada.

Se recomienda la capacitación de personas para la recolección y disposición de estos aparatos promoviendo oportunidades de trabajo.

Debido a la recolección insuficiente, a la disposición inadecuada de los RAEE, al no existir una legislación, a falta de tecnología y a los movimientos fronterizos, se debe hacer conciencia sobre el problema que contribuye el no realizar las prácticas adecuadas de estos aparatos.

REFERENCIAS

ACSA. (2014). Agència Catalana de Seguretat Alimentària. Riesgos emergentes. Retardantes de llama bromados. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de https://www.gencat.cat/salut/acsa/html/es/dir1599/ascabrief_2014_03_04_retardantes_de_llama_bromados_es.pdf

Admin. (2013)¿Qué es un teléfono habilitado para la Web? Recuperado el 10 de Junio de 2016, de http://www.bethdidit.com/bOeZor0W/

Aguilar, M. & Brizo, S. (2011) Telefonía Móvil. Recuperado el 12 de junio de 2016, de http://telefoniamoviltics.blogspot.mx/p/definicion.html

Albiano, N. (2004). Toxicología Laboral: Criterios para la vigilancia de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=524

Albiano, N. (2011). Toxicología Laboral. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://femif.com.ar/blog/gallery/1/Toxicologia_2011.pdf

Arnal, N. (2010). Intoxicación por cobre. Efectos sobre la composición lipídica y el sistema de defensa antioxidante. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.postgradofcm.edu.ar/ProduccionCientifica/TesisDoctorales/18.pdf

Asociación de Ciudades y Regiones para el Reciclaje y la Gestión Sostenible de los Recursos. (2007). Guía para la Gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de http://www.recycla.cl/assets/files/57f45846ea2dba3d4c276bdf4ae12f58.pdf

Asociación Nacional de Telecomunicaciones, A.C. (Anatel). (2013). Plan de manejo de residuos de manejo especial. Teléfonos celulares. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de http://www.anatel.org.mx/programaverde.pdf

ATSDR. (2010). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Chromium. Reseña Toxicológica del Cromo (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html

ATSDR. (2010). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Reseña Toxicológica del Mercurio (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_mercmetal5.html

ATSDR. (2012). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Reseña Toxicológica del Cadmio (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts5.html

ATSDR. (2016). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Reseña Toxicológica del Cobre (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts132.html

ATSDR. (2016). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Reseña Toxicológica del Cobalto (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud

y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts33.html

ATSDR. (2016). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/TP.asp?id=901&tid=183

Ávila Salazar, J. (2013). Reciclaje y afinación del oro a partir de chatarra electrónica. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de http://tesis.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/17028/1/25-1-16632.pdf

Bandillo, F. (2005) Cadmio Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/016750/016750-cadm.pdf

Barrera, J., Castro, J., & Gavilán, A. (2004). Los retardantes de flama polibromados ¿nuevas sustancias de prioridad ambiental? Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.redalyc.org/pdf/539/53907204.pdf

Basterretche, J. (2007) Dispositivos móviles. Recuperado el 09 de junio de 2016, de http://exa.unne.edu.ar/informatica/SO/tfbasterretche.pdf

Benítez, G., Rísquez, A., & Lara, M. (2010). La basura electrónica: computadoras, teléfonos celulares, televisiones. Recuperado el 24 de Agosto de 2016, de http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol23num1/articulos/basuras/index.HTML

Birnbaum, L. & Staskal, D. (2004). Brominated Flame Retardants: Cause for Concern? Environmental Health Perspectives. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241790/

Buitrago, C. (2010). Lineamientos Técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia_RAEE_MADS_2011-reducida.pdf

Calveyra, A. (2010). RE de los bienes del Estado. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de http://www.residuoselectronicos.net/archivos/documentos/tutorias2010/informe_calveyra2.pdf

Camacho, T. (2010). Toxicología laboral: peligros y riesgos. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.prevencionintegral.com/comunidad/blog/toxicologia-laboral-peligros-riesgos/2016/07/27/cobre

Castellanos, N. (2005). La chatarra electrónica, la contaminación ambiental y su efecto económico. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de http://www.forumcyt.cu/UserFiles/forum/Textos/0209008.pdf.

CDC. (2015). Centers for Disease Control and Prevention. Control banding. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.cdc.gov/niosh/topics/ctrlbanding/

CEMPRE. (2010). Aparatos eléctricos y electrónicos. Recuperado el 07 de Septiembre de 2016, de http://cempre.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=105

CEMPRE. (2010). Residuos Electrónicos. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de http://cempre.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=87&Itemid=105

Chacón, P. (2014). ¿Cuánto oro hay en tu móvil? Descubre los valiosos materiales que se esconden en tu 'smartphone'. Recuperado el 22 de Agosto de 2016, de http://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/moviles/moviles-oro-plata-materiales-valor_0_316019567.html

Chairman, H. (2005). Committee on Toxicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de https://cot.food.gov.uk/sites/default/files/cot/cotsection.pdf

Clarín. (2015) El mundo ya tiene la misma cantidad de celulares que de gente. Recuperado el 07 de junio de 2016, de http://next.clarin.com/mundo-misma-cantidad-celulares-gente_0_1432056851.html.

CNRCOP. (2004). Centro Nacional de Referencia sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. Hexabromociclododecano (Hexabromocyclododecane, HBCD). Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.cnrcop.es/gc/assets/docs/Hexabromociclododecano.pdf

Cortinas de Nava, C. (2008). Regulación de los residuos peligrosos en México. Recuperado el 24 de Junio de 2016, de http://siscop.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/regulacion_de_rp_en_mexico_2007.pdf

CSEM. (2011). Agency for Toxic Substances and Disease Registry Case Studies in Environmental Medicine Chromium Toxicity. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.atsdr.cdc.gov/csem/chromium/docs/chromium.pdf

Cui, J. & Zhang, L. (2008). Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. Journal of Hazardous Materials. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389408002161

Cui, J., & Forssberg, E. (2003). Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. Journal of Hazardous Materials. Vol. B99, pp. 243–263.

De Andrade Lima, L. & Hodouin, D. (2005). A Lumped Kinetic Model for Gold Ore Cyanidation. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304386X05001404

De la Torre, E. (2012). Diseño del proceso de recuperación de metales de procesadores y tarjetas de circuitos impresos de computadoras descartadas mediante lixiviación en columna. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5421/1/CD-4602.pdf

De la Torre, E., Guevara, A., & Espinoza, S. (2009). Los teléfonos celulares una nueva mina de metales preciosos, factible de valorizar mediante tostación y lixiviación con cianuro. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5535/1/Ernesto-de-la-Torre.pdf

Delaunay N. & Montero R. (2013). Eficiencia energética asociada al reciclaje de metales. Recuperado el 27 de Julio de 2016, de http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/ISEREE_EE-asociada-la-reciclaje-de-metales1.pdf

Dempsey, J. (2011). Europe Moves to Recycle Rare Earths. Recuperado el 06 de Julio de 2016, de http://www.nytimes.com/2011/01/28/business/global/28rare.html?_r=2

Dill, H.G. (2010). The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. Recuperado el 07 de Agosto de 2016, de http://www.episodes.org/index.php/epi/article/view/60581/47371

Diminich, J. (2013). Toxicología del Níquel. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de https://prezi.com/uxfqthcdjq7s/copy-of-toxicologia-del-niquel/

Doadrio, A. (2004). Ecotoxicología y acción toxicologica del mercurio. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.consultoraseb.com.ar/images/manuales/ECOTOXICOLOG%CDA%20Y%20ACCI%D3N%20TOXICOLOGICA%20DEL%20MERCURIO.pdf

DoveMed. (2016). Chromium Toxicity. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.dovemed.com/diseases-conditions/chromium-toxicity/

EFSA Journal. (2011). Scientific Opinion on Hexabromocyclododecanes (HBCDDs) in Food. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2296

Emol. (2008) Celulares viejos pueden producir metales preciosos. Recuperado el 06 de Junio de 2016, de http://www.emol.com/noticias/tecnologia/2008/05/10/303789/celulares-viejos-pueden-producir-metales-preciosos.html

Enciso, A. (2015) Falta de control sobre los desechos electrónicos alarma a expertos. Recuperado el 07 de Junio de 2016, de http://www.jornada.unam.mx/2015/01/19/sociedad/034n1soc

Escobar, A. (2014). Gaceta Parlamentaria. Iniciativa. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de http://gaceta.diputados.gob.mx/Black/Gaceta/Anteriores/62/2014/abr/20140430-V/Iniciativa-4.html

Escobar, L. (2010). RAEE. Buenas prácticas ambientales en el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Recuperado el 06 de Julio de 2016, de http://www.corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/SiteAssets/Images/MenuSuperiorArchivos/CartiilaRAEE.pdf

Español, S. (2001). Toxicología del mercurio. Actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.gama-peru.org/jornada-hg/espanol.pdf

Espinoza, E. (2010). Recuperación de metales de las tarjetas de circuito de celulares descartados. Recuperado el 7 de Agosto de 2016, de http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2485/1/CD-3188.pdf

Eva, M. (2009). Teléfono móvil. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de http://www.consumoteca.com/electronica/telefonos/telefono-movil/

Fernández, G (2007). La cadena de valor de los RAEE: Estudio sobre los circuitos formales e informales de gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos en Argentina. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.inti.gob.ar/basilea/pdf/Informe_raee_arg.pdf

Ferrater, G. (2010) La basura electrónica en México. Recuperado el 07 de Junio de 2016, de http://www.vocesdelperiodista.com.mx/index.php/component/content/article/115-edicion-237/941-la-basura-electronica-en-mexico.html

Gaiker. (2007).Reciclado de materiales: perspectivas, tecnologías y oportunidades. Recuperado el 17 de Julio de 2016, de http://www.bizkaia21.eus/fitxategiak/09/bizkaia21/Territorio_Sostenible/dokumentuak/20100902123356112_Informe_Reciclaje.pdf

Gavilan, A. (2011). (INE-SEMARNAT). Estado Actual de la Gestión de los RAEE en México. Recuperado el 23 de Junio de 2016, de http://www.residuoselectronicos.net/wp-content/uploads/2011/10/Afiche_COP_Mexico_final2.pdf

Goodship V. (2012). Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook. Recuperado el 20 de Agosto de 2016, de https://books.google.com.mx/books?id=q4BwAgAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

Greenpeace Argentina. (2011). Basura electrónica el lado toxico de la telefonía móvil. Recuperado el 06 de Junio de 2016, de http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2010/3/basura-electronica-el-lado-toxico-de-la-telefonia-movil.pdf.

Greenpeace. (2009). Sustancias tóxicas en los Aparatos Eléctricos y Electrónicos: PVC y BFRs. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2009/3/sustancias-t-xicas-en-los-apar.pdf

Greenpeace. (2012) Minería y basura electrónica: la irracionalidad en el manejo de los recursos. Recuperado el 03 de Julio de 2016, de http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2012/contaminacion/informe-raee-V.pdf

Groot, D. (2008). Can we decrease the ecological footprint of base metal production by recycling? Recuperado el 12 de Julio de 2016, de http://www.pbzn.org/Swakopmund2007/Papers/163-178_Groot.pdf

GSMA. (2015). eWaste en América Latina. Recuperado el 22 de Agosto de 2016, de http://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2015/11/gsma-unu-ewaste2015-spa.pdf

Guertin, J. (2013). Toxicity and Health Effects of Chromium (All Oxidation States). Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.engr.uconn.edu/~baholmen/docs/ENVE290W/National%20Chromium%20Files%20From%20Luke/Cr(VI)%20Handbook/L1608_C06.pdf

Harju, M., Eldbjørg, H., Herzke, D., Sandanger, T., Posner S., & Wania. F. (2008). Current State of Knowledge and Monitoring requirements Emerging “new” Brominated flame retardants in flame retarded products and the environment. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/2462/ta2462.pdf

Hester, R. E., & Harrison, R. M. (2010). Electronic Waste Management. Design, Analysis and Application. RSC Publishing. ISBN: 978-1-84755-919-7. Pp. 263.

Imaginar. (2011). Telefonía móvil para el desarrollo. Recuperado el 12 de junio de 2016, de http://www.imaginar.org/iicd/fichas/04_Telefonia_movil.pdf

INECC-SEMARNAT. (2010) Los residuos electrónicos en México y el mundo. Recuperado el 07 de Junio de 2016, de http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/715.pdf

Instituto Nacional de Ecología. (2007). Desarrollo de un Programa Modelo para el Manejo de Residuos Electrónicos en México. México: SEMARNAT. Recuperado el 24 de Junio de 2016, de http://www.ine.gob.mx/descargas/sqre/2007_inf_plan_manejo_grm.pdf. Fecha de consulta: 6 de octubre de 2011.

Inzaurralde, M. Isi, J. & Garderes, J. (2006) Funcionamiento de celulares. Recuperado el 09 de junio de 2016, de http://www.cabinas.net/monografias/tecnologia/funcionamiento_de_telefonia_celular.asp

Janssen, S. (2005). Brominated Flame Retardants: Rising Levels of Concern. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de https://noharm.org/sites/default/files/lib/downloads/bfrs/BFRs_Rising_Concern.pdf

Jiang, P. & Harney, M. (2012). Improving the End-of-Life for Electronic Materials via Sustainable Recycling Methods. Advanced Technology Materials Inc. Recuperado el 25 de Julio de 2016, de http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029612006044

Kalantzi, O. (2011). Sources and human exposure to polybrominated diphenyl ethers. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal%20Papers/99-108_541_Kalantzi_13-2.pdf

Kamberovic, Z., Korać, M., & Ranitović, M. (2011). Hydrometallurgical Process for Extraction of Metals from Electronic Waste. Recuperado el 25 de Julio de 2016, de http://www.metalurgija.org.rs/mjom/vol17/No3/4_Kamberovic_MJoM_1703.pdf

Khaliq, A., Akbar Rhamdhani, M., Brooks G., & Masoodet, S. (2014). Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes. Recuperado el 25 de Julio de 2016, de http://www.mdpi.com/2079-9276/3/1/152/htm

Khandpur, R. (2005). Printed Circuit Boards: Design, Fabrication and Testing. Recuperado el 01 de Septiembre de 2016, de https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=VY8iBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=Printed+Circuit+Boards:+Design,+Fabrication+and+Testing+Khandpur&ots=TAtrmhZ5QG&sig=DVBuQNRFO_pZO0L4G6Rr7VQJ2Tw#v=onepage&q=Printed%20Circuit%20Boards%3A%20Design%2C%20Fabrication%20and%20Testing%20Khandpur&f=false

Lanza, O. (2015). Las dioxinas del pvc son cancerígenas. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://www.nuevatribuna.es/articulo/sanidad/dispositivos-medicos-hora-reducir-uso-productos-pvc-y-dehp-establecimientos-salud/20150330132120114255.html

Lara, J. (2006). Conceptos básicos de telefonía celular. Recuperado el 17 de junio de 2016, de http://docplayer.es/2773108-Universidad-autonoma-del-estado-de-hidalgo-instituto-de-ciencias-basicas-e-ingenieria-conceptos-basicos-de-telefonia-celular.html

León, G. (2007) Avances Tecnológicos en la telefonía celular. Recuperado el 09 de Junio de 2016, de http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/356/Avances%20tecnologicos%20telefonia%20celular.pdf?sequence=1

Lewis, N. (2011). Goldfrank´s Toxicologic Emergencies. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://freepages.school-alumni.rootsweb.ancestry.com/~dpok/Goldfrank%E2%80%99s%20Toxicologic%20Emergencies%209th%20Edition.pdf

LGEEPA. (2010). Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 24 de Junio de 2016, de 20Ley_General_de_Equilibrio_Ecol%C3%B3gico_y_de_Protecci%C3%B3n_al_Ambiente.pdf

LGPGIR. (2015). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgpgir.htm

Lim, S.R., & Schoenung, J.M., (2010). Toxicity potentials from waste cellular phones, and a waste management policy integrating consumer, corporate, and government responsibilities Recuperado el 27 de Julio de 2016, de http://isiarticles.com/bundles/Article/pre/pdf/15943.pdf

Linares, J. (2015). RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEE). Recuperado el 19 de Junio de 2016, de http://www.ruptura.info/ecologia/residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos-raee-juan-linares/

Lincoln, J.D., Ogunseitan, O.A., Shapiro, A.A., & Saphores, J.D.M. (2007). Leaching assessments of hazardous materials in cellular telephones. Environmental Science and Technology. Recuperado el 27 de Julio de 2016, de http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0610479

Lopes, A. (2003). Exposição ocupacional ao cobalto: aspectos toxicológicos. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.scielo.br/pdf/rbcf/v39n2/03.pdf

Mahmoud, H. (2003). Leaching Platinum-Group Metals in a Sulfuric Acid/Chloride Solution. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de https://www.thevespiary.org/rhodium/Rhodium/Vespiary/talk/files/1199-Leaching-platinum-group-metals-in-a-sulfuric-acidchloride-solutionae22.pdf

Mannise, R. (2011). PVC el tóxico que nos rodea. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://ecocosas.com/arq/pvc-el-toxico-que-nos-rodea/

Marsden, J. & House, I. (2006). The Chemistry of Gold Extraction. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de https://es.scribd.com/doc/291632521/The-Chemistry-of-Gold-Extraction-J-O-Marsden-C-I-House-2-Edition

Martínez, E. (2001). La evolución de la telefonía móvil. Recuperado el 09 de junio de 2016, de http://www.adecom.biz/pdf/pdf_agosto2005/La%20evolucion%20de%20la%20telefonia%20movil.pdf

Martínez, E. (2005). Telefonía Celular: 15 años de historia de México. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de http://www.eveliux.com/mx/Telefonia-Celular-15-anos-de-historia-en-Mexico.html

Medina, J., Ibarra, O., & Romero, F. (2011). Telefonía celular digital. Recuperado el 12 de Junio de 2012, de ingenierias.uanl.mx/11/pdf/11_Guadalupe_Medina_et_al_Telefonia.pdf

Mendoza, E. (2015). México, tiradero de basura electrónica. Recuperado el 24 de Agosto de 2016, de http://www.contralinea.com.mx/archivo-revista/index.php/2015/06/21/mexico-tiradero-de-basura-electronica/

Miranda, J. (2014). Tienen teléfono celular 87 de cada 100 habitantes en el país, reporta Ifetel. Recuperado el 07 de Junio de 2016, de http://www.jornada.unam.mx/2014/03/02/economia/023n1eco.

Mitzner, K. (2009). Complete PCB Desing Using OrCAD Capture and PCB Editor. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de http://www.gbv.de/dms/ilmenau/toc/521595207.PDF

Montero, R. (2012). Diseño del proceso de recuperación de metales de procesadores y tarjetas de circuitos impresos de computadoras descartadas mediante lixiviación en columna. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5421/1/CD-4602.pdf

Morales, I. & Reyes, R. (2003). Mercury and health in the dental practice. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102003000200018

Morillo, J. (2011). Introducción a los dispositivos móviles. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles/Tecnologia_y_desarrollo_en_dispositivos_moviles_(Modulo_2).pdf

Namias, J. (2013). The Future of Electronic Waste Recycling in the US. Recuperado el 25 de julio de 2016, de http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Namias_Thesis_07-08-13.pdf

NJDH. (2005). New Jersey Department of Health. Cobalt. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0520.pdf

NJDH. (2008). New Jersey Department of Health Copper. Hazardous Substance Fact Sheet. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0528.pdf

NJDH. (2009). New Jersey Department of Health Cadmio. Hoja Informativa sobre Sustancias Peligrosas. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0305sp.pdf

NJDH. (2009). New Jersey Department of Health Lead. Hazardous Substance Fact Sheet. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1096.pdf

NJDH. (2009). New Jersey Department of Health Mercury. Hazardous Substance Fact Sheet. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1183.pdf

NJDH. (2012). New Jersey Department of Health Nickel. Hazardous Substance Fact Sheet. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1341.pdf

Nnorom, I.C. & Osibanjo, O. (2009). Toxicity characterization of waste mobile phone plastics. Journal of Hazardous Materials. Recuperado el 27 de Julio de 2016, de https://www.researchgate.net/publication/5404711_Toxicity_characterization_of_waste_mobile_phone_plastics

Nordberg, G. (2005). Metales: propiedades quimicas y toxicidad. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf

Nordberg, G. (2012). Metales: Propiedades químicas y toxicidad. Recuperado el 20 de Agosto de 2016. De http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/63.pdf

Nudelman, J. (2014). Toxic Flame Retardant Chemicals Found in Dust Samples in Preschools, Day Care Centers. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.breastcancerfund.org/media/press-releases/preschool.html

Odriozola, V. (2003). No todo lo que es oro brilla. Greenpeace. Recuperado el 06 de Julio de 2016, de http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2006/4/no-todo-lo-que-es-oro-brilla.pdf

OECD. (2001). Organization for Economic Co-operation and Development: Extended Producer Responsibility. A Guidance Manual for Governments. Paris, Recuperado el 19 de junio de 2016, de http://www.oecdbookshop.org/oecd/display.asp?lang=EN&sf1=identifiers&st1=972001041p1 (verificado: 02.04.2010)

Olivera, J. (2013). Optimización del proceso de reciclado de tarjetas de circuitos impresos. Recuperado el 12 de julio de 2016, de http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11683.pdf

OMS. (2016). Organización mundial de la salud. El mercurio y la salud. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/

OSPAR Commission. (2001). Certain Brominated Flame Retardants – Polybrominated Diphenylethers, Polybrominated Biphenyls, Hexabromo Cyclododecane (2004 Update). Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:658067/FULLTEXT01.pdf

Ott, D. (2008) Diagnostico de Computadores y Teléfonos Celulares. Recuperado el 06 de Junio de 2016, de http://www.ewasteguide.info/files/Ott_2008_Empa-CNPMLTA.pdf.

Pérez, E., & Azcona, M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://www.redalyc.org/pdf/473/47324564010.pdf

Pérez-Belis, V., Bovea, M., & Ibáñez-Forés, V. (2014). An in-depth literature review of the waste electrical and electronic equipment context: Trends and evolution. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de http://wmr.sagepub.com/content/33/1/3.full.pdf+html

PNUMA. (2004). Convenio de Basilea. Directrices técnicas para el reciclado/regeneración ambientalmente racional de metales y compuestos metálicos (R4). Recuperado el 24 de Septiembre de 2016, de http://archive.basel.int/pub/techguid/r4-s.pdf

Posada, M. (2016). Se registró alza anual de 3.2% en líneas de teléfonos móviles. Recuperado el 07 de Junio de 2016, de http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2016/02/28/se-registro-alza-anual-de-3-2-en-lineas-de-telefonos-moviles-6879.html

Ramírez, A. (2002). Toxicologia del cadmio conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biologicos. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v63_n1/toxicologia.htm

Ramírez, J. (2008). Recuperación de oro a partir de chatarra electrónica. Recuperado el 24 de Julio de 2016, de http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Recuperacion%20de%20oro%20a%20partir%20de%20chatarra%20electronica.pdf

Ramírez, O. (2012). Partes que componen un teléfono celular y smartphone. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de http://teleinformaticauatiroel.blogspot.mx/2012/02/partes-que-componen-un-telefonno.html

Ranchal, J. (2014). Inicios, evolución y futuro del teléfono móvil. Recuperado el 09 de Junio de 2016, de http://www.muycanal.com/2014/01/31/futuro-del-telefono-movil

Recycla Chile S.A. (2007). Residuos Electrónicos La Nueva Basura del Siglo XXI. Una Amenaza. Una Oportunidad. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de http://www.recycla.cl/assets/files/57f45846ea2dba3d4c276bdf4ae12f58.pdf

Red, J. (2014). ¿Cuáles son los diferentes tipos de teléfonos celulares? Recuperado el 12 de Junio de 2016, de http://www.ehowenespanol.com/cuales-son-diferentes-tipos-telefonos-celulares-lista_455068/

REMSA. (2016). Recicla Electrónicos México. Recuperado el 07 de Junio de 2016, de http://reciclaelectronicos.com/

Rezagos. (2016). Legislación RAEE en el mundo. Recuperado el 03 de Julio de 2016, de http://www.rezagos.com/pages/legislacion

Ríos, P. (2010). Comunicación móvil: uso del celular en la relación entre madres e hijos adolescentes. Recuperado el 22 de Septiembre de 2016, de http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/2802/1/TFLACSO-2010PRM.pdf

Robledo C. (2007). Introducción a la telefonía celular. Recuperado el 17 de Junio de 2016, de http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-09-27_04-15-36110889.pdf

Rodríguez, M. (2010). ¿Se ahoga México en basura electrónica? Recuperado el 07 de junio de 2016, de http://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/06/100603_basura_electronica_mexico_mr.shtml

Rodríguez, O., Hernández, R., Torno, L., García, L., & Rodríguez, R. (2005). Telefonía móvil celular: origen, evolución, perspectivas. Recuperado el 09 de Junio de 2016, de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181517913002

Rojas, L., Gavilán, A., Alcántara, V., & Cano, F. (2011). Los residuos electrónicos en México y el mundo. Recuperado el 19 de Junio de 2016, 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

Rossi, S. (2011). ¿Cómo funciona un teléfono móvil? Recuperado el 09 de Junio de 2016, de http://www.batanga.com/curiosidades/2011/04/13/como-funciona-un-telefono-movil

Rudel, R., Camann , D., Spengler, J., Korn, L., & Brody, J. (2003). Phthalates, Alkylphenols, Pesticides, Polybrominated Diphenyl Ethers, and Other Endocrine-Disrupting Compounds in Indoor Air and Dust. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es0264596

Ruiz, J. (2005). Cobre, efectos en la salud. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://socializandovoces.blogspot.mx/2008/02/cobre-efectos-en-la-salud.html

SEGOB. (2013). Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013

Silva, U. (2009). Gestión de Residuos Electrónicos en América Latina. Recuperado el 06 de Junio de 2016, de http://www.academia.edu/6743078/Gestion_de_residuos_en_america_latina.

Singh, H.P., Mahajan, P., & Kaur, S. (2013). Chromium toxicity and tolerance in plants. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://link.springer.com/article/10.1007/s10311-013-0407-5#page-2

Staessen, J., Amery, A., Bernard, A., Bruaux, P., Buchet, J., Claeys, F., De Plaen, P., Ducoffre, G., Fagard, R., Lauwerys, R., Lijnen, P., Nick, L., Saint Remy, A., Roels, H., Rondia, D., Sartor, F., Thijs, L. (2000). Effects of exposure to cadmium on calcium metabolism. A population study. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1012065/pdf/brjindmed00034-0062.pdf

STEP. (2009). Recycling. From E-Waste to Resources. Recuperado el 25 de Julio de 2016, de http://www.unep.org/pdf/Recycling_From_e-waste_to_resources.pdf

Tarazona, J. (2000). La intoxicación por cobre en los animales domésticos. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_REA%2FREA_1986_05_111_115.pdf

Tchounwou, P. (2014). Heavy Metals Toxicity and the Environment. Recuperado el 11 de Agosto de 2016, de http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4144270/

Tox Town. (2015). Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de https://toxtown.nlm.nih.gov/text_version/chemicals.php?id=79

Tufró, V. (2010). Destino final de los equipos electrónicos obsoletos de usuarios corporativos de TIC en Argentina. Recuperado el 03 de Julio de 2016, de http://www.escrap.com.ar/descargas/informe-raee-arg.pdf

Tuncuk, A., Stazi, V., Akcil, A., Yazici, E.Y., & Deveci, H. (2012). Aqueous metal recovery techniques from e-scrap: Hydrometallurgy in recycling. Minerals Engineering. Recuperado el 07 de Agosto de 2016, de http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687511003669

Umicore. (2007). Metals Recovery from e-scrap in global environment. Genova: Umicore Precious Metals Refining. Recuperado el 25 de Julio de 2016, de http://archive.basel.int/industry/sideevent030907/umicore.pdf

UNEP. (2006). (United Nations Environment Programme). Guideline on Material Recovery and Recycling of End-of-Life Mobile Phones US Geological Survey: Mineral Commodity Summaries. Recuperado el 12 de Julio de 2016, de http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2016/mcs2016.pdf

UNEP. (2010). (United Nations Environment Programme). Urgent Need to Prepare Developing Countries for Surge in E-Wastes. Recuperado el 06 de Julio de 2016, de http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=612&ArticleID=6471&l=en&t=long

UNESCO. (2010). Montevideo. Los residuos electrónicos: Un desafío para la Sociedad del Conocimiento en América Latina y el Caribe. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de http://www.unesco.org.uy/ci/fileadmin/comunicacion-informacion/LibroE-Basura-web.pdf

US EPA29. (2005). Furniture Flame Retardancy Partnership: Environmental Profiles of Chemical Flame-Retardant Alternatives for Low-Density Polyurethane Foam (Volume 1). Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-12/documents/ffr_foam_alternatives_vol1.pdf

Velez, A. (2010). E-Waste: La basura del siglo XXI. ¿Qué hacer con ella? Scientia Et Technica. Recuperado el 19 de Agosto de 2016, de http://www.redalyc.org/pdf/849/84920977032.pdf

Vuong, A., Webster, G., Romano, M., Braun, J., Zoeller, R., Hoofnagle, A., Sjödin, A., Yolton, K., Lanphear, B., & Chen, A. (2015). Maternal Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Exposure and Thyroid Hormones in Maternal and Cord Sera: The HOME Study, Cincinnati, USA. Recuperado el 10 de Agosto de 2016, de http://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/123/10/ehp.1408996.alt.pdf

Wang, X. & Gaustad, G. (2012). Prioritizing material recovery for end-of-life printed circuit boards. Recuperado el 19 de Agosto de 2016, de http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1200195X

Wilbur, S., Abadin, H., Fay, M., Yu, D., Tencza, B., Ingerman, L., Klotzbach, J., James, S. (2008). Toxicological Profile for Chromium. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158855/

Wilson, L. (2016). Toxic metals and Detoxification. Recuperado el 12 de Agosto de 2016, de http://drlwilson.com/articles/TOXIC%20METALS.htm

World Gold Council. (2011). Gold Demands Trends. Recuperado el 06 de Julio de 2016, de http://www.gold.org/investment/research/regular_reports/gold_demand_trends/

World Gold Council. (2016). La quimera del oro. Recuperado el 06 de Julio de 2016, de http://www.gold.org/supply-and-demand/gold-demand-trends

Yamane, L., de Moraes, V., Espinosa, D., & Tenório, J. (2011). Recycling of WEEE: Characterization of spent printed circuit boards from mobile phones and computers. Recuperado el 19 de Agosto de 2016, de http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21820883