



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO DE  
RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS  
ELECTRÓNICOS, ESPECIFICAMENTE  
REFRIGERADORES EN EL ESTADO DE MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA**

**PRESENTA**

**JESSICA BADILLO ARENAS**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, 2019**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:**      **ORTIZ RAMÍREZ JOSÉ ANTONIO**  
**VOCAL:**            **LAZCANO ARRIOLA LUZ MARÍA**  
**SECRETARIO:**    **ANDRACA AYALA GEMA LUZ**  
**1er. SUPLENTE:**  **MARTÍNEZ VEGA YAMILETH YAZMIN**  
**2° SUPLENTE:**    **FRAGOSO OSORIO DAVID**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**FACULTAD DE QUÍMICA, CIUDAD UNIVERSITARIA**

**ASESOR DEL TEMA:**

**M. EN I JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ**

---

**SUSTENTANTE (S):**

**JESSICA BADILLO ARENAS**

---

# ÍNDICE DE CAPITULOS

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.2. OBJETIVO GENERAL .....	5
1.3. OBJETIVOS PARTICULARES.....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Diagnóstico .....	6
2.2. Situación actual y manejo del residuo .....	13
3. MARCO LEGAL .....	15
3.1. Internacional.....	15
3.1.1. Convenio de Basilea.....	15
3.1.2. Protocolo de Montreal.....	16
3.1.3. Convenio de Estocolmo.....	16
3.2. Nacional .....	17
3.2.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....	17
3.2.2. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) .....	18
3.2.2.1. Plan de Manejo .....	20
3.2.3. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.....	21
3.2.4. Normas Oficiales Mexicanas .....	21
4. COMPARATIVA GESTIÓN DE RESIDUOS .....	23
4.1. Unión Europea .....	23
4.1.1. Recolección .....	23
4.1.2. Pretratamiento .....	28
4.1.3. Desmontaje .....	29
4.1.4. Reciclaje .....	30
4.2. Colombia.....	31
5. PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO.....	38
5.1. Información general.....	38
5.2. Metas y objetivos del Plan de Manejo.....	38

5.3. Modelo del manejo integral para el residuos y mecanismos de operación del plan de manejo .....	44
5.4. Mecanismos de difusión, comunicación y capacitación de plan de manejo 47	
5.5. Descripción de los mecanismos de adhesión al plan de manejo .....	48
6. CONCLUSIONES .....	49
7. REFERENCIAS.....	50

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Riesgos ambientales y para la salud humana (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003)	11
Tabla 2. Categorías de RAEE de acuerdo con la Dirección de la Unión Europea (Buekens & Yang, 2014)	26
Tabla 3 Principales vías de recolección (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003)	28
Tabla 4 Matriz comparativa de gestión de RAEE (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003)	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Esquema de representación de economía lineal	4
Figura 2-1 Cantidad de refrigeradores que se agrega cada año al país (Ingeniería y Desarrollo Sustentable, S.A. de C.V., 2010)	7
Figura 2-2 Composición característica de los RAEE (Gramatyka, Nowosielski, & Sakiewicz, 2006)	8
Figura 2-3 Composición promedio de refrigeradores en Europa (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 )	9
Figura 2-4 Proceso de Plan de Manejo para residuos provenientes de usuarios en general (Indigo Proambiental S.A.P.I. de C.V., 2014)	14
Figura 3-1 Pirámide Jurídica de Kelsen (Hernández Zúñiga , 2005)	17
Figura 4-1 Símbolo de los residuos de aparatos eléctricos electrónicos, la cual prohíbe su eliminación con los residuos sólidos urbanos (Buekens & Yang, 2014)	25
Figura 4-2 Símbolo de calidad RAL (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003)	29
Figura 4-3. EPP recomendado para desensamble de refrigeradores (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 )	35
Figura 4-4. Herramientas básicas de una empresa de gestión RAEE (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 )	35
Figura 5-1 Modelo de manejo integral de RAEE	46

## ABREVIATURAS

<b>ABS</b>	Acrilonitrilo butadieno estireno
<b>ACCR</b>	Association of Cities and Regions for Recycling
<b>AEC</b>	Aparatos electricos de consumo
<b>AEE</b>	Aparatos Eléctricos Electrónicos
<b>CFC</b>	Clorofluorcarbonos
<b>COP</b>	Contaminantes orgánicos persistentes
<b>ED</b>	Electrodomésticos
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>LPGIR</b>	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos
<b>LGEEPA</b>	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
<b>NOM</b>	Norma Oficial Mexicana
<b>PBB</b>	Bifenilos polibromados
<b>PCB</b>	Bifenilos policlorados
<b>PCT</b>	Terfenilos policlorados
<b>PE</b>	Polietileno
<b>PP</b>	Polipropileno
<b>PS</b>	Poliestireno
<b>PUR</b>	Espuma rígida de poliuretano
<b>RAEE</b>	Residuos de Aparatos Eléctricos Electrónicos
<b>SAO</b>	Sustancias agotadoras de la capa de ozono
<b>SEMARNAT</b>	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>TIC</b>	Tecnologías de la información y telecomunicaciones
<b>UE</b>	Unión Europea
<b>UNAM</b>	Universidad Nacional Autónoma de México

# 1. INTRODUCCIÓN

---

En este apartado se pretende analizar el panorama actual, en el mundo y en especialmente en México, respecto a la situación de los residuos de aparatos eléctricos electrónicos (RAEE) con el fin de tener una visión clara y concisa de la utilidad de la gestión integral de residuos así como de la responsabilidad compartida.

Como se sabe este es un problema actual que se origina debido a la gran sobrepoblación, el problema de la obsolescencia programada y el avance tecnológico, lo que provoca que los aparatos no consigan llegar al fin de su vida útil. “Casi 50 millones de toneladas de RAEE están pronosticadas globalmente para el año 2018, el cual incrementará el 50% comparada con el 2010” (Keshav, Komal, & Gang, 2016).

Los RAEE se han convertido en un problema social debido a que el reciclaje y tratamiento de sus componentes representa peligros laborales y ambientales que no se encuentran estrictamente documentados. Sin embargo, se sabe que países como África, China y la India tratan aparatos eléctricos electrónicos de segunda mano con métodos o procedimientos precarios y de manera informal. “En países desarrollados, el reciclaje de los aparatos eléctricos electrónicos (AEE) ha estado sustentado por una amplia gama de iniciativas y motivos, tales como sustentabilidad, creación de trabajos y la valorización de metales raros y preciosos” (Buekens & Yang, 2014).

La posición de México respecto a este problema en el mundo es preocupante ya que según la gaceta de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM):

México es el tercer país que más basura electrónica produce en el mundo con un promedio de entre 7 y 10 kilos de desechos por mexicanos, lo que nos da un total aproximado al millón de toneladas de basura por año (Paz & Maguey , 2019 ).

Teniendo en cuenta el crecimiento poblacional y las malas prácticas de separación de desechos así como la falta de cultura de reciclaje este problema se podría ver agravado ya que “los expertos estiman que para 2050 se estarán generando 2 millones de toneladas” (Paz & Maguey , 2019 ).

El Estado de México es uno de los estados de la republica con más población ya que según los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015) el total de la población en esta entidad es de 16 187 608 habitantes lo que nos indica que existe una generación de casi 162 mil toneladas anuales de residuos de aparatos eléctricos electrónicos.

El presente trabajo pretende realizar una propuesta de plan de manejo de residuos de aparatos eléctricos electrónicos, específicamente refrigeradores realizando un análisis en el Estado de México, que es el que cuenta con más densidad de población en el país. Como primera actividad se realizó un análisis del marco legal al que está sujeto el objeto de estudio abarcando desde lo general hasta lo particular con el fin de poder determinar correctamente las necesidades de un plan de manejo y por consiguiente realizar una propuesta más acertada.

Posteriormente se hizo un análisis comparativo de la gestión integral realizada en Europa y en Colombia, la primera debido a que la Unión Europea posee una gestión de RAEE ampliamente desarrollada y por otra parte, Colombia al ser un país en desarrollo da un ejemplo de las acciones que se pueden aplicar en México.

Teniendo en cuenta las características y necesidades de un plan de manejo se hizo una adaptación de acuerdo a lo establecido por la UE y Colombia asimismo con los planes ya establecidos en México con lo que se consigue una propuesta más uniforme y totalmente adaptada a los requerimientos, necesidades y cultura ya establecidas en México.

Al tratarse de una propuesta de plan de manejo se suprimieron algunos requerimientos de la NOM-161-SEMARNAT-2011 debido a que estos sólo son requeridos en la implementación del plan de manejo por lo que se saldría del objeto de estudio así como de los objetivos de este trabajo.

## 1.1. JUSTIFICACIÓN

Debido a la creciente evolución económica se adoptó el modelo lineal de producción y consumo, esto quiere decir que se ha tenido el siguiente patrón:



Figura 1-1. Esquema de representación de economía lineal

Este ritmo acelerado “[...] comprometerá la capacidad del planeta si no se consigue frenar o cambiar el actual modelo lineal [...]” por lo que resulta muy importante adoptar la economía circular, la cual busca proteger el medio ambiente, prevenir la contaminación y lograr un desarrollo sostenible, el cual se define: “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generación del futuro para atender sus propias necesidades” (Prieto Sandoval, Jaca, & Ormazabal, 2017).

Actualmente sólo se le da importancia al petróleo, recurso no renovable, pero que puede ser sustituido por otras energías limpias como la energía eólica o hidráulica que pueden llegar a ser igual de eficientes como esta, pero no se debe olvidar que los metales que se ocupan en los aparatos electrónicos que hoy en día son esenciales para las actividades cotidianas, también son recursos no renovables que se están agotando y que por ende sus costos de extracción y producción se vuelven

más elevados, además de que la extracción de estos se considera de alto impacto ambiental para los suelos.

Una gran manera de poder reciclar estos metales, es la gestión integral de los residuos que nos permite la separación apropiada y así puedan ser aprovechados con el fin de reducir las extracciones innecesarias de materias primas.

## 1.2. OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta de plan de manejo enfocado principalmente a refrigeradores caseros en la zona del estado de México mediante un análisis comparativo de los planes de manejo, procedimientos de reciclaje y/o tratamiento ya establecidos en la Unión Europea y Colombia.

## 1.3. OBJETIVOS PARTICULARES

- Proponer un plan de manejo conforme a lo establecido en la normatividad mexicana
- Realizar una adaptación según la cultura y/o beneficios, así como mejoras aplicables a México a partir de la gestión de RAEE de la Unión Europea y Colombia
- Disminuir el impacto ambiental derivado de los contaminantes de los RAEE que afecta directamente a la salud humana

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### 2.1. Diagnóstico

Los refrigeradores son electrodomésticos que se han vuelto esenciales en la vida cotidiana debido a su gran utilidad para mantener los productos perecederos en condiciones óptimas para su consumo a mediano plazo. Las cifras de las viviendas en el Estado de México indican que existen 4 166 570 viviendas particulares (INEGI, 2015) mientras que existen 2 725 384 refrigeradores en el Estado de México (Ingeniería y Desarrollo Sustentable, S.A. de C.V., 2010) por lo que si se toma de referencia que usualmente cada vivienda cuenta con un refrigerador en promedio, se tiene como resultado que el 65% de las viviendas cuentan con este aparato.

De acuerdo a (Censo Industrial INEGI, 2008) la producción mensual nacional es de 306 242 refrigeradores, además en el 2014 México se posicionó como “el primer lugar a nivel mundial como exportador de refrigeradores con congelador con puertas exteriores separadas” “[...] y el tercero como exportador de refrigeradores de compresión [...]” (PROMEXICO, 2014). Por otra parte, (Ingeniería y Desarrollo Sustentable, S.A. de C.V., 2010) desarrolló una proyección del año 2009 al 2030 de la cantidad de aparatos electrodomésticos por tipo y cantidad que se agrega cada año en el país, aquí se realizó una gráfica en la *Figura 2-1* mostrando únicamente el número de refrigeradores y se puede notar que tiene una tendencia a disminuir. Esta tendencia está marcada por el avance tecnológico que se ha venido desarrollando en estos tiempos, por lo que se podría predecir que en años futuros esta tecnología va a seguir mejorando no sólo la eficiencia energética de los

aparatos sino también las sustancias utilizadas como refrigerante así como los materiales usados como aislantes en los refrigeradores.

A pesar de que estos aparatos van a seguir modernizándose, aún en estos años se siguen conservando los refrigeradores que se consideran como método de estudio en este trabajo, de ser así el plan de manejo que se desarrolle podrá ser efectivo en un plazo mayor a 20 años.

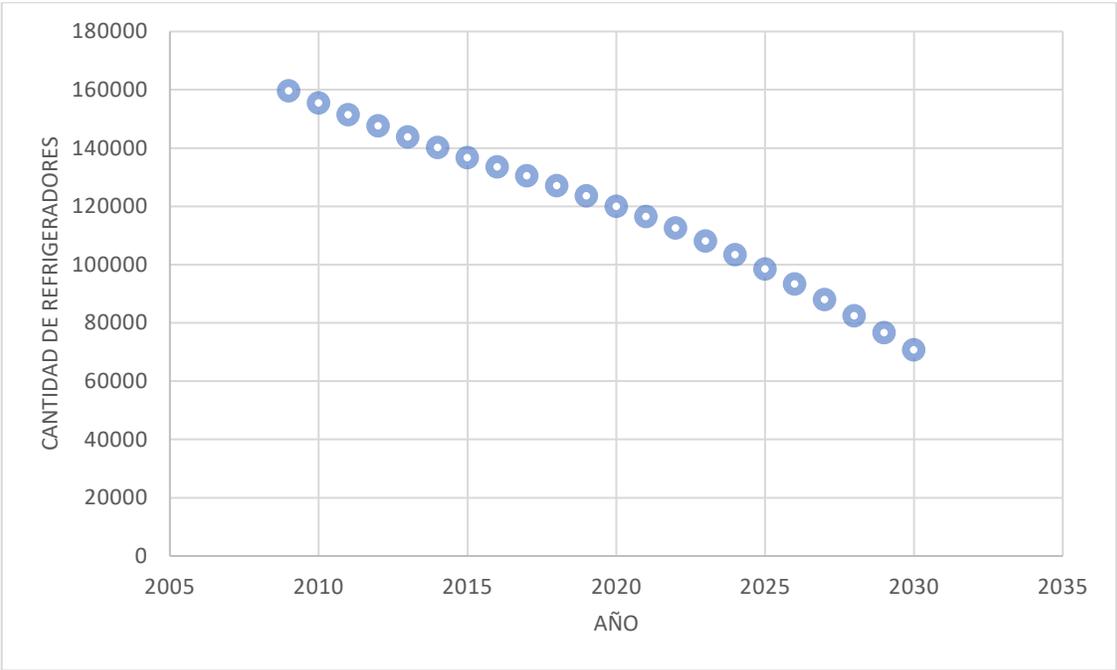


Figura 2-1 Cantidad de refrigeradores que se agrega cada año al país (*Ingeniería y Desarrollo Sustentable, S.A. de C.V., 2010*)

Los aparatos eléctricos electrónicos comprenden una gama de materiales diferentes, incluyendo diferentes tipos y mezclas de plásticos, materiales ferrosos, vidrios, espuma, caucho, pinturas, revestimientos y retardantes de fuego. Los tipos y cantidades de materiales usados en cada unidad pueden diferir de acuerdo con el

tipo de equipo fabricante, modelo y cuando éste fue hecho (Meinhardt infrastructure & environment group, 2001).

La composición de los RAEE depende fuertemente del tipo y la antigüedad del equipo, por ejemplo “[...] en los dispositivos viejos el contenido de metales es mayor pero también el contenido de sustancias peligrosas comparado con los dispositivos más nuevos [...]” (Gramatyka, Nowosielski, & Sakiewicz, 2006).

Como se puede observar en la *Figura 2-2*, los metales chatarra típicos son cobre, hierro, níquel, estaño, plomo, zinc, plata, oro y paladio. Polietileno, polipropileno, poliestirenos y policarbonatos son los plásticos típicos. Uno de los problemas importantes en el tratamiento de los RAEE es el contenido de sustancias tales como metales pesados y componentes inorgánicos (Gramatyka, Nowosielski, & Sakiewicz, 2006).

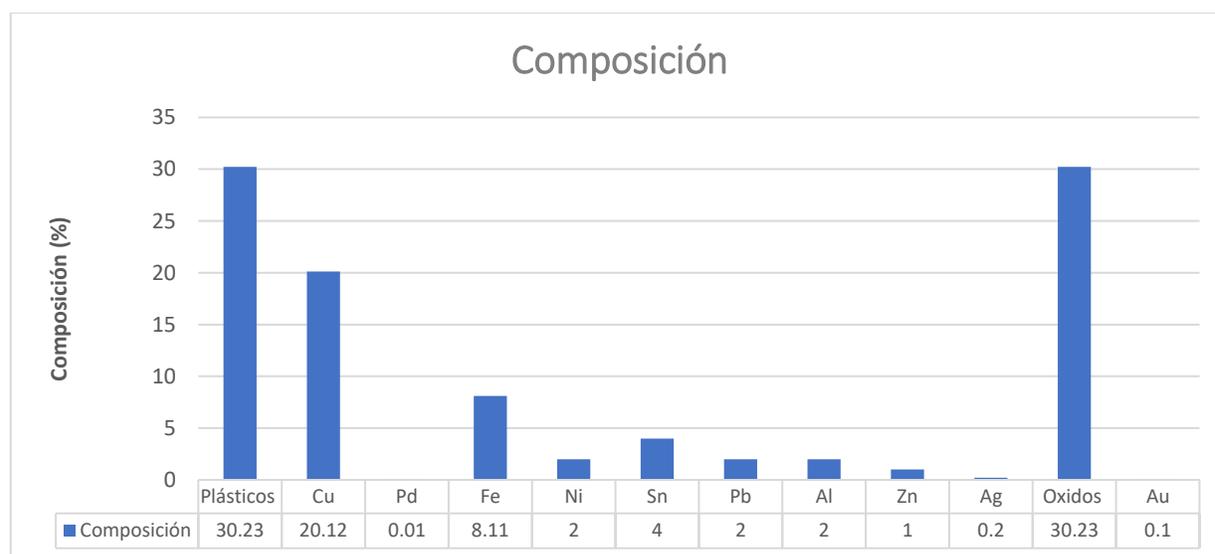


Figura 2-2 Composición característica de los RAEE (Gramatyka, Nowosielski, & Sakiewicz, 2006)

Específicamente hablando de la composición de los refrigeradores se tiene la siguiente información mostrada en la *Figura 2-3* obtenida de las empresas gestoras de RAEE en la UE la cual es una composición promedio de refrigeradores europeos.

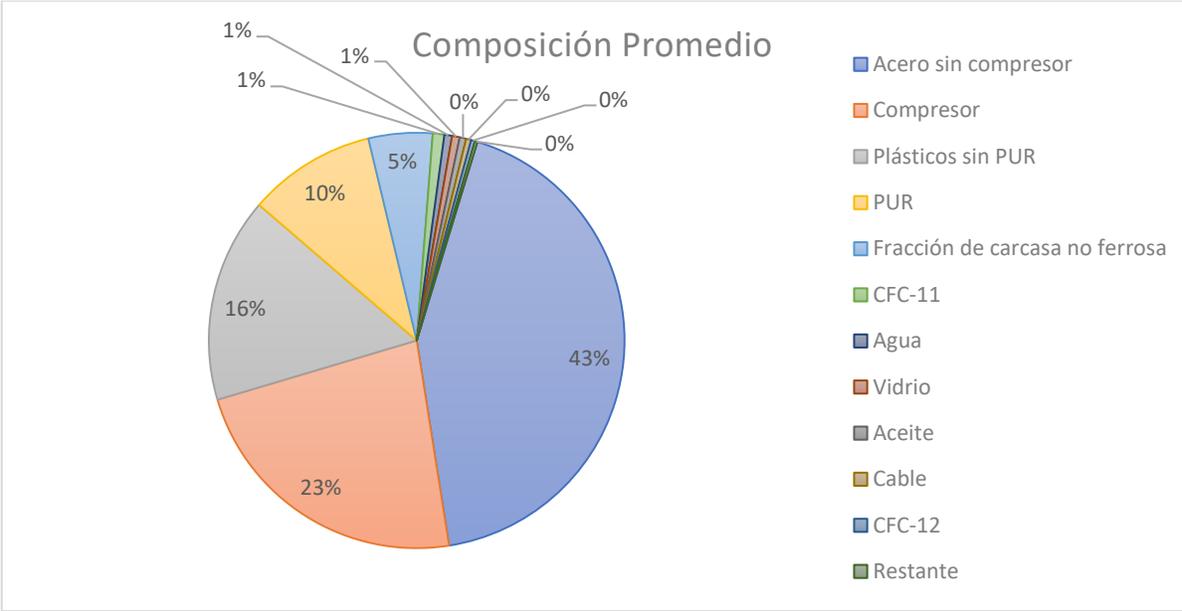


Figura 2-3 Composición promedio de refrigeradores en Europa (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 )

De todos los componentes que conforman a los refrigeradores, las sustancias químicas peligrosas más relevantes son los refrigerantes que pertenecen al circuito de refrigeración entre lo más dominantes se encuentran los CFC-12 y HFC-134<sup>a</sup>. Por otro lado, también se usa el amoníaco como refrigerante en minibares, este resulta peligroso debido a la presencia de cromo hexavalente que contiene, por lo que requiere un tratamiento especial. Aunado a esto, están los agentes espumantes del aislamiento térmico presentes en las espumas rígidas de poliuretano (PUR) de los refrigeradores antiguos que generalmente contienen CFC-11 y HCFC-141b.

Esta espuma contiene 5-10% de agente espumante dependiendo del peso (Australian Department of the Environment, 2014) (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 ).

Los clorofluorcarbonos (CFCs) están restringidos gracias al Protocolo de Montreal debido a que destruyen la capa de ozono, esto último ocurre debido a que el cloro se disocia por la luz ultravioleta y actúa como catalizador de la destrucción del ozono causando un agujero en la capa de ozono principalmente al comienzo del verano ártico (octubre-noviembre) (Morato Campos, 2002).

Aunque las placas de circuito impreso constituyen el “[...] 0.3% del peso de los grandes electrodomésticos, contienen pequeñas cantidades de metales y sustancias tales como antimonio, berilio, cadmio y cloro así como retardantes de llama bromados y plomo en la soldadura [...]” (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 ).

Si todas las sustancias mencionadas en el párrafo anterior llegan al suelo y aguas subterráneas debido a un depósito en vertederos convencionales, puede ocasionar severos riesgos a la salud humana, además la incineración de los refrigeradores horizontales podría producir emisiones de mercurio y cadmio. Las consecuencias directas están mostradas en la *Tabla 1* tanto daños potenciales a la salud como al medio ambiente todo esto causado por el tratamiento inadecuado y con carencias de seguridad ambiental.

Tabla 1 Riesgos ambientales y para la salud humana (*Association of Cities and Regions for Recycling, 2003*)

Sustancias	Daños potenciales para la salud humana	Daños potenciales para el medio ambiente
<b>Materiales ignífugos bromados</b>	Cancerígenos y neurotóxicos; pueden interferir asimismo con la función reproductora	En los vertederos son solubles, en cierta medida volátiles, bioacumulativos y persistentes. Al incinerarlos se generan dioxinas y furanos.
<b>Cadmio (Cd)</b>	Posibles efectos irreversibles en los riñones; provocan cáncer o inducen a la desmineralización ósea.	Bioacumulativo, persistente y tóxico para el medio ambiente
<b>Cromo VI</b>	Provoca reacciones alérgicas; en contacto con la piel, es cáustico y genotóxico	Las células lo absorben muy fácilmente; efectos tóxicos
<b>Plomo (Pb)</b>	Posibles daños al sistema nervioso, endocrino y cardiovascular; también en los riñones	Acumulación en el ecosistema; efectos tóxicos en la flora, la fauna y los microorganismos.
<b>Mercurio (Hg)</b>	Posibles daños cerebrales; impactos acumulativos	Disuelto en el agua, se va acumulando en los organismos vivos.

Realizar un correcto desensamble manual permite que se realice una clasificación homogénea, por lo que el precio de venta en el mercado de reciclaje será mayor. Todos los componentes son enviados a instalaciones de tratamiento especiales debido a que estos no son tratados en las empresas de gestión de RAEE. El hierro, vidrio, acero inoxidable, carcasa y láminas de aluminio son enviadas al proceso de

fundición, lo mismo sucede con el intercambiador de calor y los motores eléctricos en seguida de una correcta trituración y separación. El compresor es un componente valioso debido a que contiene metales como cobre, hierro y aleación de hierro, después de una separación de materiales de igual manera se funde. Los plásticos pueden ser reciclados mecánicamente, realizando una correcta separación de poliestireno (PS), polipropileno (PP), polietileno (PE) y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) para posteriormente ser enlechado o triturado, lavado y limpiado de sustancias no deseadas y con esto crear nuevas formas.

Respecto a la valorización de componentes extraídos se tienen costos negativos de algunas unidades, lo que indica que serán pagados por el gestor de RAEE ejemplos de esto, el vidrio, el condensador eléctrico, el refrigerante y plásticos mixtos, estos últimos en caso de no utilizar algún método de trituración. Sin embargo, a pesar de que se puedan presentar pérdidas se tienen en mayoría componentes que pueden ser valorizados en el mercado como las unidades que contengan aluminio, los cables con y sin enchufe, el acero inoxidable, el compresor e intercambiador de calor. Los precios de los metales se ha mantenido en constante, incluso el hierro ha tenido incrementos de 15.84% en el último año y el cobre de 3.94% (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 ) (Index Mundi, 2019).

## 2.2. Situación actual y manejo del residuo

Debido a la falta de legislación en materia de RAEE, la desinformación así como la dificultad y costos de transporte han agravado el problema de la gestión integral de RAEE, en especial los refrigeradores, ya que la población en general opta por vender o donar al comercio informal sin tener en cuenta la problemática que esto representa, ya que estos comerciantes tienen experiencia de desmontaje y pueden fácilmente identificar los materiales valiosos de los que no lo son tanto, pero muchas veces no se está consciente de los residuos peligrosos que se generan de este desmantelamiento, tirando en vertederos al aire libre todos los componentes sobrantes. Por todo lo anterior mencionado, no significa que México no cuente con empresas gestoras de RAEE, sin embargo estas son mínimas en comparación con la población de toda la nación y de todos los residuos producidos.

La *Figura 2-4 Proceso de Plan de Manejo para residuos provenientes de usuarios en general* *Figura 2-4* muestra el proceso de plan de manejo actual, sin embargo este proceso se lleva en empresas de tratamiento de RAEE generalizado, por lo que falta realizar una adaptación para todo el proceso de desmantelamiento de los refrigeradores así como el almacenamiento de refrigerante y tratamiento correcto de PUR. Debido a la falta de empresas del ramo, y para mejorar la economía colaborando en la creación de empleos la propuesta de realizar empresas por separado con el fin de no crear monopolios parece ser una idea más viable

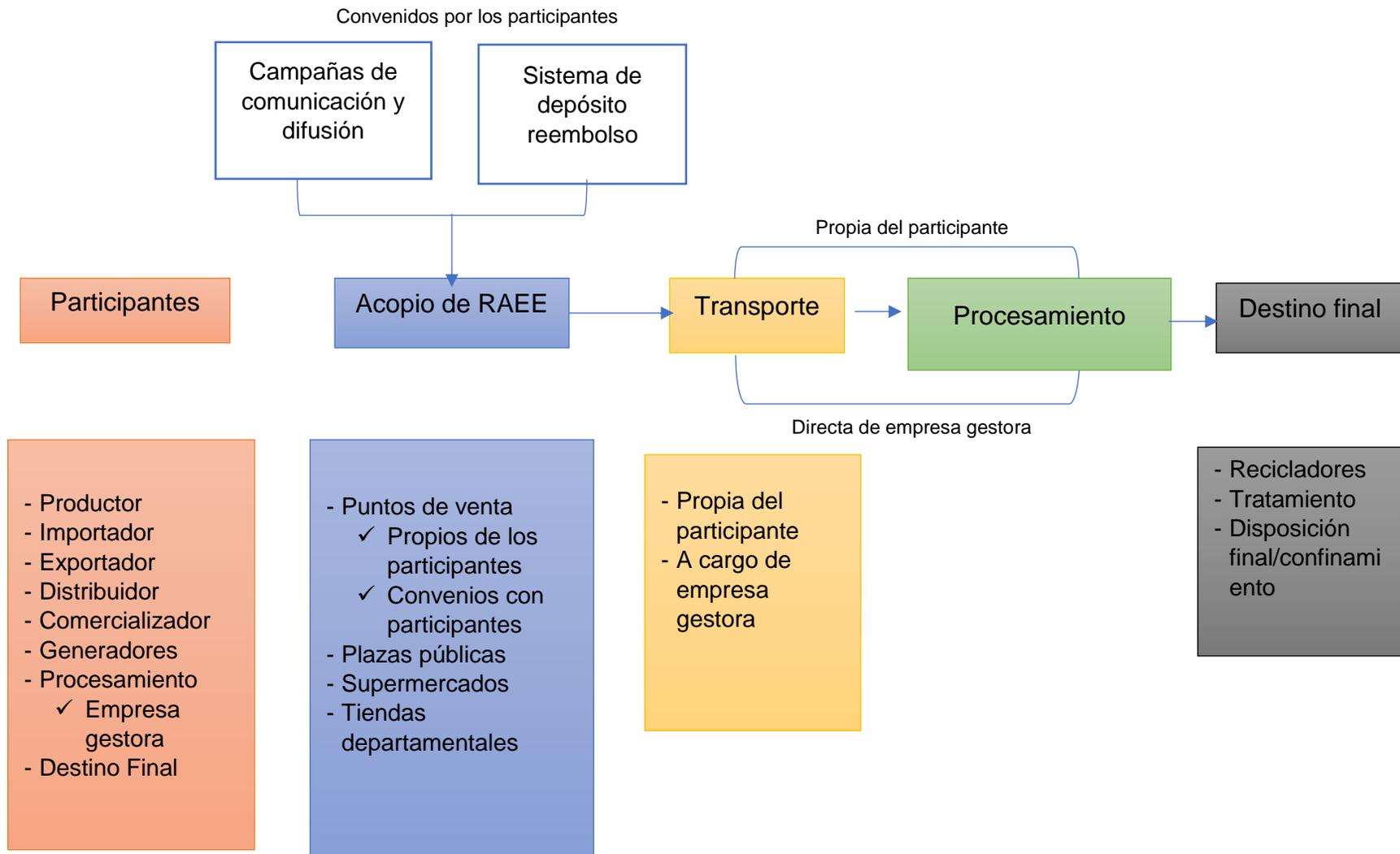


Figura 2-4 Proceso de Plan de Manejo para residuos provenientes de usuarios en general (Indigo Proambiental S.A.P.I. de C.V., 2014)

### 3. MARCO LEGAL

---

Este capítulo abordará la legislación internacional y nacional en materia de residuos de aparatos electrónicos con el fin de realizar una recopilación de las necesidades para elaborar un correcto plan de manejo así como los requerimientos mínimos según la normatividad mexicana.

#### 3.1. Internacional

Es importante establecer los acuerdos o convenios internacionales que ya se adoptaron o que se requieren adoptar con el fin de poder proponer mejoras dentro de un plan de manejo o para que se pueda igualar el nivel de la gestión integral de residuos de países que poseen una legislación más desarrollada.

##### 3.1.1. Convenio de Basilea

Se refiere a un acuerdo en donde participa un total de 170 países, los cuales tienen el objetivo de proteger el medio ambiente y la salud humana obligándolos a eliminar racionalmente los desechos peligrosos, por ende regular los movimientos transfronterizos y promover la eliminación y tratamiento de los desechos peligrosos cercano al lugar de su generación (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales , 2019).

Con lo establecido en (Secretariat of the Basel Convention, 2014) en el Anexo I *Categorías de desechos que hay que controlar* se puede encontrar el apartado Y10 en *corrientes de desecho* que hace referencia a los residuos de aparatos eléctricos electrónicos como son: sustancias y artículos de desecho que contengan, o estén

contaminados por bifenilos policlorados (PCB), terfenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB) además de *desechos que contengan como constituyentes*: berilio, compuestos de berilio, compuestos de cromo hexavalente, arsénico, compuestos de arsénico, mercurio, compuestos de mercurio, plomo, compuestos de plomo.

### 3.1.2. Protocolo de Montreal

El Protocolo de Montreal es un acuerdo ambiental que tiene la finalidad de proteger la capa de ozono así como de promover y ratificar la eliminación del uso de las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO). “Desde su adopción en 1987 y a partir de finales de 2014, se ha eliminado con éxito más del 98% de las SAO controladas, lo que ha ayudado a revertir los daños de la capa de ozono” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2019).

Cabe mencionar que México ha desarrollado “[...] 120 proyectos desde 1990 que han permitido eliminar el 99% del consumo de sustancias agotadoras de capa de ozono [...]” (SEMARNAT, 2017) cumpliendo los compromisos con el protocolo de Montreal.

### 3.1.3. Convenio de Estocolmo

El convenio tiene por objeto limitar la contaminación ocasionada por los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), entre sus disposiciones precisa las sustancias reguladas y deja abierta la posibilidad de añadir nuevas; también establece las reglas de producción, importación y exportación de estas sustancias (Maldonado Noriega , 2010).

## 3.2. Nacional

Con el fin de redactar y puntualizar correctamente en los siguientes apartados y para establecer un orden de importancia, en este trabajo se adoptará la jerarquía jurídica de acuerdo a la pirámide jurídica de Kelsen que se puede observar en el diagrama *Figura 3-1*

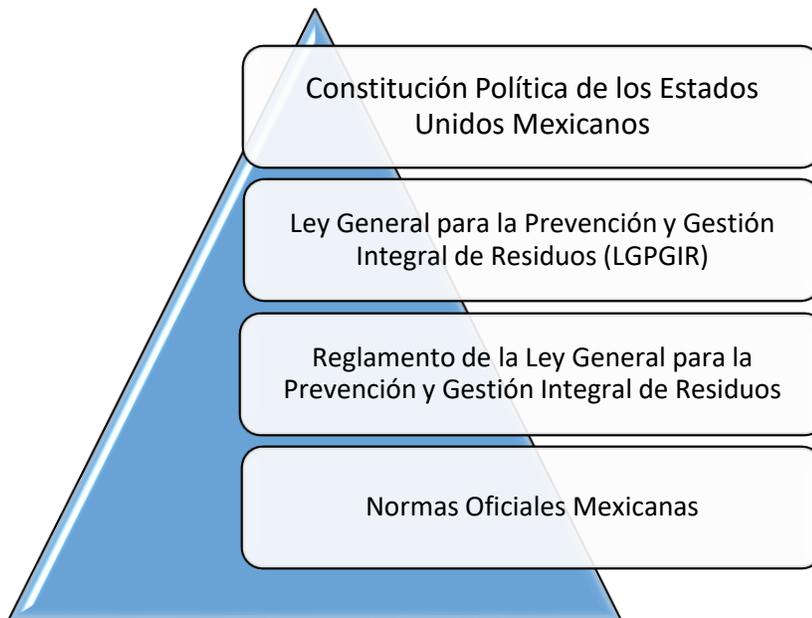


Figura 3-1 Pirámide Jurídica de Kelsen (*Hernández Zúñiga , 2005*)

### 3.2.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Ley suprema del sistema jurídico mexicano “[...] la constitución contiene los principios y objetivos de la nación y establece la existencia de órganos de autoridad, sus facultades y limitaciones, así como los derechos de los individuos y las vías para hacerlos efectivos [...]” (Sistema de Información Legislativa , 2019).

Para efectos de esta investigación se enunciarán los artículos en materia ambiental y salud que sirven para justificar el desarrollo de una gestión integral de residuos.

El artículo 4 concerniendo al capítulo I *De los Derechos Humanos y sus Garantías* establece que toda persona tiene derecho a la protección de la salud además del derecho de recrearse en un ambiente sano en beneficio de su desarrollo y bienestar. Así mismo de responsabilizar a quien provoque daño y deterioro ambiental (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos , 2019).

Por otra parte en el artículo 25 se hace mención de la obligación que tienen empresas del sector social y privado, apoyado e impulsado por la Ley, con la conservación de los recursos productivos y el medio ambiente (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos , 2019).

El artículo 27 se enfoca principalmente en la conservación de los recursos naturales planteando una regulación de los elementos naturales con el fin de preservar el equilibrio ecológico “[...] y para evitar la destrucción de los elementos naturales y daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad “[...]” (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos , 2019).

### 3.2.2. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR)

El objetivo principal de esta ley se puede enunciar de la siguiente manera:

Garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la

contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remodelación (LGPGIR, 2003).

Según el título tercero *clasificación de los residuos*, Artículo 15; los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial se deberán agrupar y subclasificar con el fin de orientar la toma de decisiones basados en los criterios de los riesgos y su manejo. La técnica de la clasificación de residuos estará cimentada en el estado físico y características inherentes que permitan predecir un comportamiento en el ambiente así como la posibilidad de que estos puedan causar daños a la salud, ambiente o bienes esto derivado de su volumen, manejo o exposición (LGPGIR, 2003).

Con el objetivo de prevenir y reducir los riesgos a la salud y al ambiente derivados de la generación y el manejo integral de los residuos peligrosos, en el artículo 21 propone factores que hay que considerar para que el residuo en cuestión se constituya como un riesgo, para los residuos derivados de los AEE los más importantes son los siguientes:

- i. Forma de manejo (actual)
- ii. La cantidad
- iii. La capacidad de los agentes tóxicos de movilizarse hacia seres vivos o cuerpos de agua
- iv. Vulnerabilidad de los seres humanos y demás organismos vivos que se expongan a ellos (LGPGIR, 2003).

Esta ley es de suma importancia puesto que hasta el momento es la única que nos establece los criterios para la gestión integral de residuos y en esta misma podemos

encontrar la descripción exacta de la importancia de un plan de manejo y además es la que justifica directamente el presente trabajo.

### 3.2.2.1. Plan de Manejo

En México, un plan de manejo tiene como principal objetivo impulsar la prevención y maximizar la valorización de los residuos así como su manejo integral con el fin de disminuir los costos de administración, además de alentar la innovación de procesos, tecnologías o métodos que hacen más efectivo los procedimientos de manejo desde la perspectiva tecnológica, económica, ambiental y social (LGPGIR, 2003).

En el artículo 30 se muestran los criterios para determinar si un residuo está sujeto a un plan de manejo, los cuales son enunciados a continuación:

- Que los materiales que los componen tengan un alto valor económico
- Que se trate de residuos de alto volumen de generación, producidos por un número reducido de generadores
- Que se trate de residuos que contengan sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables; y
- Que se trate de residuos que representen un alto riesgo a la población, al ambiente o a los recursos naturales (LGPGIR, 2003).

Si bien se ha hablado del objetivo y alcance de un plan de manejo en México, es de suma importancia considerar los requerimientos necesarios para desarrollarlos ya que actualmente sólo se cuentan con 11 planes de manejo que están aprobados por la

SEMARNAT, así como siete más que no cumplen en su totalidad con lo estipulado por la normatividad (SEMARNAT, 2019).

### 3.2.3. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

El principal objetivo de este reglamento es brindar las pautas para realizar de manera adecuada un plan de manejo a través del título segundo en donde se especifican las obligaciones de todos los sujetos y/o autoridades que estén involucrados con la gestión integral de los residuos, además establece el procedimiento de registro e incorporación a los Planes de Manejo (Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2014).

### 3.2.4. Normas Oficiales Mexicanas

En el artículo 32 (LGPGIR, 2003) se hace énfasis en los requerimientos y procedimientos para poder formular un plan de manejo especificadas en las normas oficiales mexicanas.

Para cumplir este fin la NOM-161-SEMARNAT-2011, que 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. Contiene básicamente dos partes importantes, la primera describe los elementos para la formulación de los planes de manejo y la segunda es el listado de residuos de manejo especial sujetos a presentar plan de manejo así como los criterios para su clasificación.

Según el listado de residuos de manejo especial sujetos a presentar plan de manejo, en la sección 5, *los productos que al transcurrir su vida útil se desechan*, apartado c, *otros que al transcurrir su vida útil requieren de un manejo específico y que sean generados por un gran generador en una cantidad mayor a 10 toneladas por residuo al año* podemos encontrar a los refrigeradores, que son los residuos de aparato eléctricos electrónicos de interés en este trabajo.

Dicho lo anterior, se confirma que los refrigeradores están sujetos a un plan de manejo por lo que sólo queda realizar un análisis comparativo de los planes de manejo establecidos en otros países con la finalidad de poder mejorar o implementar métodos, todo lo anterior dicho se puntualizará en los siguientes capítulos.

## 4. COMPARATIVA GESTIÓN DE RESIDUOS

---

### 4.1. Unión Europea

La unión Europea cuenta con un plan de gestión integral de RAEE, mediante la Directiva 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de Enero de 2003 sobre Residuos de Aparatos Eléctricos Electrónicos (RAEE), debido al creciente problema ambiental que se está derivando de estos residuos, además se detectó que los tratamientos que hasta ese momento se tenían eran totalmente precarios e informales con lo que establecieron objetivos de recolección y reciclaje obligatorios que se desarrollarán a continuación, mostrando los puntos más importantes de la gestión.

#### 4.1.1. Recolección

La parte más importante de la gestión de RAEE es la recolección ya que de este depende que se pueda optimizar la reutilización y el reciclaje, además de realizar cuanto antes la determinación de lo reciclable con el fin de localizar los componentes reutilizables con el menor daño posible.

Para este fin, se establecen los puntos de recolección que según el art. 5 apartado 2a estos deben ser establecidos a partir de lo siguiente:

- Adaptarse a la densidad de población
- Ser accesibles a los consumidores y distribuidores quienes deberán devolver los RAEE
- Sin costo

Con lo anterior mencionado podemos observar dos sujetos muy importantes, los consumidores y los productores o distribuidores que a partir de aquí serán términos asociados a la gestión integral de la unión europea, por lo que realizar un análisis de estos parece ser de suma importancia por el hecho de que la UE toma de una manera importante la responsabilidad compartida que como ya se mencionó es indispensable en el tema del tratamiento de RAEE. La UE menciona que “un sistema de recolección eficaz debe impulsar la participación ciudadana” (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003).

Para fines de la UE el consumidor es el usuario final, aquel que manipuló los AEE hasta el final de su vida útil, mientras que los productores o distribuidores son aquellos que fabrican los aparatos. Es desde este punto que se visualiza que las disposiciones de la Unión Europea difieren con las de México ya que aquí no existe un sistema de responsabilidad individual por parte de los productores por lo que su sistema de gestión se vuelve más viable por el hecho de que está financiado por los mismos productores.

La financiación de los productores debe abarcar desde el transporte de los puntos de recolección así como la valorización, tratamiento y eliminación respetuosa por lo que los productores deben gestionar los residuos de su propia marca e incentivar a los usuarios finales con intercambio *uno a uno* (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003).

Si bien se habla de la participación de los productores, el estado por su parte se encarga de que la participación ciudadana sea activa esto quiere decir que proporciona información acerca de lo siguiente:

- Necesidad de separar y recoger RAEE
- Sistemas de devolución
- Contribución de reciclaje
- Riesgos potenciales de RAEE
- Significado del símbolo de contenedor con ruedas, *Figura 4-1*



Figura 4-1 Símbolo de los residuos de aparatos eléctricos electrónicos, la cual prohíbe su eliminación con los residuos sólidos urbanos (*Buekens & Yang, 2014*)

Además la UE establece 10 categorías que hasta el momento es la más completa ya que en los decretos suizos, hasta 2004 que se incorporó a la UE; en el regreso, la toma de posesión y la eliminación de RAEE discernió cuatro grupos genéricos:

- Aparatos electrónicos para el entretenimiento
- Equipos que forman parte de oficinas, comunicación y tecnología de la información
- Electrodomésticos
- Y, componentes electrónicos de los electrodomésticos

Un sistema de clasificación india está limitada a 6 clases, mientras que el sistema japonés tiene un menor alcance con televisores, refrigeradores, lavadoras, aires acondicionados y computadores personales (Buekens & Yang, 2014).

Tabla 2. Categorías de RAEE de acuerdo con la Dirección de la Unión Europea (Buekens & Yang, 2014)

No.	Categoría	Etiqueta
1	Electrodomésticos grandes	Grandes ED
2	Electrodomésticos pequeños	Pequeños ED
3	Tecnología de la información y telecomunicaciones	TIC
4	Aparatos eléctricos de consumo	AEC
5	Equipo luminario	Alumbrado
6	Herramienta eléctrica y electrónica	Herr. E&E
7	Juguetes y equipo de entretenimiento y deportes	Juguetes
8	Aparatos médicos	Equipo médico
9	Instrumentos de monitoreo y control	M&C
10	Dispensadores automáticos	Dispensadores

La categoría de electrodomésticos grandes, mencionada en la *Tabla 2*, que es la categoría de interés en este trabajo, “comprende equipos como son refrigeradores, congeladores, lavadoras, secadoras, lavavajillas, cocinas, estufas eléctricas, hornos de microondas, aparatos de calefacción eléctricos, aparatos de aire acondicionado” (Maldonado Noriega , 2010).

Una de las restricciones actuales del reciclaje de RAEE es la recolección insuficiente, por ello, “[...] los estados miembros deben establecer sistemas de recolección selectiva [...]” y para ello se establecen dos corrientes de gestión de residuos relacionadas con el usuario final de productos desechados:

- RAEE de hogares particulares
- RAEE de usuarios distintos de hogares particulares

Existe un índice de recolección de RAEE de la Unión Europea de hogares particulares el cual hace referencia a 4 kg por habitante por año, lo que según la ACRR es el equivalente a: 1/7 de televisor, 1/2 impresora, 1 video, 8 teléfonos y 40 móviles (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003).

Con el fin de poder hacer una mejor comparativa así como destacar similitudes y diferencias que más tarde se utilizarán para el plan de manejo que se propondrá, se enunciarán algunas iniciativas en marcha de algunos países que conforman la UE, como se mencionó en el párrafo anterior, “[...] por lo que respecta a los objetivos cuantitativos, las normativas nacionales no establecen objetivos de recolección [...]” es por eso que en todas las regiones existen cifras distintas como ejemplo, Dinamarca, en donde “existe un acuerdo entre el Ministerio de Medio Ambiente y Energía y las asociaciones más importantes del sector, cuyo objetivo consiste en recolectar, como mínimo, el 90% de la cantidad total de neveras desechadas para que reciban tratamiento ecológico” (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003).

En la *Tabla 3* se puede visualizar el método que se utiliza para la recolección, en donde se consigue observar que en la gran mayoría de las regiones los puntos de reciclaje se precisa del ayuntamiento para la recolección de RAEE en hogares particulares mientras que Noruega y Suiza realizan esta actividad con la cooperación de los minoristas lo que quiere decir que requieren de personas externas con el fin de promover la economía.

Tabla 3 Principales vías de recolección (*Association of Cities and Regions for Recycling, 2003*)

	<b>Puntos de reciclaje Municipal</b>	<b>Comercio/minorista</b>
<b>Bélgica</b>	X	
<b>Dinamarca</b>	X	
<b>Países Bajos</b>	X	
<b>Noruega</b>		X
<b>Suecia</b>	X	
<b>Suiza</b>		X

Según los sistemas de gestión de los países mencionados los productores son responsables del reciclaje y tratamiento de los RAEE sin embargo en “Bélgica, Suiza y Países Bajos, los gastos de recolección son sufragados por los productores” (*Association of Cities and Regions for Recycling, 2003*).

#### 4.1.2. Pretratamiento

Durante la gestión de residuos es de suma importancia que el transporte, la manipulación, clasificación y almacenamiento de los mismos se realice de tal manera que se puedan evitar daños o ruptura de componentes que puedan provocar daños al mismo o al medio ambiente.

El segundo punto, según la secuencia de gestión utilizada en UE es el desmontaje, sin embargo es importante que antes de realizarlo se retiren todos aquellos componentes que puedan considerarse como riesgosos ya sea en materia de medio ambiente o para la salud humana. En el caso de los refrigeradores se debe retirar sustancias como los CFC, estas actividades son parte del pretratamiento y por ende también deben de cumplir con ciertos estándares de calidad para evitar que exista contaminación, entre estos

requerimientos se puede encontrar el uso de básculas y pavimentos impermeables, sistemas de recolección de derrames así como contar con el almacenamiento adecuado de piezas, pilas, acumuladores, condensadores.

Los objetivos más importantes que debe cumplir un centro de operaciones de reciclaje de frigoríficos es la recuperación de CFC sin fugas así como su consecuente destrucción. Para este fin se cuenta con el símbolo de calidad RAL que avala a todos los centros que cumplen con las especificaciones con respecto al desarmado de aparatos refrigerantes (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003).



Figura 4-2 Símbolo de calidad RAL (*Association of Cities and Regions for Recycling, 2003*)

#### 4.1.3. Desmontaje

Para poder extraer los componentes y recuperar materiales se debe desmontar el equipo, este procedimiento debe hacerse con perfección y es por eso que suele combinarse la opción de hacerlo a máquina o mano, y aunque la segunda es más precisa debido a que se recupera más material tiene una desventaja, es un método costoso. Si bien resulta tener costos elevados, tiene más ventajas que desventajas ya que resulta ser un método en donde se puede ahorrar energía, eficaz y que disminuye las pérdidas de recuperación

de materiales y naturalmente disminuyen esos costes a medida de que los operarios ganan experiencia (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003).

A pesar de ser un procedimiento indispensable y previo al reciclaje no se hará hincapié en las actividades particulares debido a que cada residuo tiene su propio procedimiento de desmontaje lo que desviaría el tema central de la gestión o plan de manejo, sin embargo, es importante mencionar que a pesar de que el método automatizado de desmontaje pueda ser más viable, sólo tiene una ventaja sobre el desmontaje a mano y es que al realizar esta actividad de manera manual hay peligro de exposición a sustancias peligrosas que el operador tiene que realizar pero a pesar de esto, es una actividad en donde se puede disminuir el riesgo a través de controles administrativos y/o equipo de protección personal.

#### 4.1.4. Reciclaje

Por último, tenemos el reciclaje (Real Academia Española, 2019), se define “someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar” en donde podemos encontrar 3 tipos; el reciclaje mecánico que consiste en todos los procesos manuales o con máquinas que requieren trabajo mecánico para realizarse como la trituración, cribado, tamizado.

El reciclaje químico describe a los procedimientos que conllevan cambios en la estructura química, de poseer estructuras complejas como los polímeros a descomponerlas en monómeros a través de métodos como la pirolisis, metanólisis, etc.

Y por último, el reciclaje energético cuyo fin es el aprovechamiento energético y generalmente se hace con residuos que pueden ser clasificados y recuperados o bien para recuperar metales que pueden obtenerse después de la incineración de los materiales combustibles (Association of Cities and Regions for Recycling, 2003); (RECYTRANS, 2019).

#### 4.2. Colombia

Con el propósito de lograr un proyecto de gestión y destrucción de SAO, Colombia desarrollo una guía dirigida a empresas de gestión de RAEE con la colaboración de la Corporación Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) la cual es una agencia del gobierno alemán, donde “[...] su enfoque de trabajo se concentra en cuatro pilares principales: gestión ambiental urbano-industrial, biodiversidad, energía sustentable y cambio climático [...]” (COGENERACION MEXICO, 2019) .

La guía mencionada al ser parte de un proyecto de una corporación de uno de los países de la UE no presenta grandes diferencias respecto a la gestión integral de RAEE ya mencionada en el apartado anterior pero es de gran importancia mencionar que es una guía adaptada a los países en desarrollo, tal como México, por lo que esta nos servirá de referencia para la propuesta que se llevará a cabo más adelante, por lo que vale la pena mencionar algunos puntos importantes así como remarcar las diferencias y/o adaptaciones a los países en desarrollo.

Como primer punto, se menciona una pre-clasificación, que no fue mencionada en la gestión de la UE. Esta consiste en el orden que deberían tener al ser descargados para

la recepción en la empresa de gestión de RAEE, los equipos deben ordenarse según su tamaño y el refrigerante contenido. Y aunque todos los aparatos se almacenan en la misma zona de la planta, la pre-clasificación facilita el procesamiento posterior de los equipos (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 ).

Con lo anterior mencionado se tienen una categoría de equipos, que debe realizarse de acuerdo a cada país, en Colombia se tiene la siguiente categorización:

- Aparatos de tipo I
- Aparatos de tipo II
- Aparatos de tipo III
- Refrigeradores comerciales

El tipo I, se refiere principalmente a los refrigeradores domésticos que tienen una capacidad de almacenamiento de hasta 180 litros, seguido del tipo II que va desde 180 a 350 litros de capacidad, se diferencian ya que estos últimos poseen un compartimiento de congelador separado.

Los aparatos de tipo III son congeladores tipo baúl y congeladores verticales y tienen una capacidad de hasta 500 litros.

Por último, los refrigeradores comerciales son los aparatos cuyo tamaño es distinto de los antes mencionados y además son utilizados con fines comerciales (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 ).

Todo lo anterior mencionado es respecto a la recolección de los refrigeradores, con el fin de agilizar el tratamiento ya que la principal adaptación en este proyecto frente a los

países de la UE es que se desarrolló el pretratamiento y desensamble de manera manual porque presenta ventajas para la población en general, la principal es la generación de empleos con el fin de que este sea su primer empleo o similar para poder incorporarse a la industria de manera efectiva ya que se tendrán conocimientos básicos de electricidad, electrónica, etc.

Al realizar los procedimientos que son parte del tratamiento de manera manual se tiene más control sobre la recuperación de los materiales es por eso que (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 ) sugiere el uso de las siguientes categorías de materiales recuperados:

- Compresor
- Hierro
- Aluminio
- Intercambiador de calor de aluminio-cobre
- Tuberías de cobre
- Cable
- Vidrio
- Plásticos mixtos
- PUR
- PS
- Transformador
- Condensador
- Aceite
- Refrigerante

Con la lista anterior se puede hacer un monitoreo de la recuperación de materiales, ya que se recomienda medir la masa de los refrigeradores en la entrega y después la masa de los materiales recuperados teniendo un enfoque de balance de masas.

La determinación más importante es la tasa de recuperación del refrigerante, ya que este es el principal residuo contaminante y es importante que se tenga una tasa de recuperación de no menos del 90%, para esa determinación se necesita del tipo de

equipo, el tipo de refrigerante y especificar si el circuito del refrigerante está defectuoso o intacto, es por eso el énfasis tan importante del transporte de los residuos de refrigeradores (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 ).

La tasa de recuperación del refrigerante se obtiene con la siguiente formula:

$$Tasa\ de\ recuperación = \frac{cantidad\ de\ refrigerante\ recuperado\ (g)}{cantidad\ esperada\ de\ refrigerante\ (g)}$$

La cantidad de refrigerante recuperado se obtiene de la diferencia entre el peso de tanque de presión al inicio y al final de la jornada, mientras que la cantidad esperada es la multiplicación de los equipos sin daños por el promedio de carga inicial de las unidades, esta cantidad se encuentra ubicada en el etiquetado del producto o en el compresor del mismo (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 ).

Sin lugar a duda la mejor adición respecto a la gestión integral de RAEE ya establecida en la UE tiene que ver con la seguridad de los trabajadores porque como ya se mencionó estos son parte clave de que se pueda recuperar la mayor parte del residuo. La guía sugiere el equipo de protección personal que deben utilizar los trabajadores que se encarguen del desensamble el cual se muestra a continuación en la *Figura 4-3*.



Figura 4-3. EPP recomendado para desensamble de refrigeradores (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 )

Y como parte de la seguridad es desarrollar el trabajo debidamente, o lo que es lo mismo, no cometer actos inseguros dentro del área de trabajo es esencial que el trabajo se ejecute con las herramientas necesarias y es por eso que la guía también sugiere las herramientas mínimas para realizar el trabajo de desensamble, mostradas en la *Figura 4-4*.



Figura 4-4. Herramientas básicas de una empresa de gestión RAEE (GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia , 2017 )

Tabla 4 Matriz comparativa de gestión de RAEE (*Association of Cities and Regions for Recycling, 2003*)

Países	Recolección	Reciclaje	Reutilización	Financiamiento	Responsabilidad compartida
<b>Bélgica</b>	Parques municipales de contenedores, minoristas y Recupel Asbl	Índices de reciclaje del 70% en aparatos de refrigeración	Separación de aparatos reutilizables después de recolección	Los consumidores pagan una tasa visible impuesta en los productos	-Productores -Autoridades Locales y Regionales -Minoristas
<b>Colombia</b>	Sistemas de recolección Autoridades municipales	Índices de reciclaje del 80%	No especificado	No especificado	- Autoridades locales - Productores - Comité Nacional de RAEE - Empresas gestoras
<b>Dinamarca</b>	Las autoridades locales garantizan recolección y envío de RAEE a plantas de tratamiento	Se pretende recuperar el 40% de cobre a través del reciclaje de 25.000 toneladas de RAEE	No especificado	Gastos de ejecución corren por cuenta de consorcios	-Autoridades Locales -Productores -Minoristas -Empresas gestoras
<b>Noruega</b>	Productores organizan recolección gratuita de RAEE, Autoridades Locales obligados a recibir todos los RAEE, práctica de nuevo por viejo de minoristas	No especificado	La reutilización de los productos en su forma y para sus fines originales, implica que no nos referiremos a ellos como residuos por lo que no aplica normativa	Las autoridades financian las instalaciones de recolección mediante impuestos municipales	-Productores -Autoridades Locales y Regionales -Comercio
<b>Países Bajos</b>	Las Autoridades Locales deben proporcionar medios de recolección selectiva de RAEE	Índices de reciclaje del 75% en aparatos de refrigeración	Se prohíbe conservar con fines comerciales los congeladores que hayan sido desechados tras su uso	Al adquirir AEE los consumidores pagan precio de venta y una aportación para eliminación	-Autoridades locales y regionales -Fabricantes -Habitantes, tributación municipal -Minoristas
<b>Suecia</b>	Los refrigeradores son responsabilidad municipal, demás RAEE son recolectados por El-Kretsen AB	No especificado	No especificado	La financiación de estaciones de recolección es de las autoridades locales, los productores financian la recolección y además se cobra en precio total a consumidores	-Productores -Comercio -Autoridades Locales -Consumidores
<b>Suiza</b>	Los fabricantes tienen la obligación de recolectar los aparatos de su marca, los municipios no tienen obligación legal	Más del 75% de los aparatos descartados se recicla, un 20% se incinera y el 3% se deposita en vertederos	Recolección hecha por productores permite reutilizar entre 5 y el 15% de aparatos desechados	Realizada por fabricantes a partir de una Tasa de Reciclaje Avanzada	-Fabricantes -Autoridades Locales -Minoristas

Sin duda la mejor forma de realizar una comparativa más clara es dentro de una matriz que se muestra en la *Tabla 4* mostrada en la página anterior ya que con esta podemos tener una visión más clara de la gestión internacional para así adoptar un plan de manejo adecuado a las capacidades y normativa presente en México.

La matriz anterior cuenta con una característica en la columna de responsabilidad compartida ya que se colocaron los participantes clave de la gestión pero estos fueron ordenados conforme a la importancia de su participación y aunque podría ser un poco redundante ese apartado, lo cierto es que aunque la responsabilidad es compartida los esfuerzos de algunos participantes son más importantes o más bien recae mayor peso en las actividades que contemple este colaborador.

## 5. PROPUESTA DE PLAN DE MANEJO

---

En este capítulo se desarrollará la propuesta de plan de manejo según las pautas establecidas en la NOM-161-STPS-2011 con el fin de que cumpla con todas las especificaciones.

### 5.1. Información general

Plan	De productos que al desecharse se convierte en residuos de manejo especial
Modalidad del Plan	Mixto, Colectivo, Estatal
Participantes	Gobiernos estatal, fundidoras,
Tipo de residuo (s)	Residuos de Manejo especial. Refrigeradores al final de su vida útil

### 5.2. Metas y objetivos del Plan de Manejo

El plan de manejo se restringe a residuos de refrigeradores provenientes de hogares particulares en el Estado de México, es decir aquellos refrigeradores que cuentan con una capacidad de hasta 500 litros, y se tienen los siguientes objetivos:

- Disminuir la contaminación ambiental provocada por el manejo incorrecto de los residuos de refrigeradores
- Lograr el máximo aprovechamiento de estos residuos
- Colaborar con el Protocolo de Montreal y México para erradicar de una manera responsable los CFC provenientes de los refrigeradores al final de su vida útil

Para lograr los objetivos, en los párrafos subsecuentes se enunciarán los protocolos de acción así como mencionar los requerimientos mínimos que se deben tener para poder alcanzar de manera eficaz los objetivos.

Para lograr la disminución de la contaminación ambiental, objetivo primordial de realizar un plan de manejo:

- Impulsar la participación ciudadana

Lograr esta meta es el punto clave de este plan de manejo ya que la población participando de manera activa en el inicio del proceso del tratamiento de residuos, ahorra al país y a la misma población, tiempo, dinero y esfuerzo. Esta meta se pretende lograr con la colaboración de gobierno estatal y/o secretarías involucradas distribuyendo información relacionada con la necesidad de separar y recolectar refrigeradores, así como la contribución del reciclaje y por último los riesgos potenciales al ambiente y a la salud que provocan los residuos electrónicos, específicamente los refrigeradores.

Los principales temas que deben ser abarcados para que la población pueda ser consciente del gran problema que se tiene tanto en México como en el mundo son los relacionados con la salud estrictamente enfocado a los problemas derivados de la mala disposición de residuos, México es un país con una cultura de la lectura bastante baja, según datos de (INEGI, 2015) los mexicanos leen 3.8 libros por persona al año y sólo 2 de 10 personas comprenden el contenido que leen. Lo anterior hace pensar que las técnicas usadas en la UE que consiste en la distribución de volantes informativos en México podrían ser no aprovechados y por

ende no sería una inversión viable. Para fines de este plan de manejo, la manera más eficiente de que toda la población cuente con la información necesaria sería utilizando el medio de comunicación más popular en México, la televisión. Según datos del Instituto Federal de Telecomunicaciones y la encuesta nacional de consumo de contenidos audiovisuales, el 96% de los encuestados cuentan con al menos un televisor en su hogar, los horarios preferidos por los televidentes son de lunes a viernes en horario nocturno y por las tardes los fines de semana en sistemas de televisión abierta. Seguido de la televisión, el radio y el internet son los más consumidos en México.

Debido a que este es un tema que podría resultar confuso para algunos, se pretende que la información que sea transmitida pueda ser animada para la televisión y así también lo pueda entender la población analfabeta. Mientras que por el radio, se pueda mencionar lo menos posible con algún tipo de frase o melodía que pueda ser escuchada y entendida por todas las personas independientemente de su edad.

- Sistemas de recolección

Como ya se hizo mención en el primer párrafo de este apartado este plan de manejo se restringe a refrigeradores de hogares particulares y/o semejantes que cuenten con la característica de tener una capacidad de hasta 500 litros, por lo que se está realizando una categorización inicial que nos ahorra tiempo en el proceso de pretratamiento. La recolección se llevará a cabo por medio de minoristas con finalidad de crear empleos que cuenten con las prestaciones que provee un trabajo

formal. Además esta recolección se pretende adaptar a la densidad de población, quiere decir que se establecerá este sistema en los municipios de mayor población y sin ningún costo, con lo que se consigue que este método sea accesible.

Si bien es importante la recolección también se debe de hacer énfasis en el protocolo que deben seguir los minoristas para el traslado de los refrigeradores porque aunque estos no sean considerados como Residuos Peligrosos o Sustancias Químicas Peligrosas que requieran de algún mecanismo de transporte es por todo lo ya mencionado aquí que se sabe que son aparatos sensibles y que de carecer del transporte adecuado podrían sufrir averías que dañarían no sólo al equipo sino también provocarían el derrame de las sustancia que queremos controlar y eliminar.

Los refrigeradores no deben ser apilados al azar y mucho menos apoyarlos sobre los serpentines de enfriamiento, por el contrario se debe acomodar en posición vertical pero no al revés y colocar en la misma dirección en ángulo recto al desplazamiento del vehículo transportador. Los refrigeradores más pesados deberán de ser colocados en la parte inferior y los que aparatos más ligeros o más pequeños podrán ser colocados en la parte superior. Es importante mencionar que el operador debe asegurarse de que los aparatos estén sujetos al vehículo de transporte por medio de correas de sujeción a menos que se asegure de que la densidad de empaquetamiento sea elevada. Con el fin de disminuir los daños en los sistemas de refrigeración se deberá evitar el cambio de unidad de transporte, se deberá llenar una bitácora y etiquetar los refrigeradores refrigerados así como proteger los contenedores para evitar la desaparición y daño de aparatos.

Por último, con el fin de agilizar el inicio del proceso de reciclaje se deberán descargar los refrigeradores en su destino final, empresas gestoras, con cuidado de no dañar las piezas y/o sistema de refrigeración y procurando no dejar caer el aparato y deben ser ordenados según el tipo de refrigerador que sea de acuerdo a la preclasificación.

Debido a la gran cantidad de municipios con los que cuenta el Estado de México podría ser complicada la logística de transporte, sin embargo una de las condiciones que debe de contar un centro de recolección es estar ubicada en la zona con mayor densidad, al ser el Estado de México un estado no sólo con una gran densidad de población sino con extensión territorial significativa no sólo debería de existir una sólo instalación que maneje todo el territorio, así la logística de transporte sería más eficiente y se ahorraría más combustible.

El segundo objetivo, lograr el máximo aprovechamiento de los residuos generados por los refrigeradores al final de su vida útil básicamente comprende de un punto, con este procedimiento bien ejecutado se pueden obtener los resultados esperados.

- Desensamble seguro

Sin duda, el desensamble es el procedimiento de donde se puede obtener la máxima ventaja ya que este se realizará de manera manual. Lograr un óptimo procedimiento depende de la capacitación que tengan los trabajadores ya que como consecuencia se obtendrá la mayor cantidad de material valorizable, además parte de tener un sistema de calidad es contar con un procedimiento que involucre calidad ambiental, salud y seguridad, por lo que estableciendo un correcto control de riesgos

dentro del área de trabajo determinada crea una mejor gestión empresarial debido a que se contará con aspectos diferentes a los económicos, financieros y administrativos.

Como medida de prevención de accidentes es vital que se cuente con las condiciones óptimas de operación por lo que la construcción deberá contar con una protección de área que nos permitirá gestionar el acceso del personal. En áreas en donde se realice el desmantelamiento o se mantengan los refrigeradores en almacenamiento deberán tener pisos pavimentados, con protección impermeable y sin fisuras además de contar la delimitación marcada por la normativa.

Debido a los procesos que se realizan en el desensamble, cortes y perforaciones e incluso la descarga de equipo, la empresa gestora no puede establecerse en una zona residencial debido al intenso ruido que puede generar. Por otra parte, el polvo que se desprende por la extracción de la espuma demanda que se cuenta con un sistema de recolección de polvo para evitar que el polvo dispersado dañe los pulmones de los operadores, aunque además éstos cuenten con respiradores para polvo.

Todo lo anterior debería de considerarse de carácter obligatorio a todas las empresas gestoras de residuos de aparatos eléctricos electrónicos, por lo que para fines de este plan de manejo se establecerán de este modo con el fin de garantizar calidad ambiental así como la más alta seguridad para los operadores y así conseguir la productividad así como los estándares de calidad sean los más altos.

Y por último pero no más importante, el objetivo de colaborar con el estado para disminuir la contaminación por CFC con el fin de cumplir con las obligaciones que tiene México con el Protocolo de Montreal:

- Pretratamiento

Consiste en retirar el refrigerante, así como la espuma rígida de poliuretano sin obtener fugas que dañen directamente la capa de ozono, esto se consigue teniendo el equipo y herramienta necesarios, asimismo se requerirá que como mínimo se obtenga una tasa de recuperación no menor del 90% lo que indicará que el vaciado del refrigerante está teniendo buen rendimiento por lo que se puede asegurar que el proceso se está llevando a cabo con el mayor estándar de calidad ambiental.

### 5.3. Modelo del manejo integral para el residuos y mecanismos de operación del plan de manejo

El presente plan de manejo pretende realizar todas sus actividades a través del esquema de responsabilidad compartida, por lo que se necesita de la colaboración de fundidoras para poder incorporar estos metales de nuevo al mercado como parte de la economía circular, lo mismo sucede con las recicladoras de plástico. Lo anterior mencionado son los componentes que pueden reintegrarse en la economía pero los refrigeradores poseen componentes que no pueden ser reciclados por lo que necesitan de un confinamiento especial.

Dichas sustancias que requieren confinamiento o bien, la eliminación total, son los refrigerantes y la espuma rígida de poliuretano PUR, por lo que se necesitará de la

colaboración de empresas dedicadas a este tratamiento especializado. Si bien la empresa gestora capacitará a los trabajadores que realicen labores dentro de la misma planta colaborando en las distintas fases del proceso *Figura 5-1*, se pretende que la secretarías o bien el estado involucrado en este plan de manejo logre informar a toda la población sobre el reciclaje de RAEE, con el fin de que esta pueda tomar decisiones correctas acerca de este problema ya que gran parte del problema que impera es la falta de conocimiento sobre lo que se debe de realizar después de que finaliza la vida útil de algún elemento así como problemas ambientales y de salud que se generan por el tratamiento incorrecto de estos residuos.

Asimismo, también es importante disminuir la presencia de la economía informal especialmente en este sector debido a la peligrosidad que esta genera, pero también y muy importante es que se generen empleos formales ya que al tener ingresos fijos mejorados, se incrementa la productividad por lo que aumenta el crecimiento económico nacional (El Colegio Nacional , 2019).

Todo lo anterior nos da el resultado que se pueden visualizar en la *Figura 5-1* que básicamente contempla tres fases importantes, la primera y más importante es la responsabilidad compartida, ya que de esta depende de que la gestión se realice con éxito, seguida de la fase I que esencialmente contempla el confinamiento de los refrigerantes y aceites; y la fase II, la cual conlleva todo el desmantelamiento de los equipos así como la clasificación y la disposición final, ya sea reciclaje o confinamiento especial.

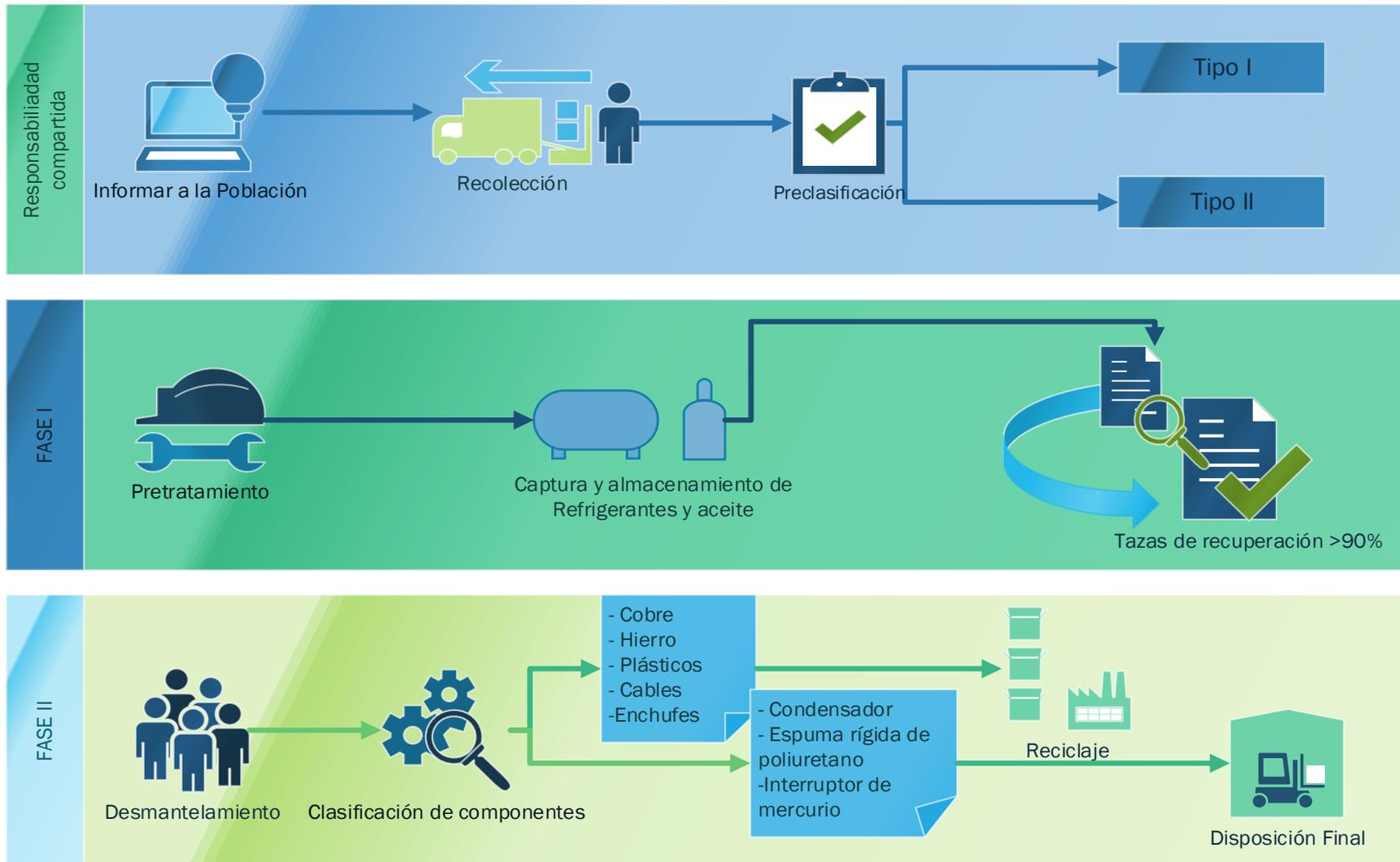


Figura 5-1 Modelo de manejo integral de RAEE

#### 5.4. Mecanismos de difusión, comunicación y capacitación de plan de manejo

##### DIFUSION

Mediante el apoyo de la SEMARNAT y el Gobierno del Estado de México se creará la campaña de difusión correspondiente a la población perteneciente a este estado de la república mexicana así como a los interesados en este proyecto con el fin de que puedan colaborar de una manera efectiva, en el apartado anterior se mencionó a los grupos que abarca este plan de manejo que principalmente será la población que pertenezca a un hogar particular y que cuente por lo menos con un refrigerador que haya finalizado su vida útil. Cabe mencionar que a pesar de ser un servicio que no tendrá ningún costo para los propietarios/consumidores se debe hacer énfasis en que tampoco se tendrán ganancias por este ya que este plan se basa en la responsabilidad compartida y es por eso que toda la población debe ser consciente de que tienen que deshacerse de los residuos de una manera responsable con el medio ambiente, ya que estos afectan directamente la salud humana.

##### CAPACITACIÓN

Lo que comprende a la capacitación está totalmente cubierta por la empresa gestora ya que estos tendrán que estar acreditados por el gobierno, sin ser requerido, no sólo por su procedimiento sino también las condiciones en las que se encuentra el lugar en donde se realizará la fase I y fase II de esta gestión integral de refrigeradores al final de su vida útil.

## 5.5. Descripción de los mecanismos de adhesión al plan de manejo

La participación de las desensambladoras actuales de refrigeradores o recolectores de *fierro viejo* es de gran importancia ya que, gran parte de estas están dentro del comercio informal por lo que no poseen trabajos estables pero tienen una gran ventaja sobre la población en general y es que tienen experiencia en la identificación de metales y/o plásticos que para fines de este plan son los componentes que tienen mayor valor en el mercado por lo que su amplia experiencia ayudará a realizar las actividades de la fase I y fase II con una mayor productividad, por todo lo anterior dicho el estado tendrá que asegurarse de que todas las empresas gestoras de RAEE realicen sus actividades de manera legal para que de esta manera puedan adherirse a este plan de manejo contando con los más altos estándares de calidad y seguridad para así poder estandarizar el procedimiento de desensamble y pretratamiento para que en los tiempos venideros se pueda contar con una legislación que adopte éste y sea de carácter obligatorio en toda la república mexicana.

Si bien este plan de manejo será establecido en el estado de México por la densidad de población tan elevada que existe en esta zona, es posible que los demás estados puedan adherirse a este plan, así como empresas gestoras que existen de una manera formal pero que algún modo no cuentan con la aprobación de la SEMARNAT para poner en marcha un plan de manejo de refrigeradores.

## 6. CONCLUSIONES

---

- Se logró presentar un plan de manejo que contiene la estructura y características propias de la NOM-161-SEMARNAT-2011 aunque se carece de datos estadísticos específicos y actuales.
- El análisis de las distintas naciones que se estudiaron sí permitió identificar los procesos clave de una gestión de RAEE así como su adaptación a México.
- La disminución del impacto ambiental derivado de las sustancias contaminantes de RAEE será paulatino a medida que este plan de manejo se va adoptando por la población y el estado mismo.

## 7. REFERENCIAS

---

- Association of Cities and Regions for Recycling. (Septiembre de 2003). La gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos Electrónicos. Bruselas, Bélgica. Páginas 88
- Australian Department of the Environment. (2014). End-of-Life Domestic Refrigeration and Air Conditioning Equipment in Australia .
- Buekens, A., & Yang, J. (25 de Marzo de 2014). Recycling of WEEE plastics: a review. Japan.
- COGENERA MEXICO. (30 de Marzo de 2019). *COGENERA MEXICO*. Obtenido de <http://www.cogeneramexico.org.mx/socios.php?m=403>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos . (08 de Marzo de 2019). *Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión* . Obtenido de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1\\_270818.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_270818.pdf)
- El Colegio Nacional . (24 de Abril de 2019). Seminario, Economía y Medio Ambiente. CDMX, México. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=Mk2gPbd04HI&t=4839s>
- GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia . (2017 ). *Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados: lineamientos para el uso en el contexto colombiano*. Bogotá. páginas 114
- Gramatyka, P., Nowosielski, R., & Sakiewicz, P. (15 de Noviembre de 2006). Recycling of waste electrical and electronic equipment. Poland. Recuperado el 20 de Julio de 2018
- Hernández Zúñiga , A. (2005). *Seguridad e Higiene Industrial* . México : Limusa .
- Index Mundi. (2019). *Index Mundi*. Recuperado el 17 de Abril de 2019, de <https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/>
- Indigo Proambiental S.A.P.I. de C.V. (14 de Agosto de 2014). Plan de Manejo de residuos de aparatos eléctricos electrónicos. México , México.
- INEGI. (2015). *INEGI*. Recuperado el 04 de Abril de 2019, de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/poblacion/vivienda.aspx?tema=me&e=15>
- Ingeniería y Desarrollo Sustentable, S.A. de C.V. (2010). Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generador por electrodomésticos al final de su vida útil. México.

- Keshav, P., Komal, H., & Gang, L. (9 de Agosto de 2016). Waste electrical and electrónica equipment (WEEE) in Denmark: Flows, quantities and management. Campusvej, Odense M., Denmark. pag.85
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos.* (2003). Mexico: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. páginas 89
- Maldonado Noriega , D. O. (2010). *Residuos de aparatos eléctricos electrónicos; análisis de impacto ambiental. Caso estudio: Ciudad Universitaria, UNAM.* México . pag. 9
- Meinhardt infrastructure & environment group. (Octubre de 2001). Computer & Peripherals material project. Sydney, Australia.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales . (06 de Marzo de 2019). *Gobierno de la Republica de Guatemala.* Obtenido de <http://www.marn.gob.gt/s/convenio-basilea>
- Morato Campos, Á. (Octubre de 2002). Preparación y caracterización de nuevos catalizadores activos en la hidrodechloración selectiva de CFCs y HCFCs. España. Recuperado el 16 de Abril de 2019, de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8516/tesis2AlvaroMorato.pdf?sequence=3>
- Paz , R., & Maguey , H. (13 de Febrero de 2019 ). *Gaceta UNAM* . Obtenido de Academia : <http://www.gaceta.unam.mx/mexico-es-el-tercer-productor-mundial-de-basura-electronica/>
- Prieto Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (Agosto de 2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. España. Recuperado el 04 de Abril de 2019
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo . (06 de Marzo de 2019). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo* . Obtenido de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development/environment-and-natural-capital/montreal-protocol.html>
- PROMEXICO. (2014). Diagnóstico Sectorial; electrodomésticos. México. Recuperado el 04 de Abril de 2019, de <http://www.promexico.gob.mx/documentos/diagnosticos-sectoriales/electrodomesticos.pdf>
- Real Academia Española. (28 de Marzo de 2019). *Real Academia Española* . Obtenido de <https://dle.rae.es/?id=VR7ahaY>
- RECYTRANS. (28 de Marzo de 2019). *Soluciones globales para el reciclaje.* Obtenido de <https://www.recytrans.com/blog/tipos-de-reciclaje/>

Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (31 de Octubre de 2014). México. Recuperado el 04 de Abril de 2019

Secretariat of the Basel Convention. (2014). *Convenio de Basilea, sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación*. Geneva.

SEMARNAT. (2012). Plan de Manejo de Vehículos al Final de su Vida Útil. México.

SEMARNAT. (10 de Noviembre de 2017). 30 años protegiendo la capa de ozono. México. Recuperado el 07 de Marzo de 2019 , de [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=195&v=CUueheyitbw](https://www.youtube.com/watch?time_continue=195&v=CUueheyitbw)

SEMARNAT. (14 de Marzo de 2019). Obtenido de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/planes-de-manejo-rme>

Sistema de Información Legislativa . (08 de Marzo de 2019). *Sistema de Información Legislativa* . Obtenido de <http://sil.gobernacion.gob.mx/Glosario/definicionpop.php?ID=54>