



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA  
MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL  
PROGRAMA INTERFACULTADES

**RESIDUOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS EN CHILE, CASO DE  
ESTUDIO:  
TELEVISORES DE TUBOS DE RAYOS CATODICOS EN  
SANTIAGO.**

Tesis para optar al grado de  
Magíster en Gestión y Planificación Ambiental

RUBEN DARIO DILORENZO PALADINES

Profesora Guía: Dra. Margarita Préndez  
Profesor Co-Guía: Ing. Oscar Carvajal

Santiago, Chile.  
2018



## UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA  
MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL  
PROGRAMA INTERFACULTADES

Profesora Guía

Nombre:  
Nota:

Margarita Préndez

Firma

---

Profesor Co-Guía

Nombre:  
Nota:

Oscar Carvajal

Firma

---

Profesor Consejero/a

Nombre:  
Nota:

Verónica Díaz

Firma

---

Profesor Consejero/a

Nombre:  
Nota:

Cristian Araneda

Firma

---

Santiago, Chile  
2018

## DEDICATORIA

A mi Dios que jamás me abandono, he visto tu presencia en mis caminos y has tenido misericordia de mí.

A mis padres y hermanos que siempre me acompañaron.

Y en especial a Jeniffer y Chichilo, que estuvieron a mi lado en los días más difíciles de mi vida, me apoyaron y nunca me dejaron solo.

## AGRADECIMIENTO

Al Señor mi Dios y su infinita misericordia que me levanto de mi caída y me regreso al camino que él me preparo, por el que hoy tránsito y a que pesar de los tropiezos no me abandona.

A mi familia, que mientras estemos juntos podemos superar cualquier adversidad.

A mis padres que siempre creyeron en mí, mi madre con su gran paciencia y amor siempre me dio su apoyo y a pesar de la distancia jamás me dejo solo, a mi padre que con sabiduría siempre me aconsejo y ha sido desde siempre una guía y ejemplo en mi vida.

A mis hermanos por todo su apoyo y amor incondicional, y por la amistad que nos caracteriza que hace frente a toda adversidad.

A la profesora Margarita y el profesor Oscar por su paciencia y disposición en este trabajo.

A doña Berta por su cariño y comprensión, siempre tuvo sus puertas abiertas para mí y sus manos prestas a ayudarme.

Y por último y no menos importante a Jeniffer, pilar fundamental en mi estancia en Chile, sin su ayuda no hubiera sido posible alcanzar este logro. Gracias por tu amor incondicional, toda tu paciencia y el gran esfuerzo que hiciste sin pedir nada a cambio.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
1.1.1. Objetivo general .....	2
1.1.2. Objetivos específicos .....	2
<b>1.2. HIPÓTESIS.....</b>	<b>2</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Residuos eléctricos y electrónicos.....</b>	<b>3</b>
2.1.1. Definición .....	3
2.1.2. Clasificación .....	8
2.1.3. Generación .....	10
2.1.4. Contenido tóxico de los RAEEs.....	16
2.1.5. Riesgo de exposición a agentes tóxicos.....	20
2.1.6. Destino final .....	21
<b>2.2. Residuos de televisores de tubo de rayo catódico.....</b>	<b>25</b>
2.2.1. Definición de TV TRC.....	25
2.2.2. Generación .....	26
2.2.3. Apagón Analógico .....	28
2.2.4. Uso y penetración de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en Chile	29
<b>3. MATERIALES Y MÉTODO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Estimación de los residuos de TVS TRC latentes en Chile .....</b>	<b>32</b>
3.1.1. Método de suministro del mercado.....	32
3.1.2. Datos y supuestos.....	33
<b>3.2. Identificación de componentes tóxicos.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3. Elaboración de un plan de gestión para residuos de TV TRC .....</b>	<b>35</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1. Flujo de residuos de TV TRC en tres posibles escenarios de generación en Chile</b>	<b>36</b>

<b>4.2. Componentes y elementos tóxicos en TV TRC.....</b>	<b>45</b>
4.2.1. Tubo de rayo catódico (TRC) .....	47
4.2.1.1. Estimación de elementos tóxicos presentes en los tubos de rayos catódicos del total calculado de residuos de televisores a generarse .....	50
4.2.2. Partes plásticas.....	53
4.2.2.1. Estimación de tipos de plásticos a generarse en el total calculado de residuos de TV TRC .....	56
<b>4.3. Posibles impactos de una incorrecta disposición final.....</b>	<b>57</b>
4.3.1. Tubo de rayo catódico.....	57
4.3.1.1. Plomo .....	60
4.3.1.2. Bario.....	61
4.3.2. Partes plásticas.....	63
4.3.2.1. Polibromodifenil éteres .....	63
<b>4.4. Lineamientos para el diseño de un plan gestión para los televisores de tubo de rayos catódicos al final de su vida útil en Santiago de Chile .....</b>	<b>66</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>84</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>99</b>
 <b>Anexo 1. Lista de RAEE de acuerdo a las categorías establecidas por la directiva de la UE sobre RAEE. (UE, 2012). .....</b>	 <b>99</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diferenciación de AEE y RAEE .....	7
Cuadro 2. Categorías de RAEE de acuerdo con la directiva de la UE sobre RAEE. ....	8
Cuadro 3. Generación y crecimiento anual de los RAEE en el mundo. ....	11
Previsión.....	11
Cuadro 4. Crecimiento de la generación per cápita de los RAEE.....	11
Cuadro 5. Principales países/ciudades generadores absolutos y per cápita de RAEE en el 2016 .....	13
Cuadro 6. Comparación de generación de RAEE absoluta y per cápita en el 2016. ....	14
Cuadro 7. RAEE generados en América latina en el 2016 en cantidades absolutas y per cápita.....	16
Cuadro 8. Sustancias tóxicas comúnmente presentes en los RAEE .....	18
Cuadro 9. Sustancias tóxicas comúnmente presentes en los RAEE y su impacto en la salud.....	19
Cuadro 10. Resumen de los componentes y sustancias peligrosas encuentra comúnmente en los desechos electrónicos. ....	20
Cuadro 11. Televisores en el mercado mundial (millones de unidades). ....	26
Cuadro 12. Generación de residuos de pantallas TRC a nivel mundial en el 2014. ....	26
Cuadro 13. Presencia de TICs en los hogares chilenos .....	30
Cuadro 14. Promedio de televisores por hogar en Chile .....	30
Cuadro 15. Tipos de televisores en hogares en Chile .....	30
Cuadro 16. Promedios de vida útil utilizados de televisores TRC.....	34
Cuadro 17. Códigos de aranceles aduaneros para televisores análogos o TRC usados en los años 1999 a 2014.....	36
Cuadro 18. Consumo aparente de televisores trc en Chile. ....	37
Cuadro 19. Consumo aparente de TVS TRC en Santiago entre el año 2002 y 2014 (valor en unidades).....	38
Cuadro 20. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Chile según el método de suministro del mercado. ....	39
Cuadro 21. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Santiago según el método de suministro del mercado.....	40
Cuadro 22. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Chile según el método de suministro del mercado. ....	41

Cuadro 23. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Santiago según el método de suministro del mercado.....	42
Cuadro 24. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Chile según el método de suministro del mercado. ....	43
Cuadro 25. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Santiago según el método de suministro del mercado.....	44
Cuadro 26. Estimación de la generación potencial de residuos de TVS TRC del 2018 en adelante (valores en toneladas).....	45
Cuadro 27. Clasificación de estudios base sobre TRVS TRC .....	46
Cuadro 28. Plomo contenido en diferentes tamaños de trc. ....	49
Cuadro 29. Elementos presentes en vidrio TRC, porcentaje de óxido por peso total. ....	50
Cuadro 30. Peso promedio de UN TV TRC y del TRC.....	51
Cuadro 31. Elementos presentes en el TRC de un televisor (valores en kg).....	52
Cuadro 32. Total de elementos en vidrio TRC de televisores al final de su vida útil esperados a generarse a partir del 2018 (valores en toneladas).....	53
Cuadro 33. Valores máximos de concentración (MCV) para materiales homogéneos en los nuevos equipos eléctricos y electrónicos (EEE) según la Directiva ROHS.....	55
Cuadro 34. Sustancias peligrosas presentes en partes plásticas de televisores TRC en concentraciones superiores a las permitidas en la Directiva ROHS. ....	55
Cuadro 35. Tipos de plásticos presentes en un TV TRC en peso y porcentaje .....	56
Cuadro 36. Estimación de residuos plásticos de TV TRC que se espera sean generados en los tres escenarios de cálculo planteados (valores en toneladas). ....	56
Cuadro 37. Estimación de la generación potencial de vidrio TRC de residuos de televisores del 2018 en adelante (valores en toneladas).....	57
Cuadro 38. Estimación de la generación potencial de plomo y bario en vidrio TRC de residuos de televisores del 2018 en adelante (valores en toneladas). ....	58
Cuadro 39. Estimación de residuos plásticos de TV TRC que se esperan ser generados en los tres escenarios de cálculo planteados (valores en toneladas). ....	63
Cuadro 40. Actores dentro del Plan de Gestión .....	72
Cuadro 41. Empresas de Reciclaje en Santiago .....	78



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo AEE a RAEE y su valorización. ....	7
Figura 2. Distribución mundial de RAEE generados en el 2016. ....	12
Figura 3. Clasificación del total de RAEE generados a nivel global en el 2016. ....	12
Figura 4. Crecimiento de la generación de RAEE en América .....	14
Figura 5. Clasificación del total de RAEE generados en América latina en el 2014.....	15
Figura 6. Principales actividades de reciclaje de RAEE en China y la India, tipos de emisiones producidas y vías ambientales generales.....	23
Figura 7. Procedimiento metodológico para el desarrollo de la tesis. ....	31
Figura 8. Vista esquemática de los componentes de un TRC .....	48
Figura 9. Estructura típica de un TV TRC .....	48
Figura 10. Distribución del peso de un TV TRC. ....	51
Figura 11. Tipos de polímeros presentes en las partes plásticas de un tv trc, porcentaje en relación al peso total de las partes plásticas del dispositivo. (n = negro).....	54
Figura 12. Contenedores de pantallas en Punto Limpio Vitacura. ....	69
Figura 13. Etapas del diseño de un sistema de gestión de residuos de tvs trc.....	70

## RESUMEN

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos se presentan en la actualidad como un nuevo componente dentro del flujo de los residuos sólidos urbanos, los que han demostrado un alto crecimiento en los últimos años a nivel mundial, y Chile no es la excepción. Uno de los principales problemas relacionados con estos residuos son los elementos tóxicos presentes en sus componentes como Cadmio, Cromo, Plomo, Mercurio, Clorofluorocarbonos (CFC), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), Polibromodifenil éteres (PBDE), Policlorodibenzofuranos (PCDF), Policlorodibenzodioxinas (PCDD), entre otros. Si bien estos aparatos no son intrínsecamente tóxicos mientras se mantienen en uso o almacenados, la situación cambia cuando son expuestos a agentes externos o afectados por procesos de reciclaje, valoración o disposición final donde las sustancias contenidas en ellos pueden lograr ser liberadas y presentar riesgos de afectación al medio ambiente y la salud humana.

Dentro de la gran variedad de residuos eléctricos y electrónicos este trabajo se enfocó en los televisores de tubo de rayo catódico que en la actualidad dejaron de ser comercializados desplazados por las nuevas tecnologías, pero que aún se presentan en cantidades significativas dentro de países en vías de desarrollo, como es el caso de Chile donde estudios revelan que en el año 2017 el 57% de los hogares chilenos poseían todavía estos aparatos. El objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis de la situación de los televisores de tubo de rayo catódico en Chile, en el que se realizó estimaciones de su generación como residuos, basados en el consumo aparente de los últimos años que fueron comercializados junto con el valor promedio de vida útil que fue estimado en este trabajo. También se determinó los elementos tóxicos que contienen, los posibles impactos de una mala disposición final y se presentaron lineamientos para el diseño de un plan de gestión específico para ellos. Los resultados mostraron que existe una cantidad significativa de estos dispositivos que se estima que irán apareciendo dentro del flujo de residuos urbanos durante los siguientes años. También se identificó la variedad de elementos tóxicos que contienen donde destaca el plomo con un valor promedio de 1,2 kg por cada uno de estos dispositivos. Esto permite evidenciar la necesidad de una gestión en la captura, recolección y disposición final de estos residuos que presentan un potencial de generar impactos al medio ambiente y la salud humana.

## **SUMMARY**

The waste of electrical and electronic devices are currently presented as a new component in the flow of urban solid waste; these have shown a high growth in recent years worldwide and Chile is not an exception. One of the main problems related to this waste are the toxic elements present in its components such as Cadmium, Chromium, Lead, Mercury, Chlorofluorocarbons (CFC), Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH), Polybromodiphenyl ethers (PBDE), Polychlorodibenzofurans (PCDF), Polychlorodibenzodioxins (PCDD), among others. Although these devices are not intrinsically toxic while kept in use or stored, the situation changes when they are exposed to external agents or affected by recycling processes, valuation or final disposal where the substances contained in them can be released and present risks of affectation to the environment and human health.

Within the great variety of electrical and electronic waste, this work focused on cathodic ray tube television sets that at present were no longer marketed displaced by new technologies, but which are still present in significant quantities in countries in the process of development, as is the case in Chile, where studies reveal that in 2017, 57% of Chilean households still possessed these devices. The objective of this study was to perform an analysis of the situation of cathode ray tube television in Chile, in which estimates of its generation as waste were made, based on the apparent consumption of recent years that were commercialized together with the average value of useful life that was estimated in this work. It was also determined the toxic elements that they contain, the possible impacts of a final bad disposition and guidelines were presented for the design of a specific management plan for them. The results showed that there is a significant amount of these devices that are expected to appear within of the urban waste stream during the following years. The toxic elements variety that contains lead was also identified in an average value of 1.2 kg for each of these devices. This makes it possible to demonstrate the need for management in the capture, collection and final disposal of these wastes that have the potential to generate impacts on the environment and human health.

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y la innovación en la industria tecnológica y específicamente en el área de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs), han permitido un importante incremento del mercado de los bienes de consumo relativos a estas tecnologías en general, y a los receptores de televisión en particular.

Chile no es productor de insumos para la emisión o recepción de señal audiovisual, ya sea vía ondas hertzianas, en franca desaparición o por vía de fibra óptica o satelital, en constante desarrollo. Sin embargo, el desarrollo del consumo de estos productos, importados desde diferentes países productores, ha marcado en Chile un franco crecimiento.

Chile es, sin duda uno de los países de Latinoamérica que ha conocido el mayor desarrollo de las TICs, y en el marco de los países Sudamericanos, es el que presenta la economía más abierta, además de ser uno de los primeros que se adaptó a la incorporación de nuevas tecnologías; sin embargo, este crecimiento de importación y de consumo de bienes relativos a las TICs, específicamente receptores de señal audiovisual, ha generado a su vez un aumento en la generación de desechos de estos dispositivos, con la correspondiente necesidad de gestión al ser descartados por sus dueños por considerarlos obsoletos o, como ha sucedido en otros países, según se ha constatado en la literatura, quedan en los domicilios de las personas, sin saber cómo deshacerse de ellos, o porque desconocen los riesgos potenciales que podría implicar el almacenamiento en su domicilio de aparatos con tubos catódicos.

El alcance limitado de los sistemas de gestión de residuos y de las políticas de reciclaje no han podido seguir el paso acelerado de dicho avance tecnológico y el rápido recambio de artículos dentro de los hogares, produciendo así varios flujos de residuos y otros que aún no se manifiestan del todo, como los televisores de tubo de rayos catódicos los cuales se encuentran en una considerable cantidad latentes en muchos de los hogares de Santiago. Los televisores de tubo de rayos catódicos contienen algunos materiales con valor de mercado y algunos también tóxicos, razón por la cual se requiere el análisis de los posibles riesgos ambientales y humanos que podrían causar, lo que constituye en su base la propuesta para esta investigación.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo general**

Análisis de la situación de los televisores de tubo de rayo catódico como parte de un flujo latente de residuos electrónicos presentes en Santiago de Chile.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Estimar el volumen de residuos de televisores de tubo de rayos catódicos que se encuentra latente en Santiago.
- Determinar los componentes de los televisores de tubos de rayos catódicos, identificando los elementos tóxicos presentes en ellos y los posibles impactos de una incorrecta disposición final.
- Elaborar un plan de gestión para los televisores de tubo de rayos catódicos al final de su vida útil.

## **1.2. HIPÓTESIS**

Los televisores de tubo de rayos catódicos en condiciones de obsolescencia o avería, se presentan de manera latente formando parte de un nuevo flujo de residuos, que pueden contener elementos tóxicos en cantidades considerables y que dé no realizarse una gestión correcta en su disposición final, podrían ejercer efectos negativos para el medio ambiente y el ser humano.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Residuos eléctricos y electrónicos**

#### **2.1.1. Definición**

El desarrollo de la tecnología y de la industria electrónica ha dado pasos gigantescos en las últimas décadas aumentando sus alcances a diferentes aspectos y actividades de los seres humanos, traspasando fronteras geográficas, económicas y generacionales que han permitido una penetración de la tecnología a nivel global. Muchos de estos aparatos son totalmente indispensables en las áreas médicas, educacionales, alimenticias, comunicacionales, así como también en el uso diario en actividades de ocio, culturales y de entretenimiento. Dentro de esta extensa gama de aparatos existen muchos de uso doméstico como lavadoras, refrigeradores, televisores, computadoras, celulares, y otros, que se mantienen constantemente mejorando sus prestaciones, actualizándose constantemente, aumentando su producción y su consumo, y una vez culminada su vida útil convertidos en residuos. Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) también conocidos como residuos electrónicos o e-waste en inglés, son los términos genéricos usados para definir a distintos tipos de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) que han dejado de tener algún valor para sus propietarios, y fueron retirados de su uso y/o desechados. La gestión de estos residuos ha logrado convertirse en un serio problema debido al constante crecimiento de su flujo y los materiales tóxicos y de valor recuperables que contienen (Yoshida et.al., 2016).

No existe una definición estándar del término residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, lo cual ha generado una inconsistencia global en el entendimiento y uso del término, dando lugar a diversas definiciones contenidas en políticas, reglamentos y directrices (Widmer et al., 2005; Step, 2014). Por ejemplo, en Estados Unidos no existe una definición legal a nivel nacional sobre RAEE, sin embargo existen diferentes leyes en cada estado donde varía el alcance hacia este tipo de residuos; en cada una de ellas se puede incluir o excluir uno o más de estos productos. Cabe mencionar que de los 50 estados tan solo 25 han aprobado la ley de reciclaje de RAEE, los demás están trabajando en su aprobación (Karidis, 2017).

Para poder entender que son los RAEE es necesario partir definiendo que son los AEE. A continuación se mencionan dos de las diferentes definiciones encontradas en la literatura consultada:

1.- De a la Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (Julio del 2012) sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos artículo 3 literal a, “los “aparatos eléctricos y electrónicos” o “AEE” son todos los aparatos que para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos, y que están destinados a utilizarse con una tensión nominal no superior a 1.000 voltios en corriente alterna y 1.500 voltios en corriente continua” (UE, 2012).

2.- La organización STEP (Solving The E-waste Problem) define a los AEE como: "Cualquier artículos para el hogar o negocio con circuitos o componentes eléctricos con corriente o fuente de la batería” (Step, 2014). Cabe mencionar que esta definición de AEE es independiente de cualquier legislación sobre desechos electrónicos o responsabilidad extendida al productor. Esta definición abarca tanto artículos del hogar como comerciales o de negocios.

Las definiciones anteriormente expuestas dejan en claro el universo de aparatos que encierran los AEE, y es de entender que estos al final de su ciclo de vida pasarán a convertirse en residuos por lo cual es necesario conocer la definición de estos insumos en su estado de residuos, por lo cual a continuación se presentan diversas definiciones encontradas en la literatura e información consultada:

La Directiva 2012/19/UE define a los RAEE como “todos los aparatos eléctricos y electrónicos que pasan a ser residuos de acuerdo con la definición que consta en el artículo 3, apartado 1<sup>1</sup>, de la Directiva 2008/98/CE; este término comprende todos aquellos componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte del producto en el momento en que se desecha (UE, 2011).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), considera como residuo electrónico a “todo aparato que utiliza un suministro de energía eléctrica y que ha llegado al fin de su vida útil” (OCDE 2001).

---

<sup>1</sup> «residuo»: cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse.

La organización STEP (Solving The E-waste Problem) define a los residuos eléctricos o electrónicos como “el término que se utiliza para cubrir artículos de todo tipo de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) y sus partes que han sido descartados por el propietario como residuos sin la intención de reutilización” (STEP, 2014).

Otras definiciones utilizadas en países sudamericanos son las siguientes:

En Colombia el congreso definió que los RAEE: son los aparatos eléctricos o electrónicos en el momento en que se desechan o descartan. Este término comprende todos aquellos componentes, consumibles y subconjuntos que forman parte del producto en el momento en que se desecha, salvo que individualmente sean considerados peligrosos, caso en el cual recibirán el tratamiento previsto para tales residuos (Ley 1672, 2013).

En Argentina la Ley de Gestión Sustentable de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos define a los RAEE como: Aparatos eléctricos y electrónicos desechados o a desecharse, sus componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte de los mismos, procedentes tanto de hogares particulares como de usos profesionales, a partir del momento en que pasan a ser residuos (Ley N° 14321, 2011).

En Perú el Ministerio de Ambiente define a los RAEE: Aparatos eléctricos o electrónicos que han alcanzado el fin de su vida útil por uso u obsolescencia y que se convierten en residuos. Comprende también los componentes, subconjuntos, periféricos y consumibles de algunas categorías de aparatos (MINAM, 2012).

En Chile en el año 2016 fue aprobada la ley 20.920 sobre responsabilidad extendida del productor (REP), que tiene como intención promover el reciclaje. En ella se mencionan a los AEE dentro de conjunto denominado productos prioritarios los cuales serán regulados por esta ley prioritariamente al final de su ciclo de vida, sin embargo no hay definición específica para los RAEE. Previo a esta ley, los RAEE eran categorizados por los elementos que contienen y de acuerdo a lo indicado en el D.S. N° 148/2003 son considerados peligrosos. Sin embargo es necesario señalar que esta clasificación carece de exactitud puesto que el insumo sigue siendo el mismo hasta que es intervenido por algún agente externo (procesos de reciclaje o disposición final) (Perkins et al., 2014). El D.S. N° 148/2003 define como Residuo o desecho: sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar (DS 148, 2003).



Existen muchas definiciones que se podrían seguir citando pero todas presentan similitud, variando sólo en el alcance al momento de la inclusión de todas las partes y componentes presentes en ellos. A pesar de esta aparente claridad al momento de definirlos, resulta difusa la determinación de cuando un AEE pasa a convertirse en RAEE; es intuitivo pensar que eso sucede cuando el aparato presenta fallas, desperfectos o daños que impidan el correcto funcionamiento para el cual fue fabricado, pero se debe señalar que muchos de estos aparatos son desechados a pesar de encontrarse aún en condiciones óptimas de funcionamiento: esto sucede porque el propietario considera que el insumo ya no es útil para él, sea por motivos de capacidad técnica, edad, depreciación, sustitución, etc. (STEP, 2014). Todo esto sumado a la falta de programas de gestión para este tipo de residuos produce la pérdida de oportunidad de un re-uso, reciclaje y valoración de estos insumos, de manera que se podría disminuir la cantidad y volumen de residuos dispuestos en rellenos sanitarios y/o vertederos autorizados o clandestinos.

Entre las definiciones encontradas de residuos, la expuesta por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT), se presenta muy completa y permite una formulación de un sistema de manejo de gestión más preciso e invita a que se realicen otros procesos previos a su disposición final (Figura 1). Dicha definición es la siguiente: residuo es un “material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o eliminación final conforme a lo dispuesto en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos y demás ordenamientos que de ella deriven” (Rojas et al., 2015).

Diferenciar un RAEE de un AEE es imperativo, porque ello mejora la apertura a procesos de reacondicionamiento y reciclaje que permiten hacerle frente al problema de los RAEE, mitigando problemas de agotamiento de recursos y disminuyendo riesgos ambientales y de salud (Tsydenova O. y Bengtsson M., 2011). El convenio de Basilea sobre los movimientos transfronterizos de los RAEE y AEE usados presenta directrices técnicas que permiten su diferenciación apoyado en criterios de funcionalidad y potencial de reparación (PNUMA, 2013) (cuadro 1).

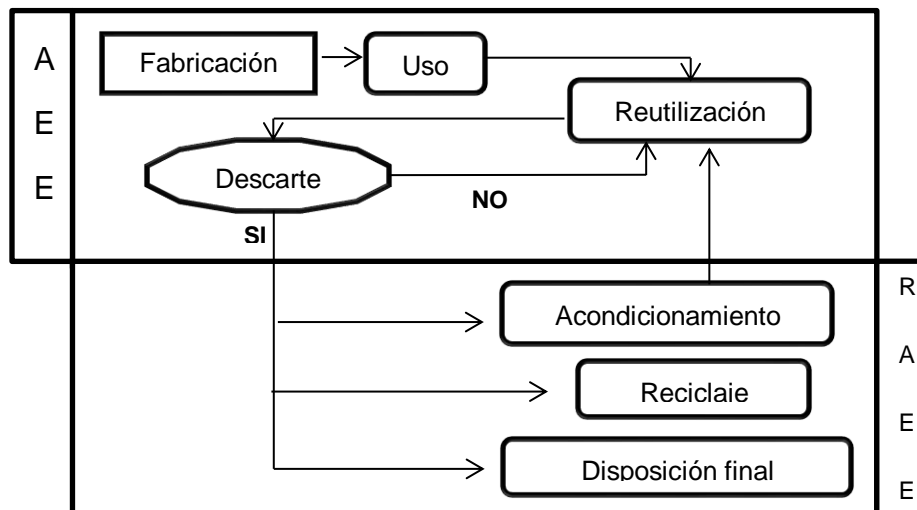


Figura 1. Flujo AEE a RAEE y su valorización.  
Fuente: STEP, 2014

Cuadro 1. Diferenciación de AEE y RAEE

Estado o Tipo	Descripción	Clasificación
AEE nuevo y funcionando	Nuevos productos o componentes que se entregan y se envían entre diferentes países.	Esta corriente se clasifica como "no residuos" por defecto (nuevos productos para su distribución)
Usada y funcionando AEE adecuados para su reutilización directa	El equipo no necesita reparación, reconstrucción o perfeccionamiento ulterior de hardware.	Esta corriente puede clasificarse como "no usado"; Sin embargo, en algunos países se aplican las restricciones de exportación / importación
Usado y no funcionando pero reparable	El equipo que puede ser reparado, volviendo a una condición de trabajo de realizar las funciones esenciales de las que fue diseñado. Es necesario realizar pruebas para determinar esta condición.	La clasificación de esta corriente está en discusión por Basilea Partes, ya que el proceso de reparación puede dar lugar a partes peligrosas que son removidos en el país de reparación, esto posiblemente resultando en un movimiento transfronterizo de desechos peligrosos. Algunos países clasificarían esta corriente como "residuos"; otros lo clasifican como "no residuos."
Usado, no funcionando y no reparable	La forma común de "basura electrónica". Puede ser mal etiquetado como "AEE".	Deben clasificarse como "residuos".
RAEE	AEE que son residuos en el sentido del contexto Directiva marco de residuos, incluidos los componentes y subconjuntos.	Deben clasificarse como "residuos".

Fuente: Convenio de Basilea, 2013 c.p. Perkins et al., 2014

### 2.1.2. Clasificación

La Directiva 2012/19/UE de Julio del 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos presenta una clasificación de diez categorías (cuadro 2):

Cuadro 2. Categorías de RAEE de acuerdo con la directiva de la UE sobre RAEE.

<b>Categoría 1</b>	Grandes Electrodomésticos
<b>Categoría 2</b>	Pequeños Electrodomésticos
<b>Categoría 3</b>	Equipos de informática y telecomunicaciones
<b>Categoría 4</b>	Aparatos electrónicos de consumo y paneles fotovoltaicos
<b>Categoría 5</b>	Aparatos de alumbrado
<b>Categoría 6</b>	Herramientas eléctricas y electrónicas (con excepción de las herramientas industriales fijas de gran envergadura)
<b>Categoría 7</b>	Juguetes o equipos deportivos y de ocio
<b>Categoría 8</b>	Productos sanitarios (con excepción de todos los productos implantados e infectados).
<b>Categoría 9</b>	Instrumentos de vigilancia y control.
<b>Categoría 10</b>	Máquinas expendedoras

Fuente: UE, 2012

En la literatura consultada en este trabajo, esta clasificación es utilizada en reiterada ocasiones. Años atrás Widmer (2005) afirmaba que “esta categorización parece estar en el proceso de convertirse en un estándar ampliamente aceptado”. (p. 439). Esta clasificación además presenta una lista con los AEE que se encuentran comprendidos en cada una de las diez categorías y se describen en el anexo 1.

Otra de las clasificaciones existentes se basa en la producción, comercialización y consumo de los AEE, siendo esta misma válida para estos insumos en calidad de residuos y los clasifica en tres líneas (C y V Medioambiente, 2009):

**Línea blanca:** electrodomésticos relacionados con las labores domésticas de conservación y preparación de alimentos y acondicionamiento térmico (por ejemplo, lavadoras, lavavajillas, hornos y cocinas).

**Línea marrón:** aparatos audiovisuales de uso doméstico (televisores, equipos de música, vídeos, entre otros).

**Línea gris:** equipos utilizados en las tecnologías de la información y aparatos de telecomunicación (equipos informáticos como CPU's, pantallas y teléfonos móviles, entre otros).

Como se presentó en las clasificaciones anteriores los RAEE contienen una amplia gama de productos, abarcando artículos de uso doméstico o comercial y no necesariamente su categorización debe partir en su condición de residuo, sino continuar usando la que presentaban en su calidad de AEE, como ya se mostró en la clasificación anterior y se presenta en la siguiente, en la cual se utilizan seis categorías (Baldé et al., 2015):

**Pantallas, monitores.** El equipo típico comprende televisores, monitores, ordenadores portátiles y tabletas.

**Lámparas.** El equipo típico comprende lámparas fluorescentes rectas, lámparas fluorescentes compactas, lámparas fluorescentes, lámparas de descarga de alta intensidad y lámparas LED.

**Equipos grandes.** El equipo típico comprende lavadoras, secadoras de ropa, lavadoras de cocina, estufas eléctricas, grandes máquinas de impresión, copiado y equipo de paneles fotovoltaicos.

**Equipos pequeños.** El equipo típico comprende aspiradoras, microondas, equipos de ventilación, tostadoras, hervidores eléctricos, máquinas de afeitar eléctricas, balanzas, calculadoras, radios, cámaras de video, juguetes eléctricos y electrónicos, pequeñas herramientas eléctricas y electrónicas, dispositivos médicos pequeños, pequeños instrumentos de vigilancia y de control.

**Pequeños equipos de informática y de telecomunicaciones.** El equipo típico comprende teléfonos móviles, GPS, calculadoras de bolsillo, routers, ordenadores personales, impresoras, teléfonos.

La utilización de estas clasificaciones son importantes al momento del tratamiento y disposición final a realizar, cada categoría se diferencia en la cantidad de elementos tóxicos y/o recuperables y los impactos que se puedan generar, por lo tanto la recolección, reciclaje y disposición puede variar en cada categoría.

### 2.1.3. Generación

Son innegables los beneficios que han generado el crecimiento de estas tecnologías, lo que ha impulsado el desarrollo de avances constantes como nuevos diseños más atractivos, funciones “inteligentes”, volviéndose necesarios en el día a día; este mismo desarrollo tecnológico trajo consigo un recambio cada vez más rápido de estos insumos sumado a la tendencia de compra de los consumidores, factores de presión social y la rápida obsolescencia de estos aparatos que ha logrado acelerar su descarte, generando este nueva clase de residuo (Widmer et al., 2005).

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos es uno de los flujos de residuos que presentan el más rápido crecimiento en los últimos años (Ogunsetain et al., 2009; Kidee et al., 2013; Huisman, 2012; Lundgren K., 2012; Widmer et al., 2005), convirtiéndose en un reto para los municipios los cuales no están debidamente preparados para el manejo de una corriente de residuos tan complejos (Schuelp, 2014).

Es un hecho que el uso de los AEE a nivel global ha crecido mucho en las últimas décadas y de igual manera lo ha hecho la penetración de estos insumos en los diferentes mercados, tanto en países desarrollados como en los en vías de desarrollo (Schuluep et al., 2009). Fenómenos como la globalización y el continuo y rápido avance tecnológico ha provocado cambios en el estilo de vida de los consumidores de los AEE, desarrollando conductas proclives a la generación de residuos de estos aparatos (Kidee et al., 2013).

El tiempo de vida de muchos de los AEE ha ido disminuyendo impulsado por la rápida innovación, y el fácil acceso a estas tecnologías y aumentando la tasa de obsolescencia (Ogunseitan, 2009), reduciendo el tiempo de vida aceptable de un AEE para el consumidor. Por ejemplo la industria de los dispositivos móviles o celulares presenta constantemente nuevos modelos, impulsando la renovación de equipos aún funcionales por otros más “modernos” , y no sólo el equipo discontinuado se presenta potencialmente a formar parte del flujo de residuos, sino también sus accesorios y/o partes, como baterías, cargadores, etc. (Perkins et al., 2014).

Los RAEE comprenden un flujo de residuos, con un tasa de crecimiento anual de cerca del 5% a nivel mundial (McCann y Wittmann, 2015); la generación mundial pasó de 32,2 Mt (millones de toneladas) en el 2009 a 44,7 Mt en el 2016, y estima que llegará a 48,1 Mt

en el 2017 (cuadro 3) y a 52,2 Mt en el 2021 (Baldé et al., 2017). La generación per cápita a nivel mundial también presentó un aumento pasando de 5 kg/hab en el 2010 a 6,1 kg/hab en el 2015 y 2016 (cuadro 4).

Cuadro 3. Generación y crecimiento anual de los RAEE en el mundo.

CONTINENTE	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Previsión
								2017
África	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4
América	10,1	10,6	11	11,4	11,7	12,1	11,3	12,9
Asia	11,5	12,5	13,6	14,8	16	17,3	18,2	19,7
Europa	10,6	11	11,4	11,5	11,6	12,1	12,3	12,5
Oceanía	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>36,1</b>	<b>38,1</b>	<b>40</b>	<b>41,8</b>	<b>44,2</b>	<b>44,7</b>	<b>48,1</b>

Unidad: millones de toneladas métricas = 1 000 000 000 kg

Fuente: Baldé et al., 2015 c.p. McCann y Wittmann, 2015; Baldé et al., 2017

Cuadro 4. Crecimiento de la generación per cápita de los RAEE

AÑOS	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Previsión
								2017
Población mundial (mil millones)	6,8	6,9	6,9	7	7,1	7,2	7,3	7,4
RAEE generados (kg/hab)	5	5,2	5,4	5,7	5,9	6,1	6,1	6,5

Fuente: Baldé et al., 2015; Baldé et al., 2017

El cuadro 3 muestra que en el año 2016 la generación global de RAEE estimada fue aproximadamente de 44,7 millones de toneladas métricas (Mt), siendo el continente Asiático el mayor generador de RAEE a nivel mundial y Oceanía el menor generador (Figura 2). Dentro de este flujo la mayor categoría de RAEE corresponde a los equipos pequeños<sup>2</sup> (Figura 3), mientras que los principales países generadores se encuentran en

<sup>2</sup> El equipo típico comprende aspiradoras, microondas, equipos de ventilación, tostadoras, hervidores eléctricos, máquinas de afeitar eléctricas, balanzas, calculadoras, radios, cámaras de video, juguetes eléctricos y electrónicos, pequeñas herramientas eléctricas y electrónicas, dispositivos médicos pequeños, pequeños instrumentos de vigilancia y de control (Baldé et al., 2015; Kuehr et al., 2015).

Asia (China, Japón e India) y los mayores países generadores per cápita están en Europa (Noruega, Gran Bretaña y Dinamarca) (Cuadro 5).

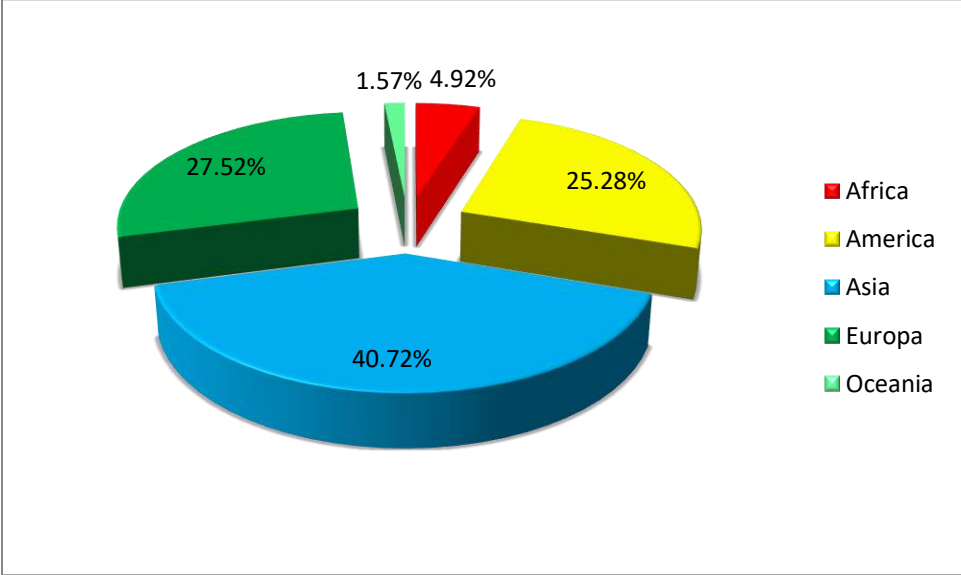


Figura 2. Distribución mundial de RAEE generados en el 2016.  
Fuente: Baldé et al., 2017.

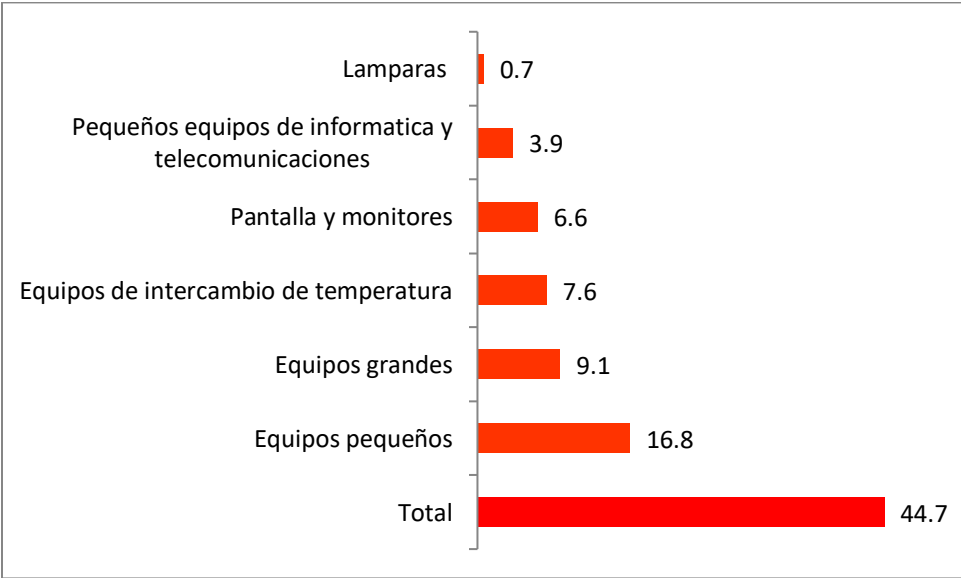


Figura 3. Clasificación del total de RAEE generados a nivel global en el 2016.  
Fuente: Baldé et al., 2017.

Cuadro 5. Principales países/ciudades generadores absolutos y per cápita de RAEE en el 2016

	ÁFRICA	CANT.	AMÉRICA	CANT.	ASIA	CANT.	EUROPA	CANT.	OCEANÍA	CANT.
1	Egipto	0,5	EUA	6,3	China	7,2	Alemania	1,9	Australia	0,57
	Sudáfrica	0,3	Brasil	1,5	Japón	2,1	Gran Bretaña	1,6		
	Argelia	0,3	México	1	India	2	Rusia	1,4		
2	Seychelles	11,5	EUA	20	Chipre	19,1	Noruega	28,5	Australia	23,6
	Libia	11	Canadá	20	Hong Kong	19	Gran Bretaña	24,9	Nueva Zelanda	20,1
	Mauricio	8,6			China	19	Dinamarca	24,9		
					Brunei	18				
					Singapur	18				

Nota: 1. principales países generadores (Cant. millones de toneladas métricas); 2. Principales países/ciudades generadores per cápita (Cant. kg/hab).

Fuente: Baldé et al., 2017.

La mayor generación promedio de RAEE por habitante en el 2016 está presente en Europa (16,6 kg/hab) y Oceanía (17,3 kg/hab), sin embargo este último tiene el menor promedio de generación de RAEE absoluta (0,7 Mt) ese mismo año, situación contraria a Asia cuyo promedio de generación de RAEE es el más alto a nivel mundial (18,9 Mt) con el penúltimo índice más bajo per cápita (4,2 kg/hab) (cuadro 6).



Cuadro 6. Comparación de generación de RAEE absoluta y per cápita en el 2016.

CONTINENTE	GENERACIÓN ABSOLUTA	GENERACIÓN PER CÁPITA
AFRÍCA	2,2 (Mt)	1,9 (kg/hab)
AMÉRICA	11,3 (Mt)	11,6 (kg/hab)
ASIA	18,2 (Mt)	4,2 (kg/hab)
EUROPA	12,3 (Mt)	16,6 (kg/hab)
OCEANIA	0,7 (Mt)	17,3 (kg/hab)
	<b>GENERACIÓN ABSOLUTA GLOBAL 44,7 Mt</b>	<b>PROMEDIO GENERACIÓN PER CÁPITA GLOBAL 10,32 kg/hab</b>

Unidad: millones de toneladas métricas (Mt) = 1 000 000 000 kg

Fuente: Baldé et al., 2017

El continente americano generó 11,3 Mt de RAEE en el 2016, lo cual equivaldría aproximadamente al 25,3 % de la generación a nivel mundial, de los cuales 4,2 Mt corresponden a América Latina (figura 4).

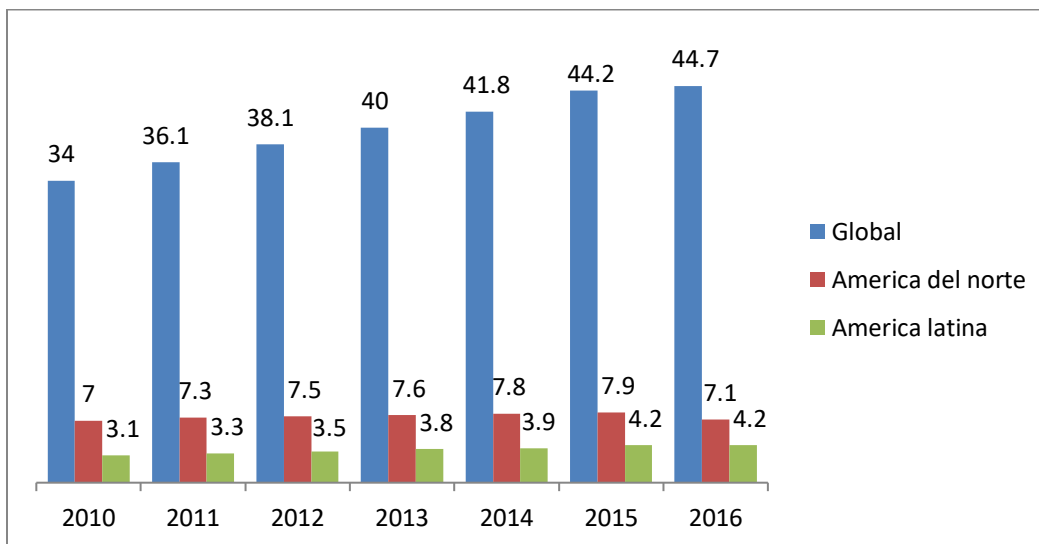


Figura 4. Crecimiento de la generación de RAEE en América

Fuente: Baldé et al., 2015 c.p. McCann y Wittmann, 2015; Baldé et al., 2017

La generación de RAEE en América latina es de aproximadamente 9,3% del total mundial para el 2016. En el total de RAEE generados en el 2014 en América latina la mayor cantidad pertenece a la categoría de equipos pequeños y la menor cantidad a la categoría de lámparas<sup>3</sup> (figura 5).

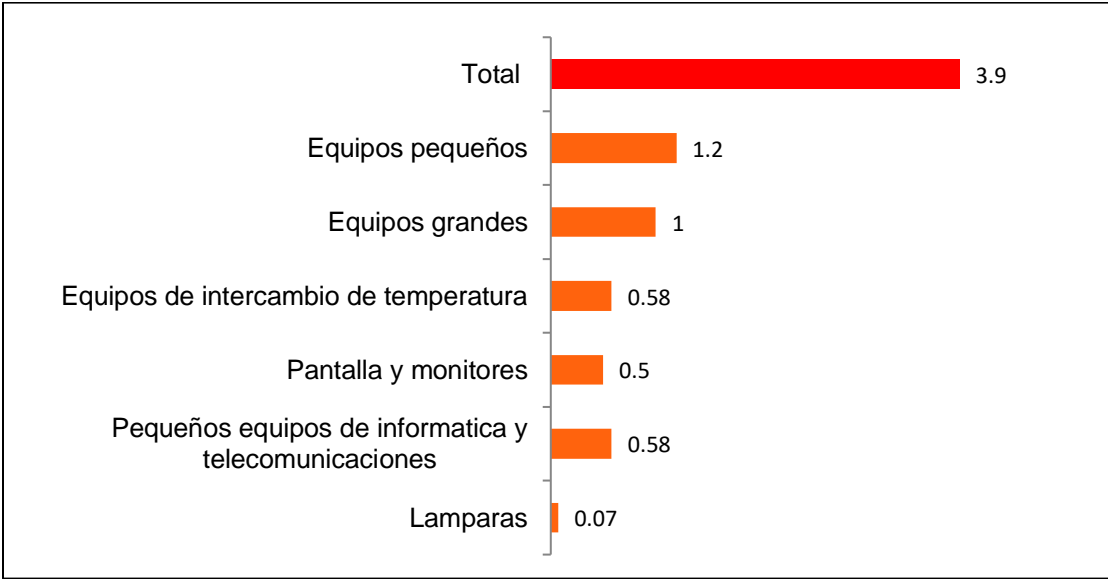


Figura 5. Clasificación del total de RAEE generados en América latina en el 2014.  
Fuente: Baldé et al., 2015.

En América latina los principales países generadores de RAEE en cantidades absolutas son: Brasil, México y Argentina, mientras que los que presentan una mayor generación per cápita son: Uruguay, Surinam, Costa Rica, las respectivas cantidades se presentan en el cuadro 7.

<sup>3</sup> El equipo típico comprende lámparas fluorescentes rectas, lámparas fluorescentes compactas, lámparas fluorescentes, lámparas de descarga de alta intensidad y lámparas LED) (Baldé et al., 2015; Kuehr et al., 2015).

Cuadro 7. RAEEE generados en América latina en el 2016 en cantidades absolutas y per cápita.

Posición según generación de RAEE	País	Kilotonnes	kg/hab	Población (1000)
1	Brasil	1534	7,4	206090
2	México	998	8,2	122273
3	Argentina	368	8,4	43600
4	Colombia	275	5,6	48750
5	Venezuela	254	8,2	31029
6	Perú	182	5,8	31481
7	Chile	159	8,7	18196
8	Ecuador	90	5,5	16529
9	Guatemala	67	4	16673
10	Rep. Dominicana	59	5,8	10088
11	Costa Rica	48	9,7	4910
12	Paraguay	44	6,4	6855
13	Uruguay	37	10,8	3427
14	Bolivia	36	3,3	10896
15	El Salvador	36	5,8	6146
16	Panamá	33	8	4086
17	Honduras	19	2,3	8203
18	Nicaragua	14	2,2	6342
20	Surinam	5,4	9,6	563

Unidad: Kilotoneladas = 1 000 000 kg

Fuente: Baldé et al., 2017

#### 2.1.4. Contenido tóxico de los RAEEs

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos representan un flujo heterogéneo por la variedad de productos que lo componen y se consideran complejos por las sustancias presentes (Cui y Forssberg, 2003; Huisman et al., 2007), las cuales pueden dividirse en dos grandes grupos: sustancias tóxicas y no tóxicas (Awatashi et al., 2016), teniendo el primer grupo la potencialidad de causar impactos negativos al medio ambiente y la salud

humana (Widmer et al., 2005; Tsydenova y Bengtsson, 2011; Sepúlveda et al., 2009). Dentro del grupo de las no tóxicas se encuentran metales de base no peligrosos como Cobre, Selenio, Zinc y metales preciosos como Plata, Oro y Platino (Fernández, 2013). Por los objetivos que persigue este trabajo, éste se centrará en los contenidos peligrosos y sus riesgos.

Si bien los RAEE no son intrínsecamente tóxicos mientras se mantienen en uso o sin que sean afectados por agentes externos, la situación cambia cuando son expuestos a condiciones extremas de clima o a procesos de reciclaje, valoración o disposición final, como el envío a vertederos e incineración, ya que éstos presentan elevados riesgos de causar contaminación, por ejemplo: el lixiviado en vertederos puede transportar sustancias tóxicas presentes en estos insumos hacia aguas subterráneas; en el caso de la quema o incineración de los RAEE se pueden emitir gases tóxicos a la atmósfera, lo mismo sucede en el reciclaje donde se presentan riesgos para el medio ambiente y la salud humana (Cui y Forssberg, 2003; Brigden et al., 2005; Kidee et al., 2013; Hussain y Mumtaz, 2104).

Dentro de las sustancias peligrosas que albergan los RAEE en sus componentes (cuadro 8) se encuentran: Cadmio, Cromo, Plomo, Mercurio, Clorofluorocarbonos (CFC), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), Polibromodifenil éteres (PBDE), Policlorodibenzofuranos (PCDF) y las Policlorodibenzodioxinas (PCDD). Muchas de estas especies químicas se pueden liberar en malas prácticas en el tratamiento de estos residuos, pudiendo causar grave contaminación en el medio ambiente y la salud humana (Brigden et al., 2005; Sepúlveda et al., 2010; Robinson, 2009; Frazzoli et al., 2010; Tsydenova y Bengtsson, 2011; Hussain y Mumtaz, 2014) (cuadro 9).

Existen componentes en estos equipos, de los cuales los más peligrosos por el riesgo que presentan en función de las sustancias tóxicas que albergan son: tubos de rayos catódicos (TRC), placas de circuito impreso, pantallas de cristal líquido (LCD), baterías, plásticos que contienen retardantes de llama bromados, plásticos hechos de cloruro de polivinilo y componentes que contienen mercurio (Tsydenova y Bengtsson, 2010) (cuadro 10).

Cuadro 8. Sustancias tóxicas comúnmente presentes en los RAEE

<b>Sustancia</b>	<b>Aplicación en los desechos electrónicos</b>
Antimonio (Sb)	Un agente de fusión de vidrio CRT, carcasas de ordenadores de plástico y una aleación de soldadura en el cableado
Arsénico (As)	Arseniuro de galio se utiliza en diodos emisores de luz
Bario (Ba)	Bujías de encendido, las lámparas fluorescentes y CRT canalones en los tubos de vacío
Berilio (Be)	Cajas de alimentación, placas base, relés y ganchos para los dedos
Retardantes de llamas Bromados (BFRs) : Bifenilos polibromados (PBB), Polibromodifenil éteres (PBDE) y tetrabromobisfenol (TBBPA)	Retardantes de llama bromados se utilizan para reducir la inflamabilidad de placas de circuito impreso y carcasas de plástico, teclados y aislamiento del cable
Cadmio (Cd)	Las baterías recargables de NiCd, chips semiconductores, detectores infrarrojos, tintas de impresora y tóners
Clorofluorocarbonos	Unidades de refrigeración y espumas aislantes
Cromo hexavalente / cromo VI	Caja de plástico equipo, cables, discos duros y como colorante en pigmentos
Plomo (Pb)	Soldadura, baterías de plomo-ácido, tubos de rayos catódicos, cableado, circuitos impresos y tubos fluorescentes
Mercurio (Hg)	Pilas, bombillas o lámparas de luz de fondo, pantallas planas, interruptores y termostatos
Níquel (Ni)	Las baterías, caja de la computadora, tubo de rayos catódicos y placas de circuito impreso
Bifenilos policlorados (PCB)	Condensadores, transformadores y fluidos de transferencia de calor
Cloruro de polivinilo (PVC)	Monitores, teclados, cables y carcasa del ordenador plástico
Selenio (Se)	Fotocopiadoras antiguas

Fuente: Adaptado de Kidee et al., 2013.

Cuadro 9. Sustancias tóxicas comúnmente presentes en los RAEE y su impacto en la salud

Sustancia	Impacto en la salud
Antimonio (Sb)	El antimonio se ha clasificado como un carcinógeno. Puede causar dolor de estómago, vómitos, diarrea y úlceras estomacales por inhalación de niveles de antimonio altas durante un período de tiempo largo
Arsénico (As)	Tiene efectos crónicos que causan la enfermedad de la piel y cáncer de pulmón y problemas de las señales nerviosas
Bario (Ba)	Provoca inflamación cerebral, debilidad muscular, daño al corazón, el hígado y el bazo a través de la exposición a corto plazo
Berilio (Be)	La exposición al berilio puede conducir a la beriliosis, cáncer de pulmón y enfermedades de la piel. El berilio es un carcinógeno
Retardantes de llamas Bromados (BFRs) : Bifenilos polibromados (PBB), Polibromodifenil éteres (PBDE) y tetrabromobisfenol (TBBPA))	Durante la combustión de las placas de circuitos impresos y carcasas de plástico se emiten vapores tóxicos que pueden causar trastornos hormonales
Cadmio (Cd)	Los compuestos de cadmio plantean un riesgo de impactos irreversibles en la salud humana, en particular de los riñones
Clorofluorocarbonos	Estas sustancias causan impacto sobre la capa de ozono que puede conducir a una mayor incidencia de cáncer de piel.
Cromo hexavalente / Cromo VI	Es considerado como una sustancia con potencial cancerígeno humano, extremadamente tóxico en el medio ambiente, causando daños en el ADN y deterioro ocular permanente.
Plomo (Pb)	Puede dañar el cerebro, el sistema nervioso, el riñón y el sistema reproductivo y causar trastornos sanguíneos. Las bajas concentraciones de plomo pueden dañar el cerebro y el sistema nervioso en fetos y niños pequeños. La acumulación de plomo en el ambiente produce efectos agudos y crónicos en la salud humana.
Mercurio (Hg)	El mercurio puede dañar el cerebro, los riñones y tiene efecto dañino en el desarrollo de los fetos
Níquel (Ni)	Puede provocar una reacción alérgica, bronquitis y función pulmonar reducida y los cánceres de pulmón
Bifenilos policlorados (PCB)	Provocan cáncer en animales y pueden dar lugar a daños en el hígado en los seres humanos
El cloruro de polivinilo (PVC)	Tiene el potencial de liberar sustancias peligrosas y contaminantes tóxicos al aire. La combustión incompleta de PVC libera grandes cantidades de ácido clorhídrico gaseoso que puede causar problemas respiratorios
Selenio (Se)	Las altas concentraciones causan la selenosis

Fuente: Adaptado de Kidee et al., 2013.

Cuadro 10. Resumen de los componentes y sustancias peligrosas encuentra comúnmente en los desechos electrónicos.

<b>Componentes</b>	<b>Encontrados en</b>	<b>Sustancias de riesgo</b>
Tv Tubos de rayos catódicos (TRC)	Televisores viejos, monitores de PC, osciloscopios	Plomo, Bario y Cadmio
Placas de circuito impreso	Computadoras, mp3, y otros dispositivos similares	Retardantes de llama bromados, Plomo, Cadmio, Mercurio
Baterías	Dispositivos portables	Cadmio, Plomo y Mercurio
Lámparas de descarga de gas	Luces de fondo de pantallas LCD	Mercurio
Plástico	Aislamiento de cables, carcasa de plástico, placas de circuitos	Retardantes de llama bromados, cloruro de polivinilo

Fuente: Tsydenova y Bengtsson, 2010.

### **2.1.5. Riesgo de exposición a agentes tóxicos**

La exposición a los agentes tóxicos y contaminantes de los RAEE se produce en las diferentes actividades y procesos de tratamiento de ellos; dicha exposición puede ser directa por medio del contacto de la piel con sustancias nocivas, la inhalación de partículas finas y gruesas, y la ingestión de polvo contaminado, y de forma indirecta producto de la contaminación ambiental del agua, aire y suelo que se produce alrededor de los sitios de tratamientos y disposición de los RAEE (Perkins et al., 2014; Kidee et al., 2013), siendo los escenarios de exposición ocupacional y exposición local directa los de más evidente riesgo (Ma et al., 2008 c.p. Frazzoli et al., 2010), sin embargo como ya se mencionó, un inadecuado proceso de disposición final en los RAEE también puede presentar altos riesgos a la salud humana (Frazzoli et al., 2010). A continuación se describen de manera breve las diferentes actividades en el tratamiento y disposición de estos residuos donde se presentan escenarios de exposición a las sustancias tóxicas que albergan los RAEE.

## 2.1.6. Destino final

### Reciclaje

El crecimiento mundial en la generación de los RAEE ha promovido del desarrollo de actividades de reciclaje, tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo, lo que ha evidenciado, que practicas inadecuadas en esta actividad tienen el potencial de liberar grandes cantidades de sustancias tóxicas afectando a los seres humanos y al medio ambiente (Kidee et al., 2013).

En lo que respecta al reciclaje informal, la mayoría de éste se maneja sin ningún tipo de regulación ni registro, utilizando procesos y técnicas obsoletas no recomendadas para el medio ambiente y la salud humana. El reciclaje informal considera varias etapas, que van desde la recolección, almacenamiento de los RAEE y recuperación de elementos de valor (Sepúlveda et al., 2010), así generando desechos y productos químicos peligrosos utilizados en estos procesos que son manejados comúnmente sin tomar en cuenta la seguridad para el trabajador, las comunidades alrededor y el medio ambiente (Brigden et al., 2005).

Muchas prácticas no recomendadas se encontraron mencionadas en la literatura revisada, estas se usan comúnmente en países donde ha crecido el sector informal de reciclaje de RAEEs, dando evidencia de la potencial contaminación presente en procesos inadecuados de reciclaje (figura 6), como la quema abierta de placas de circuitos impresos para la recuperación de metales (Brigden et al., 2005), la quema abierta de cables para la recuperación de cobre, la lixiviación con ácido de tarjetas de circuitos impresos (Hicks et al., 2005;. Leung et al., 2006), recuperación de oro, presente en muchos de estos insumos, por medio del uso de sales de cianuro (Rochat et al., 2007). De manera general las emisiones que son producto de las actividades de reciclaje son las siguientes (Sepúlveda et al., 2010):

- Lixiviados procedentes de las actividades en vertederos.
- El material particulado (partículas gruesas y finas) a partir de las actividades de desmantelamiento
- Cenizas de las actividades de quemadas abiertas



- Los vapores de mercurio amalgamado de la "cocción", desoldadura, y otras actividades de quema
- Las aguas residuales de las instalaciones de trituración y desmontaje
- Los efluentes de lixiviación con cianuro, y otras actividades de lixiviación o amalgamación con mercurio

De estas emisiones se desprenden tres grupos principales de sustancias (Sepúlveda et al., 2010):

1. Las sustancias originales, que son componentes de aparatos eléctricos y electrónicos;
2. Sustancias auxiliares, utilizados en las técnicas de reciclaje
3. Los subproductos formados por la transformación de los componentes primarios.

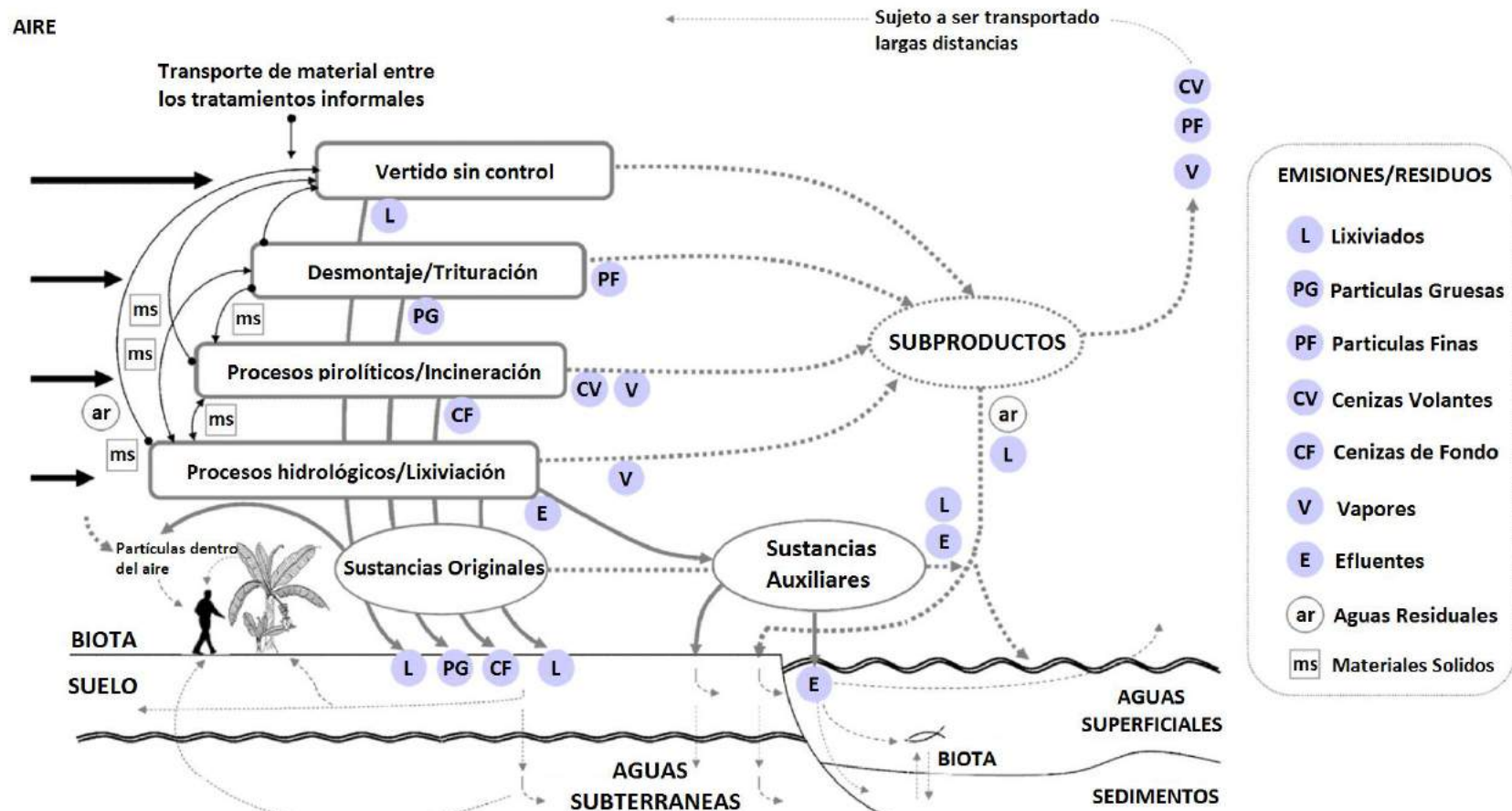


Figura 6. Principales actividades de reciclaje de RAEE en China y la India, tipos de emisiones producidas y vías ambientales generales. Óvalos: tipos de sustancias contenidas dentro de las emisiones. Líneas continuas en negrita: destino de sustancias originales y auxiliares. Líneas en negrita punteadas: destino de subproductos tales como dioxinas y furanos. Flechas negras con un punto en negrita: flujos de transporte de material entre tratamientos. Flechas de punta fina: caminos ambientales generales. Los flujos ambientales son impulsados por procesos como la deposición atmosférica (seca / húmeda), la lixiviación, la adsorción-desorción, la complejación (por la cual pueden formarse productos secundarios de metales pesados y cianuros), absorción, degradación (química / biológica) y volatilización. Además, el destino ambiental de los contaminantes depende de las propiedades físico-químicas de los medios de comunicación. Fuente: Sepúlveda et al., 2010.

La figura 6 muestra las dinámicas de las diferentes sustancias liberadas en los procesos de reciclaje, como es el caso de los materiales vertidos al suelo, que pueden contener metales pesados y materiales ignífugos bromados y clorados, los cuales tienen el potencial de causar impactos negativos (Sepúlveda et al., 2010); sin embargo la movilidad de estas sustancias dependerá tanto de sus características intrínsecas del suelo como ambientales, tales como: pH, contenido de materia orgánica, temperatura, etc., (Georgopoulos et al., 2001; Hu, 2002; Gouin y Harner, 2003; Qin et al., 2004 c.p. Sepúlveda et al., 2010). También se pueden formar complejos orgánicos e inorgánicos al mezclarse los metales pesados que no son recuperados durante los procesos de reciclaje con sustancias auxiliares residuales como el cianuro y el mercurio y filtrarse a través del suelo hasta cuerpos de agua subterráneos (Sepúlveda et al., 2010). Las partículas de polvo cargadas con metales pesados de materiales ignífugos que son liberados en procesos de desmantelamiento pueden ser transportados a largas distancias de su lugar de emisión, además de poder mezclarse con aguas residuales y llegar al suelo y filtrarse en él, (Sepúlveda et al., 2010). Sin embargo las actividades de reciclaje de residuos eléctricos y electrónicos generalmente tienen menor impacto ecológico que la disposición en vertederos o la quema de estos (Hischier et al., 2005)

La incineración aplicada a RAEEs que contengan retardantes de llama posibilitan la formación de dibenzo-dioxinas/furanos policromados y dibenzo-dioxinas/furanos polibromados (Steiner, 2004), que una vez en la atmósfera se dispersan en el medio ambiente. La incineración puede aumentar la movilidad de los metales pesados, principalmente el plomo, previo a la disposición en vertederos (Gullett et al., 2007).

### **Disposición en vertederos**

Los diferentes componentes y sustancias presentes en los RAEEs, generan riesgos en su eliminación o disposición, siendo uno de los principales problemas la lixiviación de sustancias peligrosas (Tsydenova y Bengtsson, 2011). La presencia de sustancias como retardantes de llama y metales pesados en los lixiviados de vertederos donde han sido depositados RAEEs, ha sido demostrada en diversos estudios (Osako et al., 2004; Dagan et al., 2007), presentando el riesgo de filtrarse por el suelo llegando a contaminar cuerpos de agua subterráneos. Otro de los riesgos inherentes es la evaporación de sustancias peligrosas con características volátiles, como el metilmercurio (Lindberg et al., 2001).

## **2.2. Residuos de televisores de tubo de rayo catódico**

### **2.2.1. Definición de TV TRC**

Un TRC es un tubo de vacío especializado en el cual se producen imágenes cuando un haz de electrones golpea una superficie fosforescente; posee una forma cónica formada por tres tipos de vidrios y una pistola de electrones (Singh, 2106a). Es el componente principal de la pantalla ya que está dentro de ella y es donde se produce la formación de imágenes, además de ser el componente más pesado del televisor llegando a constituir aproximadamente el 60% de su peso total (Veit y Bernardes, 2015).

El uso de los TRC no es exclusivo de televisores, también se utilizan en monitores de computadoras, cajeros automáticos, cámaras de video, pantallas de radar y osciloscopios (Singh, 2106a). Se compone principalmente de vidrio con presencia de algunos metales especialmente el plomo (Price, 1999). Debido a que contienen metales como el plomo en grandes cantidades son considerados un peligro ambiental si no se ejecuta una disposición final adecuada (Jang y Twnsend, 2003).

La comercialización de los televisores TRC se inició en 1936, masificando su uso a partir de la década de 1950, mejorando sus capacidades durante los muchos años siguientes y siendo usados además en monitores de computadoras, manteniendo en vigencia su uso masivo y gran comercialización aproximadamente hasta la década pasada cuando empezó a ser desplazada por las nuevas tecnologías en pantallas, con lo cual dio inicio a la obsolescencia de estos aparatos, muchos de ellos de manera prematura (Lundgren, 2012). En la actualidad no es posible encontrar estos dispositivos en las tiendas de electrónicas de países desarrollados, lo mismo sucede en algunos países en vías de desarrollo (Singh et al., 2106b), sin embargo se mantienen presentes en las viviendas de muchas personas y paulatinamente están siendo reemplazados por dispositivos modernos (Rocchetti 2014); no obstante no se produce en el total de los casos una eliminación inmediata de estos dispositivos, pues muchos propietarios proceden a su almacenamiento durante distintos periodos de tiempo después del final de su vida útil, postergando su disposición final (Linton et al., 2002; Kahhat et al., 2008).

## 2.2.2. Generación

El mercado mundial de TRC presenta una reducción que se ha manifestado de manera gradual en los últimos años (cuadro 11), principalmente por la aparición en el mercado de nuevas tecnologías, esta reducción afectó de igual manera la producción de componentes y repuestos (Singh, 2016a), aumentando la obsolescencia de los TRC.

Sin embargo la preocupación se centra cuando son desechados, debido a los elementos peligrosos que contienen. En el 2014 se generaron a nivel global aproximadamente 6,3 Mt. de residuos de pantallas TRC como se muestra en el cuadro 12, siendo el continente asiático el mayor generador con 2,5 Mt.

Cuadro 11. Televisores en el mercado mundial (millones de unidades).

TECNOLOGÍA	1998	2002	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CRT	80,7	83,3	49	36	21	18	12	7	5	3
PLASMA, OTHER			19	18	15	13	9	6	4	5
LCD - CCFL	1,3	32,2	134	143	110	75	52	40	30	18
LCD - LED			3	35	87	130	170	198	220	243
TOTAL	82	116	205	232	233	236	243	251	259	269

Fuente: Socolof et al., 2005; Statica, 2015 c.p. Singh, 2016.

Cuadro 12. Generación de residuos de pantallas TRC a nivel mundial en el 2014.

AFRICA	AMERICA	ASIA	EUROPA	OCEANIA	TOTAL
0,3	1,7	2,5	1,7	0,1	6,3

Unidad: Millones de toneladas

Fuente: Baldé et al., 2015

A nivel mundial la sustitución progresiva de televisores y monitores TRC por Plasmas y/o LCD está produciendo un gran volumen de flujo de residuos, con un alto porcentaje que termina depositado en vertederos, sin tomar en cuenta los riesgos que esto puede suponer (Singh et al, 2016b). En países de regiones emergentes para la tecnología como: Asia-Pacífico, Europa del Este, Medio oriente y África, aún existe una demanda por estos televisores, debido a los bajos precios en que son comercializados en comparación con las nuevas tecnologías, sin embargo incluso para estos mercados eventualmente los TRC serán reemplazados (Singh, 2016a).

En los Estados Unidos en el año 2008, los residuos de TRC constituían el mayor porcentaje dentro de la corriente de desechos electrónicos con aproximadamente el 43% (EPA, 2008), además se estima que existe una cantidad de 6,9 millones de toneladas de TRC almacenados en hogares y empresas, de los cuales se prevé que un 85% se recogerán y requerirán gestión dentro de los próximos 10 años sumado a esto existen 330.000 toneladas almacenadas por procesadores (Shaw Environmental Inc., 2013).

En Europa el mercado de televisores TRC presenta una baja gradual, en 1996 se presentaron ventas de aproximadamente 20 millones de unidades, las mismas que mantuvieron una leve alza hasta el 2005, para luego descender a 10 millones en el 2006 y finalmente a cero en el 2011, paralelamente a la disminución de las ventas aumento el flujo de residuos TRC de 15 millones en 1996 a 20 millones de unidades en el 2009, posterior a esta fecha ha presentado una baja gradual (Fakhredin y Huisman, 2013). En cuanto a la recolección y tratamiento de los residuos TRC se estima que se recogen entre 50.000 y 150.000 toneladas por año aproximadamente (Andreola et al., 2007).

En China la situación se vuelve más compleja, ya que las fuentes de RAEEs no sólo incluye la generación domestica de residuos sino también las importaciones históricas RAEEs, la misma que fue prohibida en el año 2000 (Wang et. al, 2013a), sin embargo este flujo de RAEEs (donde se incluyen televisores y monitores TRC) aún se presume que se mantiene de manera menos visible, siendo productos de segunda mano a menor precio o que sirven para la recuperación de materias primas (Shinkuma y Thi Minh, 2009). En el año 2001 se presentaron ventas de aproximadamente 48 millones de televisores (Singh, 2016b), mientras que en el año 2003 se calculó que aproximadamente de los 1,76 millones de toneladas de RAEEs generadas en ese año, el 47,7% pertenecía a televisores TRC (Xu et al., 2012). Como se ha mencionado anteriormente el recambio tecnológico promueve la generación de residuos de televisores TRC; datos del gobierno Chino indican

que en el 2009 se tiraron cerca de 25 millones de televisores (Chandrappa y Das, 2012), Estadísticas de recolección de RAEEs indican que en China, en el 2011 se descartaron 1,2 millones de toneladas de televisores (Wang et. al, 2013a). Este mismo estudio afirma que en el 2011 el pueblo chino poseía 500 millones de televisores a color, los cuales eventualmente llegaran al final de su ciclo de vida y se volverán obsoletos y presentaran un desafío para el sistema de gestión de residuos en China.

### **2.2.3. Apagón Analógico**

Se conoce como apagón analógico al cese de las emisiones analógicas (o tradicionales) de señales televisivas por parte de los respectivos operadores de televisión, las cuales son reemplazadas por señales digitales que presenta una mejor calidad en imagen y sonido (Ongondo et al., 2011a), este fenómeno tecnológico representa un cambio generalizado de tecnologías, tanto en las infraestructuras para transmitir la señal digital como para los consumidores, los cuales necesitarían actualizar sus equipos puesto que los televisores análogos o televisores TRC son incompatibles a este tipo de señal, motivo por el cual necesitarían actualizar a equipos televisivos modernos o utilizar algún tipo de antena y decodificador externo que permita la captación y reproducción de esta señal (Ongondo et al., 2011a).

Este fenómeno no afecta exclusivamente a televisores TRC, sino también a videograbadoras (VCR), grabadoras de DVD y decodificadores analógicos. El alcance de este cambio tecnológico puede llegar a afectar la recolección y tratamientos de residuos, específicamente de residuos eléctricos y electrónicos (Ongondo et al., 2011a), a pesar de que el apagón analógico no promueve directamente el descarte de los televisores TRC, si incentiva su recambio. La aparición de un flujo de residuos de estos televisores y otros equipos relacionados debe de ser cuidadosamente considerado debido a posibles impactos logísticos, económicos y ambientales.

A nivel mundial muchos países ya han completado este proceso de cambio tecnológico, el primero en hacerlo fue Luxemburgo en el año 2006; ese mismo año lo completo Holanda. En el 2007 lo hicieron Suiza, Suecia, Noruega y Finlandia en el 2008 Bélgica y Alemania, continuando este proceso en el resto del mundo. En América el primer país fue Estados

Unidos en el año 2009; en Latinoamérica México se convirtió en el primero en completar la transición a la señal digital concluyéndola en diciembre del 2015. En Chile el proceso se ha iniciado, y se tiene programado dar por finalizadas las transmisiones de señal análoga para el año 2020.

Es evidente que en países como Chile el recambio tecnológico de televisores TRC a televisores plasma, LCD, LED y demás nuevas tecnologías se ha visto directamente influenciado por aspectos económicos que han permitido a la población adquirir estos bienes con mayor facilidad que en otros países de la región, sin embargo datos del Consejo nacional de televisión evidencian la considerable presencia de televisores trc en los hogares chilenos (CNTV, 2017).

#### **2.2.4. Uso y penetración de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) en Chile**

Según el índice de Desarrollo de las TIC (IDI) 2017 Chile se encuentra en la posición 56 de su ranking, este índice cubre 175 economías en todo el mundo siendo Islandia la que ocupa el puesto 1 y Eritrea el 175 (ITU 2017). El IDI combina once indicadores de acceso a las TIC así como su uso y habilidades; en el cuadro 13 se muestra información sobre las TIC en Chile.

Un estudio realizado por el Consejo Nacional de Televisión (CNTV) en el año 2017, afirmó que para ese año existió un promedio de 2,5 televisores por familia (cuadro 14), y que el 57% de los hogares poseen televisores tradicionales o TRC, mismo porcentaje que en comparación con las estimaciones del año 2014 presentó un descenso del 20% (cuadro 15).



Cuadro 13. Presencia de TICs en los hogares chilenos

	2014	2017
Teléfono celular que se puede conectar a internet	72%	82%
Reproductor DVD/ Blue-Ray	26%	60%
Notebook/ netbook	55%	52%
Tablet	30%	32%
Computador de escritorio	28%	23%
Consolas de video juegos fijas (Xbox, Playstation, Wii, etc.)	21%	18%
Aparato para recibir TV y video por Internet (Apple TV, Google TV o Decodificadores)	9%	12%
Consolas de video juegos móviles (PSP, PS Vita, Nintendo DS, Nintendo Switch, etc.)	6%	5%

Fuente: CNTV 2017

Cuadro 14. Promedio de televisores por hogar en Chile

	1993	1996	2002	2005	2008	2011	2014	2017
TOTAL	1,9	1,9	2,2	2,3	2,4	2,7	2,6	2,5

Fuente: CNTV 2011, CNTV 2014, CNTV 2017

Cuadro 15. Tipos de televisores en hogares en Chile

	Televisor Tradicional	Televisor Pantalla Plana 3D y no 3D
Año 2011	94,90%	28,10%
Año 2014	76,50%	70, 9%
Año 2017	57%	77%

Fuente: CNTV 2011, CNTV 2014, CNTV 2017

### 3. MATERIALES Y MÉTODO

Para el cumplimiento de los objetivos establecidos y la hipótesis planteada se propuso el siguiente método, basado en la recopilación de información científica sobre residuos electrónicos y específicamente sobre televisores de tubo de rayo catódico, para luego seleccionar y analizar estudios, trabajos y demás publicaciones sobre TVS TRC que se enfoquen en: métodos de pronóstico de generación de RAEE, caracterización de elementos tóxicos en TVS TRC, impactos ambientales de una incorrecta disposición final, mecanismos de gestión y experiencia internacional en el manejo de residuos de estos aparatos. Todo esto aplicado a la ejecución de cada uno de los objetivos.

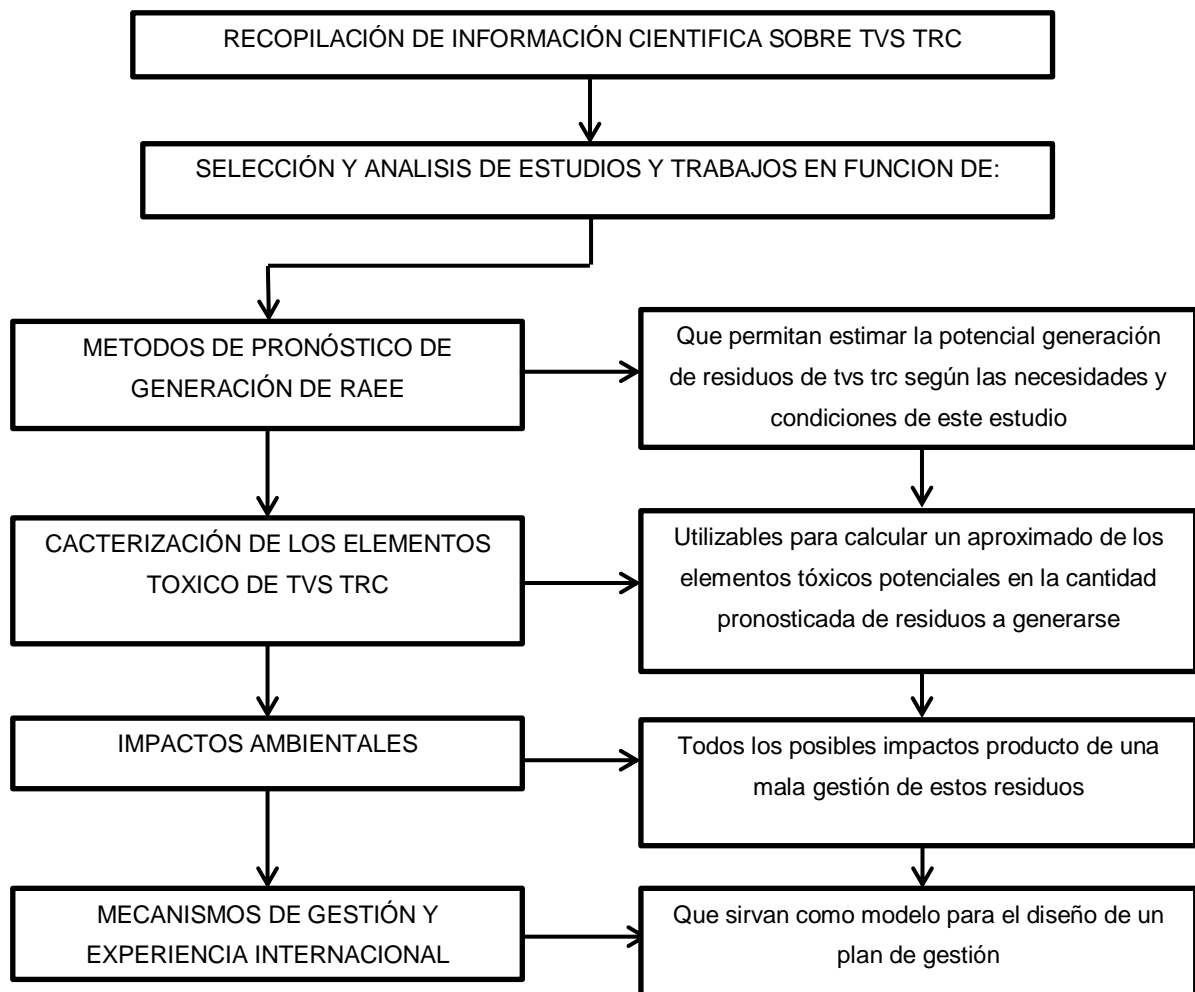


Figura 7. Procedimiento metodológico para el desarrollo de la tesis.

### **3.1. Estimación de los residuos de TVS TRC latentes en Chile**

Existen diversos métodos para realizar estimaciones en la generación de residuos eléctricos y electrónicos. Según Li et al. (2015) estos pueden clasificarse en: análisis directo de residuos, modelo de factores, análisis econométricos, modelo de series de tiempo, modelos de entrada y salida.

En la tesis se utilizó el “método de suministro de mercado” elección que se sustenta en el E-waste Assessment Methodology Training y Reference Manual (Schluep et al., 2012).

En la selección del método de estimación no se consideró el recambio tecnológico como principal causa de generación de estos residuos dada la dificultad que representa hacer estimaciones basadas en este fenómeno. Como se mencionó anteriormente los TVS TRC han sido desplazados por las nuevas tecnologías, sin embargo la mayoría de las veces no son desechados inmediatamente después de ser sustituidos, sino más bien pueden ser almacenados por sus propietarios y en muchos otros casos vendidos, regalados o hasta donados. Pasando así a un segundo e incluso tercer dueño hasta llegar al término de su vida útil.

#### **3.1.1. Método de suministro del mercado**

El método fue utilizado por primera vez en una investigación de RAEEs en Alemania (IMS, 1991 c.p. Kourmoussis et al., 2011); utiliza datos sobre producción y ventas del artículo electrónico en estudio para calcular futuros volúmenes. Al extrapolar el promedio de vida útil u obsolescencia con la producción histórica y las cifras de ventas, se obtiene una estimación del potencial de residuos a generarse (Streicher-Porte y Yang 2007). En algunos estudios se utilizaron datos de importaciones y exportaciones en lugar de ventas. Según lo anterior, los aparatos vendidos en un determinado periodo de tiempo (t) se vuelven residuos después de cumplir su vida útil (VU); así, la cantidad de RAEE a generarse en unidades por el aparato en estudio en un periodo t se expresa de siguiente manera:

$$\text{Generación de RAEE (t)} = \text{Ventas (t-VU)}$$

Una vez calculado los valores potenciales de este residuo a generarse, se estima su peso, multiplicando el número de RAEE a generarse por su peso medio. Esta valoración es útil desde la perspectiva de gestión de residuos al permitir valorar las cantidades en peso de residuos que necesitarán ser atendidas.

### **3.1.2. Datos y supuestos**

Los valores necesarios para realizar la estimación son: los datos de ventas históricas, el promedio de la vida útil del producto y el promedio del peso de los televisores TRC. Los supuestos son que no hay importación o exportación de estos residuos a otros países y que la vida útil de los televisores TRC se presenta de manera constante.

- **Ventas históricas de Televisores TRC**

La investigación determinó que no existe información suficiente sobre las ventas historias de los televisores TRC, por lo cual se utilizó el “consumo aparente”, que incluye datos de producción, importación y exportación para estimar este valor, práctica aceptada en investigaciones similares (Wilkinson et al., 2001), y que se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Ventas (t)} = \text{Importación (t)} + \text{Producción nacional (t)} - \text{Exportación (t)}$$

Los datos publicados en la página por el Servicio Nacional de Aduanas de Chile, en su página web, tiene códigos de aranceles para los respectivos tipos de TRC, con lo cual se obtuvo la información del número de TVS TRC ingresados a Chile durante el periodo comprendido entre los años 1999 al 2014, siendo estos años los únicos que contienen datos sobre importaciones de TVS TRC.

- **Promedio de Vida útil de los televisores TRC.**

En este trabajo se utilizó la definición de vida útil usada en Araújo et al. (2011) y Schumacher et al. (2014) que especifican cómo vida útil al tiempo total que el producto permanece en los límites del sistema, desde el punto de venta hasta el momento en que se envía al sistema de gestión de desechos sólidos. Por lo tanto, la reutilización (potencial) y/o almacenamiento del equipo se considera dentro de la vida útil.

Ante la ausencia de datos e información específica en Chile y Sudamérica, se definió la vida útil utilizando los valores utilizados en estudios equivalentes mostrados en el cuadro 16, y se definieron tres escenarios; uno bajo utilizando el menor valor en años encontrado en los estudios mencionados (8 años), un valor promedio como escenario medio (13 años) y el valor más alto presentado en los trabajos mencionados como escenario alto (15 años), generando así tres escenarios para las estimaciones en generación de residuos.

Cuadro 16. Promedios de vida útil utilizados de televisores TRC

Vida útil en años	Autores y año de publicación	Sitio de estudio
8	Liu et al. (2006)	China
12	Jain y Seren (2006)	India
12	Oguchi et al. (2006)	Japón
10	Huisman et al. (2007)	UE
15,4	Mueller et al. (2007)	USA
14,3	Trana et al. (2014)	Vietnam
16	Habuer et al. (2014)	China
15	Kalmykova et al. (2015)	Suecia

Fuente: elaboración propia

Existen diferentes dinámicas en el uso y tenencia de estos aparatos, pasando de un primer a segundo usuario y en ocasiones a periodos de almacenamiento previo a su disposición final (Ogunsetain et al., 2009). En este trabajo no se hace una distinción entre estas posibles etapas, ya que no hacen diferencia en el resultado de estimar una cantidad potencial de residuos a generarse.

- **Promedio del peso de los televisores**

Para determinar dicho valor se revisó los datos disponibles por parte del servicio nacional de aduanas sobre importaciones históricas de televisores de tubo de rayo catódico; sin embargo no se encontró una descripción del peso de este producto al momento de ingresar al país, por lo cual se utilizó valores de peso promedio para este aparato establecidos por la EPA (2016).

### **3.2. Identificación de componentes tóxicos**

Una investigación bibliográfica permitió caracterizar los componentes de TVS TRC dando énfasis a los elementos con propiedades tóxicas presente en ellos y los posibles impactos que pueden causar al medio ambiente y la salud humana. Sobre esta base se definirá un valor estándar aproximado de los elementos con potencial tóxico presente por dispositivo y con los datos pronosticados de generación de residuos de TVS TRC se calcularán las cantidades promedio de elementos tóxicos potenciales que necesitarán gestión dentro del flujo de residuos. En función de estos valores se realizará un análisis de los potenciales riesgos e impactos de los residuos de TVS TRC principalmente en condiciones de almacenamiento y disposición final inadecuada en relación a su potencial de riesgo de contaminación de diferentes elementos del medio (agua, aire, suelo) y efecto a la salud humana.

### **3.3. Elaboración de un plan de gestión para residuos de TV TRC**

Considerando la experiencia internacional con este tipo de residuos, se elaboró un plan de gestión para los residuos de televisores TRC, en función de los resultados obtenidos en los objetivos específicos 1 y 2, en el que se abordaron los aspectos técnicos, económicos y ambientales necesarios para una gestión óptima de estos dispositivos al final de ciclo de vida.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. Flujo de residuos de TV TRC en tres posibles escenarios de generación en Chile

Se utilizaron tres valores para la vida útil: 8, 13 y 16 años, generando así tres escenarios para la estimación. El número de televisores vendidos se reemplazó por el consumo aparente, para lo cual se utilizaron los códigos aduaneros de importación y exportación, que se muestran en el cuadro 17 para televisores de tubo de rayo catódico hasta el 2014, fecha en que dejaron de importarse.

Cuadro 17. Códigos de aranceles aduaneros para televisores análogos o TRC usados en los años 1999 a 2014.

Partida	código del sistema aduanero	Glosa
8528		Aparatos receptores de televisión, incluso con aparato receptor de radiodifusión o de grabación o reproducción de sonido o imagen incorporada; videomonitores y videoproyectores.
	85281200	Televisores en colores, incluso con radio
	85281210	Con pantalla inferior o igual a 35,56 cm (14"), excepto los de alta definición y los de proyección
	85281220	Con pantalla superior a 35,56 cm (14"), excepto los de alta definición y proyección
	85281230	De proyección por tubos de rayos catódicos, excepto los de alta definición
	85281240	De alta definición por tubos de rayos catódicos, excepto los de proyección
	85281250	De alta definición, de proyección por tubos de rayos catódicos
	85281260	Con pantalla plana
	85281290	Los demás
	85287210	De tubos de rayos catódicos

Fuente: Servicio Nacional de Aduanas de Chile.

El cuadro 18 muestra el cómputo de las cantidades de televisores TRC importadas y exportadas y el cálculo del consumo aparente en cada año.

Cuadro 18. Consumo aparente de televisores trc en Chile.

Año	TVS TRC importados (unidades)	TVS TRC exportados (unidades)	Consumo aparente de TVS TRC (unidades)
1999	624.701	427	624.274
2000	710.802	1.746	709.056
2001	668.286	5.374	662.912
2002	586.878	507	586.371
2003	670.186	2.831	667.355
2004	950.526	3.991	946.535
2005	1.374.692	36.171	1.338.521
2006	1.335.503	16.738	1.318.765
2007	947.229	1.599	945.630
2008	685.747	6.866	678.881
2009	391.467	11.161	380.306
2010	319.629	81	319.548
2011	65.690	81	65.609
2012	44.668	1.043	43.625
2013	5.011	2.050	2.961
2014	6.523	50	6.473
<b>TOTAL</b>	<b>9.387.538</b>	<b>90.716</b>	<b>9.296.822</b>

Fuente: Servicio Nacional de Aduanas de Chile

Se observa que las importaciones de televisores trc alcanzaron su punto máximo en el año 2005 y empezaron a caer paulatinamente después producto de la aparición en el mercado de las nuevas tecnologías en televisores; también se observa un nivel muy bajo de exportaciones en comparación a las importaciones, llegando a ser solo un 0,9% del total de las importaciones, esto se manifiesta claramente en la poca influencia que tiene sobre el consumo aparente.



Para determinar un aproximado de los televisores TRC vendidos en la ciudad de Santiago, se utilizó nuevamente el consumo aparente y los datos estadísticos poblacionales de la organización de las Naciones Unidas (UNdata), con lo cual se dividió el consumo aparente de Chile por la población del país en cada año respectivamente y luego se multiplicó por la población de Santiago correspondiente en cada año. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro (19).

Cuadro 19. Consumo aparente de TVS TRC en Santiago entre el año 2002 y 2014 (valor en unidades).

Año	Consumo aparente de TVS TRC en Chile	Consumo aparente de TVS TRC en Santiago
2002	586.371	174.771
2003	667.355	203.560
2004	946.535	295.199
2005	1.338.521	450.640
2006	1.318.765	476.014
2007	945.630	311.111
2008	678.881	202.125
2009	380.306	124.357
2010	319.548	113.679
2011	65.609	23.332
2012	43.625	15.497
2013	2.961	866
2014	6.473	1.885
<b>TOTAL</b>	<b>7.300.580</b>	<b>2.393.036</b>

Una vez establecidos el consumo aparente de los televisores TRC tanto en Chile como en Santiago, se procedió junto con el promedio de vida útil a realizar el pronóstico de generación de residuos utilizando el método de suministro del mercado (cuadro 20, 21, 22, 23, 24, 25), como se explicó en la metodología.

- **Primer escenario**

Con un promedio de vida útil estimado en 8 años se observa para Chile que el pic de generación fue superado en el año 2014, mientras que las cantidades restantes se acercan al medio millón de unidades siendo considerablemente bajas en comparación con los otros escenarios; para la ciudad de Santiago el pic estimado también fue en el año 2014. El pronóstico de la desaparición del flujo de residuos de TVS TRC es para el año 2022 (cuadros 20 y 21)

Cuadro 20. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Chile según el método de suministro del mercado.

Año	Consumo aparente de TVS TRC en Chile en unidades	Promedio de vida útil	Año	Generación estimada de residuos de TVS TRC en unidades	
1999	624.274	8 años	2007	624.274	
2000	709.056		2008	709.056	
2001	662.912		2009	662.912	
2002	586.371		2010	586.371	
2003	667.355		2011	667.355	
2004	946.535		2012	946.535	
2005	1.338.521		2013	1.338.521	
2006	1.318.765		2014	1.318.765	
2007	945.630		2015	945.630	
2008	678.881		2016	678.881	
2009	380.306		2017	380.306	
2010	319.548		2018	319.548	
2011	65.609		2019	65.609	
2012	43625		2020	43625	
2013	2961		2021	2961	
2014	6473		2022	6473	
				Nuevos residuos que necesitarán gestión	
				438.216	

Cuadro 21. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Santiago<sup>4</sup> según el método de suministro del mercado.

Año	Consumo aparente de TVS TRC en Santiago en unidades	Promedio de vida útil	Año	Generación estimada de residuos de TVS TRC en unidades
2002	174.771	8 años	2010	174.771
2003	203.560		2011	203.560
2004	295.199		2012	295.199
2005	450.640		2013	450.640
2006	476.014		2014	476.014
2007	311.111		2015	311.111
2008	202.125		2016	202.125
2009	124.357		2017	124.357
2010	113.679		2018	113.679
2011	23.332		2019	23.332
2012	15.497		2020	15.497
2013	866		2021	866
2014	1.885		2022	1.885
				Nuevos residuos que necesitarán gestión
				155.258

- **Segundo escenario**

Para este escenario medio se utilizó el valor de 13 años; según la estimación el pic en Chile debería aparecer en el año 2018 y el flujo de generación de este residuo desaparecer en el 2021; para Santiago el pic pronosticado es para el año 2019 y el fin del flujo igual al resto del país. En este escenario las cantidades a generarse en Chile son considerablemente altas con un 71,4% superior al primer escenario, y en Santiago del 81%, lo cual según estos cálculos es signo de la necesidad de un plan de gestión adecuado y enfocado a este residuo en particular (cuadros 22 y 23).

<sup>4</sup> El cálculo se realizó a partir del 2002 por ausencia de datos poblacionales previos a ese año.

Cuadro 22. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Chile según el método de suministro del mercado.

Año	Consumo aparente de TVS TRC en Chile en unidades	Promedio de vida útil	Año	Generación estimada de residuos de TVS TRC en unidades
1999	624.274	13 años	2012	624.274
2000	709.056		2013	709.056
2001	662.912		2014	662.912
2002	586.371		2015	586.371
2003	667.355		2016	667.355
2004	946.535		2017	946.535
2005	1.338.521		2018	1.338.521
2006	1.318.765		2019	1.318.765
2007	945.630		2017	945.630
2008	678.881		2018	678.881
2009	380.306		2019	380.306
2010	319.548		2020	319.548
2011	65.609		2024	65.609
2012	43625		2019	43625
2013	2961		2026	2961
2014	6473		2021	6473
				5.100.319

Nuevos residuos que necesitarán gestión

Cuadro 23. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Santiago según el método de suministro del mercado.

Año	Consumo aparente de TVS TRC en Santiago en unidades	Promedio de vida útil	Año	Generación estimada de residuos de TVS TRC en unidades
2002	174.771	13 años	2015	174.771
2003	203.560		2016	203.560
112004	295.199		2017	295.199
2005	450.640		2018	450.640
2006	476.014		2019	476.014
2007	311.111		2020	311.111
2008	202.125		2021	202.125
2009	124.357		2022	124.357
2010	113.679		2023	113.679
2011	23.332		2024	23.332
2012	15.497		2025	15.497
2013	866		2026	866
2014	1.885		2027	1.885
				Nuevos residuos que necesitarán gestión
				1.719.506

- **Tercer escenario**

Para este escenario se utilizó una vida útil de 16 años; el pronóstico generado con este valor para Chile es tan solo un 30% superior en relación al segundo escenario de pronóstico y del 94% con el primer escenario, mientras que para Santiago la diferencia con el primer escenario es del 93% y de 22% con el segundo. Según el cálculo se pronostica el pic de generación en Chile para el año 2021 y en Santiago para el 2022, y la desaparición del flujo para el año 2030 (cuadro 24 y 25).

Cuadro 24. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Chile según el método de suministro del mercado.

Año	Consumo aparente de TVS TRC en Chile en unidades	Promedio de vida útil	Año	Generación estimada de residuos de TVS TRC en unidades
1999	624.274	16 años	2015	624.274
2000	709.056		2016	709.056
2001	662.912		2017	662.912
2002	586.371		2018	586.371
2003	667.355		2019	667.355
2004	946.535		2020	946.535
2005	1.338.521		2021	1.338.521
2006	1.318.765		2022	1.318.765
2007	945.630		2023	945.630
2008	678.881		2024	678.881
2009	380.306		2025	380.306
2010	319.548		2026	319.548
2011	65.609		2027	65.609
2012	43.625		2028	43.625
2013	2.961		2029	2.961
2014	6.473		2030	6.473
				7.300.580

Nuevos residuos que necesitarán gestión

Cuadro 25. Generación potencial de residuos de TVS TRC estimados en Santiago según el método de suministro del mercado.

Año	Consumo aparente de TVS TRC en Santiago en unidades	Promedio de vida útil	Año	Generación estimada de residuos de TVS TRC en unidades		
2002	174.771	16 años	2018	174.771	Nuevos residuos que necesitarán gestión	
2003	203.560		2019	203.560		
2004	295.199		2020	295.199		
2005	450.640		2021	450.640		
2006	476.014		2022	476.014		
2007	311.111		2023	311.111		
2008	202.125		2024	202.125		
2009	124.357		2025	124.357		
2010	113.679		2026	113.679		
2011	23.332		2027	23.332		
2012	15.497		2028	15.497		
2013	866		2029	866		
2014	1.885		2030	1.885		
				2.393.036		

Para moldear el peso de los residuos estimados y utilizando un valor promedio de los pesos determinados por la EPA (2016) se estableció en este estudio 25 kilogramos como peso promedio para cada unidad de televisor TRC, a continuación se muestran los resultados (cuadro 26).

Cuadro 26. Estimación de la generación potencial de residuos de TVS TRC del 2018 en adelante (valores en toneladas).

Año	Chile 1er escenario	Santiago 1er escenario	Chile 2do escenario	Santiago 2do escenario	Chile 3er escenario	Santiago 3er escenario
2018	7.989	2.842	33.463	11.266	14.659	4.369
2019	1.640	583	32.969	11.900	16.684	5.089
2020	1.091	387	23.641	7.778	23.663	7.380
2021	74	22	16.972	5.053	33.463	11.266
2022	162	47	9.508	3.109	32.969	11.900
2023			7.989	2.842	23.641	7.778
2024			1.640	583	16.972	5.053
2025			1.091	387	9.508	3.109
2026			74	22	7.989	2.842
2027			162	47	1.640	583
2028					1.091	387
2029					74	22
2030					162	47
<b>TOTAL</b>	<b>10.955</b>	<b>3.881</b>	<b>127.508</b>	<b>42.988</b>	<b>182.515</b>	<b>59.826</b>

#### 4.2. Componentes y elementos tóxicos en TV TRC

El cuadro 27 muestra los estudios específicos sobre televisores de tubo de rayo catódico seleccionados para la caracterización de sus elementos tóxicos y posibles impactos al final de su vida útil. Para ello se clasificaron en las siguientes temáticas: “caracterización y toxicidad” e “impactos por inadecuada gestión”.



Cuadro 27. Clasificación de estudios base sobre TRVS TRC

Categoría	Estudio
Caracterización y toxicidad	EPA (1999), Menad (1999), Price (1999), Townsend et al. (1999), Musson et al. (2000), Zhou et al. (2002), Mear et al. (2006), Andreola et al. (2007), Herat (2008), Zhao et al. (2009), Nnorom et al. (2010), Wäger et al. (2011), Wang et al. (2011), Martinho et al. (2012), Lechuga y Paredes (2013), Kravchenko et al. (2014), Iniaghea y Adie (2015), Singh et al. (2016b),
Impactos por inadecuada gestión	Doig (1976), Seaton et al. (1986), EPA (1998), Chan y Kilby (2000), Hooper y McDonald (2000), Musson et al. (2000), Darnerud et al. (2001), McDonald (2002), Puckett y Smith. (2002), Schmidt (2002), Zhou et al. (2002), Danon-Schaffer et al. (2003), Jang y Townsend (2003), OECD (2003), Pier et al. (2003), U.S. Department of Health Y Human Services (2007), Spalvins et al. (2008), Williams et al. (2008). Lee y Jones (2009), Odusanya et al. (2009), Nnorom et al. (2010), Liu et al. (2011), Tsydenova y Bengtsson (2011), Wang et al. (2011), Niu et al. (2012), Grant et al. (2013), Kidee P. et al. (2013), Lechuga y Paredes (2013), Li et al. (2014), Rocchetti y Beolchini (2014), ATDSR (2015), Lecler et al. (2015), Yu-Gong et al. (2015)

- **Composición.**

De acuerdo a Singh et al. (2016) y Martinho et al. (2012) las principales partes de un televisor TRC donde se concentran elementos con potencial contaminante son el tubo de rayo catódico y las demás partes plásticas presentes en el dispositivo; otras partes que lo conforman como la mono capa de grafito que recubre una parte del trc, el cañón de electrones, circuitos impresos, mascara metálica, bobina deflectora, clavijas metálicas y cables, no muestran su potencial toxico en los estudios revisados. Por lo tanto, el trabajo se centró en las partes que si poseen potencial toxico, las que se detallan a continuación.

#### 4.2.1. Tubo de rayo catódico (TRC)

Singh et al. (2016) describe un TRC como un tubo al vacío donde se producen las imágenes cuando un haz de electrones golpea una superficie fosforescente. Se dividen en dos tipos: monocromático (blanco y negro) y a colores; se han usado tanto en televisores como en monitores de computadora, y en ambos destaca la presencia de grandes cantidades de Pb, (estimada: 0,5 - 4 kg), según el tamaño (Nnorom et al., 2010); el elemento se encuentra como óxido de plomo (PbO) y se utiliza como blindaje contra los rayos ultravioletas y los rayos x que se generan dentro del tubo en funcionamiento (Mear et al., 2006). Según los datos disponibles no hay una diferencia significativa entre la composición del TRC de televisores y de monitores de computadoras.

El TRC está compuesto predominantemente por cuatro tipos diferentes de vidrio (figuras 8 y 9), cada uno de los cuales cumple una función distinta: panel, embudo, cuello y frita (para los TRC a colores) (EPA 1999, Méar et al., 2006, Andreola et al., 2007).

Se estima que aproximadamente el 65% del peso de un televisor está constituido por el tubo de rayo catódico; éste a su vez, se distribuye en un 65% en el panel, 30% en el embudo y un 5% en el cuello (EPA 1999, Andreola et al., 2007, Herart 2008, Nnorom et al., 2010; Yu-Gong et al., 2015).

En el panel o pantalla (la parte frontal de un televisor o monitor), se encuentra plomo en los TRC monocromáticos (65% del peso total) mientras que en los TRC a colores el % alcanza 2 a 3% hasta el año 1995; en adelante se utilizó óxido de bario (9 a 14%) y óxido de estroncio (8 y 12%) (Price 1999, Mear et al., 2006, Andreola et al., 2007). Además, el interior del panel TRC está cubierto con capas de fósforo que también pueden contener cadmio y otros metales (Herart 2008).

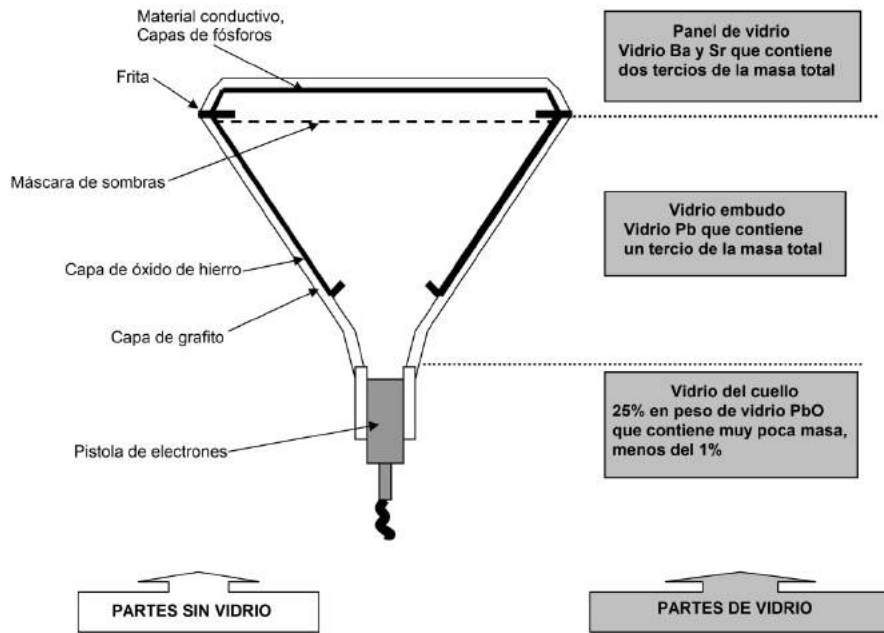


Figura 8. Vista esquemática de los componentes de un TRC  
Fuente: Méar et al., 2006



Figura 9. Estructura típica de un TV TRC  
Fuente: Yu-Gong et al., 2015

En el embudo se encuentra una cantidad significativa de plomo, entre el 18 y 25% (Price 1999, Andreola et al., 2007, Herart 2008, Nnorom et al., 2010, Yu-Gong et al., 2015, Iniaghe y Adi 2015), y es esencial para absorber la radiación ultravioleta y de rayos X producida por el cañón de electrones; el interior está cubierto con óxido de hierro y una mono capa de grafito conectada al exterior del embudo (Price 1999, Méar et al., 2006, Herart 2008).

El cuello se ubica al final del embudo y cubre al cañón de electrones; es un vidrio con un porcentaje alto de plomo, entre un 25 a 40% (Price 1999, Méar et al., 2006, Andreola et al., 2007, Herart 2008).

La frita es un tipo de soldadura de vidrio que sirve para unir el panel con el embudo; contiene aproximadamente 15 a 100 g de plomo, dependiendo del tamaño TRC (EPA1999, Price 1999, Andreola et al., Méar et al., 2006, 2007, Herart 2008, Nnorom et al., 2010). Además de los óxidos de plomo, bario y estroncio, el vidrio de TRC contiene óxido de silicio, sodio, potasio, aluminio y calcio (Herart, 2008).

La concentración de plomo en el vidrio TRC varía según en el tamaño del cristal, como se muestra en el cuadro 28.

Cuadro 28. Plomo contenido en diferentes tamaños de trc.

Tamaño del trc	Plomo en kg.	Tamaño del trc	Plomo en kg.
13 pulgadas	0.5	27 pulgadas	1.8
17 pulgadas	0.7	32 pulgadas	2.9

Fuente: Iniaghe y Adie 2015; Singh et al., 2016

Se estableció un valor promedio de los elementos presentes en el vidrio TRC (cuadro 29), según la información entrada por Andreola et al. (2007) y Yu-Gong et al., 2015, los cuales presentan los valores más conservadores.

Cuadro 29. Elementos presentes en vidrio TRC<sup>5</sup>, porcentaje de óxido por peso total.

Oxido	Panel (%)	Embudo (%)	Cuello (%)
SiO <sub>2</sub>	61,23	56,72	50,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,56	3,42	1,00
Na <sub>2</sub> O	8,27	6,99	2,00
K <sub>2</sub> O	5,56	5,37	10,00
CaO	1,13	3,12	2,00
MgO	0,76	2,02	0,00
BaO	10,03	4,03	0,00
SrO	8,84	1,99	0,00
PbO	0,02	15,58	34,00

Fuente: Andreola et al., 2007; Shi et al., 2011; Yu-Gong et al., 2015

#### 4.2.1.1. Estimación de elementos tóxicos presentes en los tubos de rayos catódicos del total calculado de residuos de televisores a generarse

Para estimar las cantidades potenciales de elementos tóxicos a generarse en la disposición final de los TVS TRC se utilizaron los datos ya expuestos y ordenados como se indica en la figura 10, lo cual junto con el peso promedio de un TV TRC y de su TRC (cuadro 30), entregó una estimación aproximada en kilogramos de los elementos presentes en el TRC de un televisor (cuadro 31).

<sup>5</sup> Las fracciones de óxidos inferiores al 1% (% en peso) no se describieron en la tabla.

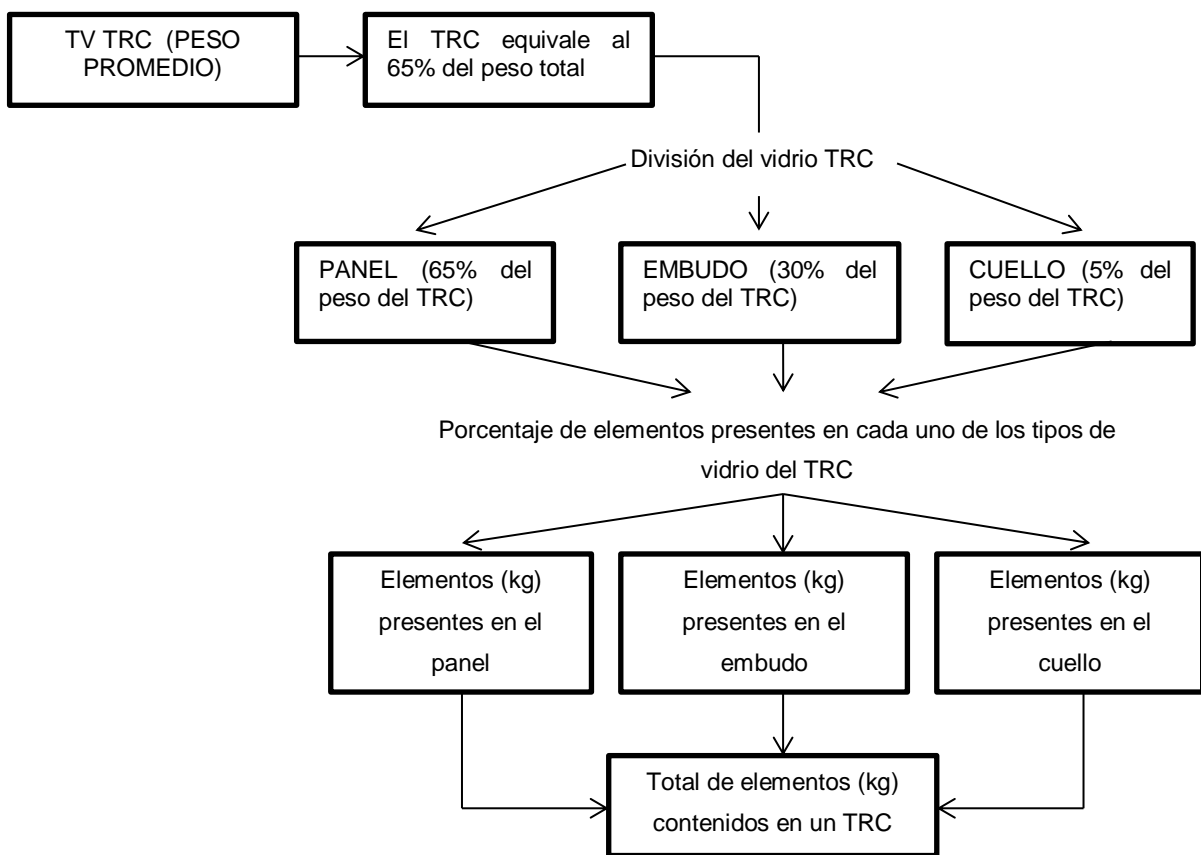


Figura 10. Distribución del peso de un TV TRC.

Cuadro 30. Peso promedio de UN TV TRC y del TRC.

	Peso promedio de un TV TRC	TRC = 65% del peso de un TV TRC	Panel = 65% del peso de un TRC	Embudo = 30% del peso de un TRC	Cuello = 5% del peso de un TRC
Peso en kg	25	16,25	10,56	4,88	1,25

Cuadro 31. Elementos presentes en el TRC de un televisor (valores en kg)

Oxido	Panel	Embudo	Cuello	TOTAL
SiO <sub>2</sub>	6,47	2,77	0,63	9,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,27	0,17	0,01	0,45
Na <sub>2</sub> O	0,87	0,34	0,03	1,24
K <sub>2</sub> O	0,59	0,26	0,13	0,97
CaO	0,12	0,15	0,03	0,30
MgO	0,08	0,10	0,00	0,18
BaO	1,06	0,20	0,00	1,26
SrO	0,93	0,10	0,00	1,03
PbO	0,00	0,76	0,43	1,19

Entre los elementos calculados destaca el plomo debido al potencial tóxico que posee, con un valor promedio estimado por televisor TRC de 1,19 kg, lo cual podría ser considerado discreto en comparación con otros estudios que lo estiman en un rango de 1,6 a 3,2 kg (Yu-gong et al., 2015). Sin embargo, desde el punto de vista del manejo de residuos es una cantidad suficiente para poner a estos dispositivos en el radar de la necesidad de una gestión específica adecuada para ellos. Con los resultados obtenidos se calculó un aproximado de los elementos para el total de TVS TRC estimados a generarse a partir del año 2018 en cada uno de los escenarios tanto en Chile como en Santiago, como se muestra en el cuadro 32.

Cuadro 32. Total de elementos en vidrio TRC de televisores al final de su vida útil esperados a generarse a partir del 2018 (valores en toneladas).

	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2		ESCENARIO 3	
	CHILE	SANTIAGO	CHILE	SANTIAGO	CHILE	SANTIAGO
Unidades de TV TRC	438.216	155.259	5.100.319	1.719.506	7.300.580	2.393.036
TOTAL Oxido	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas	Toneladas
SiO <sub>2</sub>	4.320	1.530	50.276	16.950	71.966	23.589
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	197	70	2.293	773	3.283	1076
Na <sub>2</sub> O	543	192	6.321	2.131	9.047	2.966
K <sub>2</sub> O	427	151	4.968	1.675	7.111	2.331
CaO	130	46	1.512	510	2.164	709
MgO	78	28	912	307	1.305	428
BaO	550	195	6.405	2.159	9.169	3.005
SrO	452	160	5.257	1.772	7.525	2.467
PbO	520	184	6.052	2.040	8.663	2.840

#### 4.2.2. Partes plásticas

En cuanto a las partes plásticas de los televisores TRC, la información bibliográfica da un aproximado del 16,5% del peso total del dispositivo. El estudio de Martinho et al. (2012), realizado en una planta de reciclaje en Portugal analizando los componentes plásticos de 103 televisores TRC, identificó la presencia de 6 tipos de polímeros. Utilizó el código de identificación de resina (RIC por sus siglas en inglés), establecido por la Sociedad de la industria de plástico de Estados Unidos y además utilizó espectroscopia de infrarrojo cercano<sup>6</sup>. Los polímeros, usando sus siglas en inglés, son: poliestireno (PS), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), poliestireno de alto impacto (HIPS), estireno butadieno (SB), polipropileno (PP) y óxido de polifenileno / poliestireno (PPO/PS). Es importante señalar

<sup>6</sup> Espectroscopia de infrarrojo cercano o NIRS (near-infrared spectroscopy) es un método óptico de diagnóstico no invasivo que utiliza la absorción o reflexión de determinada longitud de onda producida por los diferentes grupos funcionales que se encuentran en los tejidos y/o materiales.



que en este estudio solo el 58% de las partes plásticas caracterizadas presentaban código de identificación del polímero, lo cual dificultó su identificación en procedimientos de reciclaje manual. Otro dato relevante es que el 73% presentó presencia de aditivos de color oscuro (marrón y principalmente negro); este color dificulta la identificación del polímero cuando el signo del polímero no está presente (Martinho et al, 2012). La figura 11 muestra los porcentajes de estos polímeros encontrados en el estudio de Martinho et al. (2012).

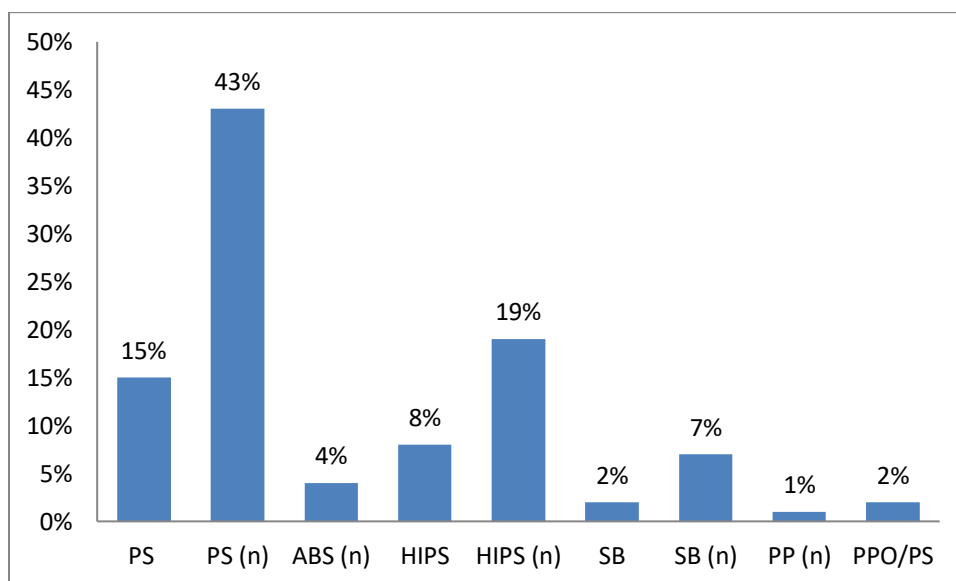


Figura 11. Tipos de polímeros presentes en las partes plásticas de un tv trc, porcentaje en relación al peso total de las partes plásticas del dispositivo. (n = negro)  
Fuente: Martinho et al. (2012).

Los dispositivos TRC utilizados en el estudio de Martinho et al. (2012) no presentaron una marca de identificación del retardante de llama, sin embargo un estudio realizado por Wäger et al. (2011) a nivel de la Unión Europea sobre residuos electrónicos, determinó que dispositivos eléctricos y electrónicos que contienen polímeros como acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), poliestireno de alto impacto (HIPS) y polipropileno (PP), pueden presentar octabromodifenil y decabromodifenil éteres en concentraciones cercanas o

inferiores a los niveles máximos de concentración permitidos por la Directiva ROHS<sup>7</sup> (DIRECTIVA 2011/65/UE) y, en el caso específico de los televisores TRC, los plásticos ABS, PS y HIPS presentan concentraciones por encima del valor límite. Este mismo estudio en su análisis a 35 paneles plásticos posteriores de televisores TRC encontró que el 19% de las muestras presentó cadmio en valores que excedían los establecidos por la Directiva ROHS. Los cuadros 33 y 34 muestran los valores máximos de concentración establecidos por la Directiva ROHS y los resultados del estudio de Wäger et al. (2011) sobre plásticos en televisores TRC con presencia de sustancias reguladas por la Directiva ROHS.

Cuadro 33. Valores máximos de concentración (MCV) para materiales homogéneos en los nuevos equipos eléctricos y electrónicos (EEE) según la Directiva ROHS.

	Cd	Cr(VI)	HG	Pb	PBBs	PBDEs
VMC en % en peso	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: Directiva 2011/65/EU (ROHS)

Cuadro 34. Sustancias peligrosas presentes en partes plásticas de televisores TRC en concentraciones superiores a las permitidas en la Directiva ROHS.

POLÍMERO	SUSTANCIAS REGULADAS
PS	DecaBDE
ABS	Cadmio, OctaBDE, DecaBDE
HIPS	DecaBDE
PP	Cadmio, DecaBDE

Fuente: Wäger et al. (2011).

<sup>7</sup> Directiva sobre la restricción del uso de ciertas sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos, en vigencia desde el 27 de enero de 2003, regula la aplicación de sustancias peligrosas en nuevos EEE incluidos en las categorías 1, 2 y 3, 4, 5, 6, 7 y 10 establecidos en el anexo IA de la Directiva WEEE europea.

#### 4.2.2.1. Estimación de tipos de plásticos a generarse en el total calculado de residuos de TV TRC

Tomando como base los resultados del estudio de Martinho et al. (2012) sobre los tipos y cantidades de polímeros encontrados en los residuos de TV TRC, se calcularon las cantidades estimadas a generarse y el porcentaje y tipos de plástico presentes en estos dispositivos. Los resultados de esta estimación se presentan en los cuadros 35 y 36.

Cuadro 35. Tipos de plásticos presentes en un TV TRC en peso y porcentaje

PS	ABS	HIPS	SB	PP	PPO/PS
58%	4%	27%	9%	1%	2%
2,39 kg.	0,16 kg.	1,11 kg.	0,37 kg.	0.04 kg.	0,08 kg.

Fuente: Martinho et al. (2012). Peso promedio de un TV TRC = 25 kg; porcentaje total de plástico por unidad = 16,5 %.

Cuadro 36. Estimación de residuos plásticos de TV TRC que se espera sean generados en los tres escenarios de cálculo planteados (valores en toneladas).

		Chile escenario 1	Santiago escenario 1	Chile escenario 2	Santiago escenario 2	Chile escenario 3	Santiago escenario 3
		2018 al 2022		2018 al 2027		2018 al 2030	
	RESIDUOS TV TRC	10.955	3.881	127.508	42.988	182.515	59.826
POLIMERO	PS	1.047,34	371,07	12.189,76	4.109,62	17.448,39	5.719,36
	ABS	70,11	24,84	816,05	275,12	1.168,09	382,89
	HIPS	486,42	172,34	5.661,35	1.908,65	8.103,64	2.656,27
	SB	162,14	57,45	1.887,12	636,22	2.701,21	885,42
	PP	17,53	6,21	204,01	68,78	292,02	95,72
	PPO/PS	35,06	12,42	408,03	137,56	584,05	191,44

### 4.3. Posibles impactos de una incorrecta disposición final

Los resultados presentados indican que los TV TRC contienen elementos que les permite ser considerados peligrosos e incorporables a la normativa chilena, Decreto Supremo N° 148 “Reglamento Sanitario Sobre Manejo de Residuos Peligrosos”, la cual en varios de sus artículos indica características que debe de cumplir un residuo para catalogarse como peligroso, con lo cual entran en este grupo y ameritan una eliminación especial.

Para el desarrollo de este punto se identificó los métodos de disposición que no son idóneos para estos residuos. Para ello se revisaron las normativas y leyes chilenas que se aplican a los residuos peligrosos, a fin de identificar los impactos que pueden causar estos residuos a los seres humanos y al medio ambiente.

El análisis consideró separadamente los tubos de rayos catódicos y las partes plásticas de un TV TRC.

#### 4.3.1. Tubo de rayo catódico

Esta parte de televisor que abarca el 65% del peso total del dispositivo está compuesto por vidrio que contiene diferentes elementos, algunos de ellos considerados tóxicos. El total de vidrio de TRC esperado a generarse en los escenarios planteados se muestra en el cuadro 37.

Cuadro 37. Estimación de la generación potencial de vidrio TRC de residuos de televisores del 2018 en adelante (valores en toneladas).

	Chile escenario 1	Santiago escenario 1	Chile escenario 2	Santiago escenario 2	Chile escenario 3	Santiago escenario 3
	2018 al 2022		2018 al 2027		2018 al 2030	
TOTAL	7.121	2.523	82.880	27.942	118.635	38.887

De los elementos encontrados en el vidrio de televisores de TRC plomo y bario son considerados tóxicos y mencionados en el D.S. N° 148 y en la directiva ROHS de la UE para sustancias peligrosas en equipos eléctricos y electrónicos (Directiva 2011/65/EU), la cual establece que el plomo presente en artículos eléctricos y electrónicos está restringido a 0,1%. Las cantidades promedio de plomo y bario calculadas en este estudio para un televisor de 25 kg es de 1,19 kg y de 1,26 kg respectivamente lo cual correspondería al 4,8% y 5% del peso total de un TV TRC, el total estimado de estos elementos a generarse se presenta en el cuadro 38.

Cuadro 38. Estimación de la generación potencial de plomo y bario en vidrio TRC de residuos de televisores del 2018 en adelante (valores en toneladas).

	Chile escenario 1	Santiago escenario 1	Chile escenario 2	Santiago escenario 2	Chile escenario 3	Santiago escenario 3
	2018 al 2022		2018 al 2027		2018 al 2030	
Bario	550	195	6.405	2.159	9.169	3.005
Plomo	520	184	6.052	2.040	8.663	2.840

El D.S. N° 148 expresa que los residuos que contengan metales como el plomo son considerados peligrosos; además en su artículo 14 expresa “que un residuo tendrá la característica de toxicidad extrínseca cuando su eliminación puede dar origen a una o más sustancias tóxicas agudas o tóxicas crónicas en concentraciones que pongan en riesgo la salud de la población”, y continúa expresando que cuando su disposición final se realiza en el suelo debe considerarse el “Test de Toxicidad por Lixiviación” para un grupo de sustancias en las cuales se encuentra el plomo con una concentración permitida de 5 mg/l y para el bario de 100 mg/l, mismos valores establecido por la EPA en su Procedimiento de lixiviación característico de toxicidad o TCLP por sus siglas en inglés (Toxicity Characteristic Leaching Procedure).

Existe evidencia en estudios donde los resultados del procedimiento de lixiviación característico de toxicidad muestran que el plomo supera los 5mg/l, como el realizado por Musson et al. (2000) donde se estudiaron 36 tubos de rayos catódicos entre televisores y monitores de computadora, obteniendo como resultado un promedio de 18,5 mg/l. En Townsend et al. (1999) 21 de 30 TRC de color, excedieron los 5mg/l de plomo con una

concentración promedio de 22,2 mg/l. Al haber fallado las pruebas del procedimiento de lixiviación característico de toxicidad este residuo fue prohibido en vertederos y rellenos sanitarios en la mayoría de los países desarrollados, siendo precisamente estas vías de eliminación inadecuadas y no recomendadas. En cuanto al bario no se encontró evidencia de que supere los límites establecidos en los test de lixiviación realizados en el vidrio TRC.

En Chile no existe una prohibición explícita para residuos de TV TRC en rellenos sanitarios con lo cual queda abierta la posibilidad de que lleguen a ser depositados en ellos e incluso llegar a vertederos tanto legales como clandestinos, generando el riesgo de que al lixiviarse el plomo llegue a contaminar fuentes de aguas subterráneas y estas a su vez a los seres humanos.

Las actividades de manipulación y reciclaje incorrecto de estos residuos pueden provocar impactos negativos a la salud de los trabajadores, producto de la emisión de sustancias nocivas como lo son en este caso bario y plomo. Un estudio realizado por Lecler et al. (2015) en Francia, donde se evaluó la exposición en aire en ambiente laboral a sustancias nocivas, en nueve talleres donde son tratadas pantallas de TRC, se registraron niveles máximos de exposición de 576,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para plomo y 1504,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para bario, superando los valores máximos permitidos por la norma de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (OHSAS, por sus siglas en inglés) y la norma de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés), las cuales establecen una concentración máxima permitida de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para plomo y 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para bario. Los resultados del estudio de Lecler et al. (2015) superan también los establecidos en el D.S. N° 594 del Ministerio de Salud chileno que establece un valor máximo de 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para plomo y de 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para bario. Los resultados del estudio mencionado demuestran que elementos como plomo y bario se pueden liberar durante todas las operaciones de tratamiento de las pantallas trc, teniendo el potencial de generar un mayor impacto a la salud de los trabajadores si se realizan operaciones incorrectas de tratamiento y sin las protecciones adecuadas.

Una vez identificados los principales elementos tóxicos que contienen estos residuos y que prácticas de manejo tienen el potencial de generar un impacto, se procedió a describir el potencial daño que pueden generar.

#### 4.3.1.1. Plomo

El plomo es un metal natural en la corteza terrestre y está clasificado como posible carcinógeno por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC). El plomo en sí no se descompone, sin embargo las características de las diferentes sustancias que contienen plomo podrían verse afectadas por condiciones ambientales. Las fuentes ecológicas de exposición a este elemento son el aire, agua y suelo, mientras que las rutas de exposición son la inhalación, ingestión y contacto dérmico.

Dentro de vertederos y rellenos sanitarios el principal efecto que el ambiente puede causar al vidrio roto (producto del proceso de eliminación) de televisores de TRC es la lixiviación de iones de plomo, producto de la mezcla con aguas ácidas que se producen en estos sitios (Herat, 2008). Al día de hoy existen diversas posturas sobre el verdadero impacto de estos residuos en rellenos sanitarios, de un lado se afirma el peligro de depositarlos en estos sitios ya que podrían causar contaminación en aguas subterráneas (Schmidt, 2002; Lee y Jones, 2009) y por otro lado argumentan que los rellenos sanitarios son capaces de contener de manera correcta contaminantes como el plomo presente en los residuos de televisores de TRC (Jang y Townsend, 2003; Williams et al., 2008). En Chile, como ya se ha mencionado, el D.S. N° 148 prohíbe su eliminación en rellenos sanitarios.

Asimismo, las actividades de reciclaje de televisores de trc presentan riesgos de exposición al plomo, principalmente las actividades de reciclaje informal en las cuales no se cumplen las normas de seguridad necesarias; las afectaciones e impactos que puede generar dependerán de variables como el tiempo de exposición y la concentración del plomo (Grant et al., 2013). Cualquiera sea la vía de exposición, una vez que el plomo ingresa al organismo, circula por la sangre depositándose en diferentes tejidos blandos, huesos, y demás tejidos, incluso en los mismos glóbulos rojos. La exposición prolongada en tiempos iguales o mayores a un año, es capaz de producir efectos crónicos en la salud. En la inhalación del plomo, el daño que este podría causar dependerá del tamaño de la partícula inhalada, si son menores a 2,5 micras pueden depositarse en los pulmones, desde donde entrarán 100% al torrente sanguíneo; si las partículas son mayores a 2,5 micras se depositan en la región traqueobronquial y nasofaríngea, desde donde pueden ser tragadas y absorbidas por el sistema digestivo. Esta absorción es menor en adultos con un porcentaje de éxito de entre 8 y 10%, sin embargo en niños esta

puede llegar a un 50%; las partículas mayores a 10 micras no penetran por la nariz y no representan peligro, sin embargo al acumularse como polvo es posible que puedan ser tragadas especialmente por niños (D.S. N° 136, Norma de Calidad Primaria para Plomo en el aire).

El plomo puede afectar casi todos los órganos del cuerpo, incluso sistemas como el nervioso y reproductivo. Sin embargo el principal efecto tóxico del plomo en el ser humano es sin duda en el sistema nervioso (Grant et al., 2013), pudiendo producir graves daños al cerebro humano sobre todo en niños, llegando a afectar su normal desarrollo (Herat, 2008). Existe evidencia de impactos a la salud mental de niños en localidades cercanas a sitios de disposición y tratamiento de residuos electrónicos, donde el plomo es el principal agente químico asociado con alteraciones del temperamento infantil y con bajos resultados en evaluaciones cognitivas (Liu et al., 2011), esto debido a que los niños en periodo de lactancia son mayormente susceptibles, producto de su sistema nervioso en desarrollo y otros factores físicos como menor masa corporal, mayor capacidad de absorción intestinal y menor tasa de eliminación, además durante el periodo de gestación el plomo puede alojarse en los tejidos fetales, produciendo una exposición intrauterina temprana, retardando el crecimiento intrauterino y produciendo interferencia en el desarrollo físico y mental del niño durante el primer año de vida (D.S. N° 136, Norma de Calidad Primaria para Plomo en el aire).

#### **4.3.1.2. Bario**

El bario es un metal blanco plateado que adquiere un color amarillo plateado cuando se expone al aire. El bario se produce en la naturaleza en muchos compuestos sólidos en forma de polvos y cristales y no se queman bien. Sulfato y carbonato de bario se encuentran a menudo en la naturaleza, pero no se mezclan bien con el agua, por lo cual no se encuentran en cantidades significativas en el agua potable. La exposición cerca de sitios de desechos peligrosos puede ocurrir al respirar polvo, comer tierra o plantas, o beber agua contaminada con bario,

En lo que respecta a los riesgos de disposición de pantallas de TRC en vertederos, los resultados del procedimiento de lixiviación característico de toxicidad para bario dieron



resultados insuficientes para considerar riesgos de lixiviación en vertederos y rellenos sanitarios (Kidee P. et al., 2013), con lo cual se descartan sus potenciales impactos desde las pantallas de TRC, sin embargo el contenido de plomo y su potencial de lixiviación mantiene la necesidad de prohibir su disposición en estos sitios.

En los sitios de tratamiento y reciclaje de estos residuos se puede producir una liberación de óxido de bario en forma de polvo, producto del desmantelamiento y manipulación de los tubos de rayos catódicos (OECD, 2003). La EPA y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) han catalogado al bario como no cancerígeno para los seres humanos, sin embargo existen efectos negativos que pueden producirse en ambientes laborales aunque tiene un efecto menor en los pulmones. El estudio realizado por Doit (1976) mostró una neumoconiosis benigna o baritosis en 12 trabajadores de una fábrica en Inglaterra, los cuales tuvieron contacto con el óxido de bario por periodos mayores a un año. La información disponible sobre efectos en humanos de la baritosis sugiere que la acumulación de bario en los pulmones no implica una discapacidad médica o sintomatología (Seaton et al., 1986; EPA, 1998; Kravchenko et al., 2014).

La ingestión por medio del polvo puede causar hipokalemia, que es un trastorno en el equilibrio del potasio, causando una disminución en la concentración de potasio en la sangre, produciendo efectos gastrointestinales como vómitos, calambres abdominales y diarrea, síntomas que generalmente se informan poco después de la ingestión; también se han informado casos en personas que estuvieron expuestas a concentraciones muy altas de bario en el aire, presentado de igual manera hipokalemia (U.S. Department of Health and Human Services, 2007).

El contacto directo con polvo de bario puede producir irritación en la piel, los ojos y el tracto respiratorio, sin embargo no hay suficientes estudios sobre exposición crónica al bario en humanos. En los estudios realizados en animales donde se expuso a la ingesta de bario durante largos periodos de tiempo se reveló aumento en la presión arterial y cambios en el corazón (Puckett y Smith., 2002).

### 4.3.2. Partes plásticas

Los componentes plásticos en estos dispositivos equivalen aproximadamente al 16,5% del peso total de un TV TRC, y la presencia de seis tipos de polímeros y algunos aditivos principalmente los polibromodifenil éteres (PBDE).

Las cantidades esperadas de plástico a generarse en los tres escenarios planteados se muestran en el cuadro 39.

Cuadro 39. Estimación de residuos plásticos de TV TRC que se esperan ser generados en los tres escenarios de cálculo planteados (valores en toneladas).

	2018 al 2022		2018 al 2027		2018 al 2030	
	Chile escenario 1	Santiago escenario 1	Chile escenario 2	Santiago escenario 2	Chile escenario 3	Santiago escenario 3
RESIDUOS TV TRC	10.955	3.881	127.508	42.988	182.515	59.826
TOTAL PLASTICO	1808	640	21039	7093	30115	9871

#### 4.3.2.1. Polibromodifenil éteres

Son sustancias químicas antropogénicas utilizadas desde 1970 como retardantes de llama, adicionados a los polímeros para resistencia al fuego; se han usado principalmente en termoplásticos para aparatos eléctricos y electrónicos como por ejemplo: carcasas de televisores, monitores, computadoras y recubrimiento de cables (Lechuga y Paredes, 2013). Son compuestos estables y lipofílicos, por lo que pueden permanecer por mucho tiempo en el ambiente, pudiendo recorrer grandes distancias y bioacumularse en los seres vivos; por su efecto toxicológico la producción y uso de los PBDEs se ha prohibido en Europa y Estados Unidos (Lechuga y Paredes, 2013; Li et al., 2014)

En la revisión bibliográfica para este trabajo se encontró la presencia de diferentes PBDEs en los televisores de TRC tales como: éter de octabromodifenilo (OctaBDE, por sus siglas

en inglés) y éter de decabromodifenilo (DecaBDE, por sus siglas en inglés), en concentraciones que excedían el valor límite establecidos por la Directiva ROHS. A pesar de la suspensión gradual en la fabricación y usos de OctaBDE y DecaBDe, aún existe una gran cantidad de productos eléctricos y electrónicos incluidos los televisores de TRC que los contienen, y probablemente se mantengan en uso durante varios años más.

El DecaBDE no es un contaminante orgánico persistente, pero puede degradarse en otros congéneres menos bromados (Penta y OctaBDE) que tienen una mayor biodisponibilidad, toxicidad y persistencia (UNEP, 2013 cp. Lechuga y Paredes, 2013). Los PentaBDE y OctaBDE fueron prohibidos en la normativa Europea en agosto del 2004, y catalogados como contaminantes orgánicos persistentes en la convención de Estocolmo en mayo del 2005, y el DecaBDE fue registrado en la normativa europea a finales de agosto del 2010, en Estados Unidos se detuvo voluntariamente la producción de PentaBDE y OctaBDE en 2004, y hasta el 2012 para el DecaBDE (Lechuga y Paredes).

Las actividades inadecuadas de reciclado y disposición final de televisores de TRC, pueden producir la liberación de los PBDEs en el aire, agua y suelo. Esta liberación se produce principalmente del polvo que se forma al cortar o triturar las partes plásticas de estos dispositivos (Wang et al., 2011).

Los PBDs contenidos en los televisores de TRC se pueden liberar al aire, agua y al suelo por medio de procesos de reciclaje o disposición final, producto de la trituración o corte de las partes plásticas que los contienen, transfiriéndose al polvo generado por estas acciones o uniéndose al polvo ambiental del sitio de tratamiento (Zhao et al., 2009; Li et al., 2014). Una vez liberados pueden difundirse por toda la planta o sitio de tratamiento a través del transporte aéreo o por deposición seca o húmeda (Li et al., 2014); estudios realizados en sitios donde han sido liberados PBDEs, han mostrado la difusión a zonas circundantes en lo que denominaron efecto halo (Pier et al., 2003); en el estudio realizado por Zhao et al. (2009) en un taller de reciclaje de residuos eléctricos se comprobó la existencia una zona de efecto halo de 74 km de radio.

La potencial lixiviación de PBDEs en vertederos y rellenos se ha sido estudiado existiendo evidencia de que con el tiempo estas sustancias pueden filtrarse a través del suelo hasta llegar a aguas subterráneas en vertederos que no hayan sido revestidos adecuadamente (Oduşanya et al., 2009). Existen otras variables que intervienen en la potencial de lixiviación e impacto de los PBDEs, como son sus concentraciones, presencia de materia

orgánica y factores temporales en el ingreso de los residuos que contienen a los PBDEs (Danon-Schaffer et al., 2003). Sin embargo una de las características de estas sustancias es que son poco solubles en agua, y se adhieren fuertemente a partículas en el suelo, y por lo tanto, no se movilizan fácilmente a través del suelo y cuando se liberan al agua tienden generalmente a adherirse al sedimento (ATSDR, 2015).

La exposición a estas sustancias puede darse por medio de inhalación, ingesta o por contacto con la piel, sin embargo existen diversos factores que determinan si la exposición a PBDEs es perjudicial, como; la dosis, duración y forma de exposición (ATSDR, 2015). La OSHA no ha establecido límites para ambientes laborales. La agencia internacional para la investigación del Cáncer (IARC) clasificó a los PBDEs como “no clasificables en cuanto a su carcinogenicidad en seres humanos”, sin embargo la EPA asignó al DecaBDE una clasificación de “evidencia sugestiva de potencial de carcinogenicidad” (ATSDR, 2015).

EL DecaBDE y el OctaDBE presentan diferencias según como entra y salen del cuerpo; dicha diferencia se relaciona con su estructura química, particularmente con el número de átomos de bromo. Por ejemplo, el DecaBDE totalmente bromado se absorbe poco, se elimina rápidamente y no se bioacumula, por el contrario, los con menor número de átomos de bromo se absorben casi por completo, se eliminan lentamente y son altamente bioacumulables (McDonald, 2002; ATSDR, 2015).

Los PBDEs con menor contenido de bromo tienen una mayor probabilidad de pasar a la sangre por medio del estómago o pulmones y una vez dentro pueden transformarse parcialmente en productos de degradación o metabolitos secundarios, los que pueden abandonar el cuerpo en las heces y la orina. El DecaBDE se elimina con mayor rapidez teniendo una vida media de 15 días aproximadamente, mientras que los de menor contenido de bromo tienen una vida media de hasta 94 días, pudiendo llegar a acumularse en tejido graso durante años. Incluso pueden concentrarse en la leche materna pudiendo así pasar a bebés lactantes o llegar al cuerpo del feto por medio de la placenta (ATSDR, 2015).

No existe información definitiva acerca de los efectos de los PBDEs en la salud humana, dado que gran parte de la información acerca de su toxicidad proviene de estudios en animales (ATSDR, 2015). Sin embargo los efectos tóxicos mayormente potenciales son la alteración de la hormona tiroidea y toxicidad neuroconductual, y se establece como

población sensible a las mujeres embarazadas, fetos en desarrollo y lactantes (McDonald, 2002).

Se ha estudiado la relación entre los PBDEs, la glándula tiroides y el potencial desarrollo de cáncer en ella. El daño a la tiroides se debe a que la estructura de los PBDEs y sus metabolitos, estructuralmente similares a las hormonas tiroideas, triyodotironina (T3) y tiroxina (T4), lo que permite que se confundan las proteínas transportadoras que se unen a estas hormonas y a su vez a los receptores de la hormona T4 (MacDonald, 2002; Zhou et al., 2002), causando la interrupción de la homeostasis de la hormona tiroidea T4 (Darnierud et al., 2001; Hooper y McDonald, 2000). La homeostasis normal de la hormona T4 es fundamental en el desarrollo de muchos órganos, incluido el cerebro (Chan y Kilby, 2000); la interrupción o alteración de los sistemas que regulan la hormona tiroidea durante el embarazo pueden producir impactos negativos en el proceso de desarrollo del cerebro en niños en etapas de gestación (Chan y Kilby, 2000). Esta misma alteración en neonatos y niños tiene el potencial de generar un impacto significativo a largo plazo en su comportamiento, capacidad locomotora, habla, audición y cognición (Legrand, 1986 cp. Chan y Kilby, 2000); en personas a partir de los 15 años puede generar hipotiroidismo con sus respectivos síntomas (Zhou et al., 2002).

#### **4.4. Lineamientos para el diseño de un plan gestión para los televisores de tubo de rayos catódicos al final de su vida útil en Santiago de Chile**

Los resultados de este trabajo, dejan en evidencia la necesidad de diseñar y ejecutar un plan de gestión específico para los TV TRC, o bien uno que le dé prioridad entre otros residuos. Además, debe contemplar sobre todo aquellos dispositivos que se encuentran almacenados dentro de los hogares, puesto que su captación y disposición se presentan como un desafío.

Basado en la literatura revisada y los resultados de este trabajo, se definen los obstáculos que dificultan la gestión de los TVS TRC:

- **Almacenamiento de TVS TRC**

Los resultados del primer objetivo de este trabajo muestran que una cantidad considerable de TVS TRC se encuentran aún en funcionamiento o bien almacenados dentro de los hogares de sus propietarios, esperando una disposición final. La situación de estos televisores se ve influenciada por dos fenómenos de actualidad, el recambio tecnológico y el apagón analógico (ver punto 2.2.3.). El primero incide en su descarte o almacenamiento, mientras el segundo se presenta como una amenaza definitiva a la utilidad que aun brinda a sus usuarios. Resulta evidente entonces implementar programas que logren la participación de la ciudadanía en la entrega de estos dispositivos (Kalmykova et al., 2015).

- **Desconocimiento del potencial tóxico por parte de sus propietarios.**

Se infiere que gran parte de la población no tiene un conocimiento detallado de las características tóxicas de este insumo y de los potenciales impactos de una incorrecta disposición final. Esto se asume debido a la falta de información disponible por parte de las autoridades sobre los TVS TRC, además de lo reciente de las norma de reciclaje sobre residuos electrónicos.

- **Barreras técnicas en su reciclaje**

La diferente composición química de las diferentes partes del TRC complica las operaciones de recuperación de elementos; esta composición varía según la marca del equipo (Singh et al., 2016). En Chile al igual que en la mayoría de los países en vía de desarrollo, no se cuenta con la tecnología necesaria para un buen aprovechamiento y valorización de los elementos que contienen los TVS TRC, incluso en algunos casos donde está disponible la infraestructura y tecnología ha presentado resultados antieconómicos (Singh et al., 2016), con lo cual se vuelve desalentador el panorama en esta actividad.

- **TVS TRC un “Residuo Huérfano”**

Con la puesta en vigencia de la nueva ley Marco para La Gestión de Residuos, La Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje (Ley 20.920), en la que se contemplan los residuos eléctricos y electrónicos, se presentan nuevas oportunidades en cuanto a la gestión y aprovechamiento de estos residuos. El principio fundamental de la Responsabilidad Extendida del Productor es “el que contamina paga”, y es definido en el artículo segundo de la ley 20.920 como: el generador de un residuo es responsable de éste, así como de internalizar los costos y las externalidades negativas asociados a su manejo. Esto quiere decir que aquel que introduce un producto en el mercado deberá encargarse de la externalidad negativa que genere el producto al final de su vida útil. Sin embargo los TVS TRC por su situación de antigüedad en la que fueron comercializados, y de ya no estar presentes en el mercado, terminan siendo tácitamente excluidos de las responsabilidades de gestión.

Linnel et al. (2006) define a los residuos huérfanos como “Equipo electrónico usado cuyo fabricante no se puede identificar o ya no está en el negocio”; sin embargo en el contexto chileno y dentro de este trabajo se definirá como: “Equipo electrónico usado cuyo fabricante y/o vendedor no se puede identificar o ya no está en el negocio.

Además de las dificultades mencionadas es necesario señalar el apagón analógico, el mismo que se encuentra fijado en Chile para el año 2020, con lo cual se vuelve inevitable el descarte de estos equipos, salvo la utilización de algún decodificador y respectiva antena que permita la sintonización de la nueva señal televisiva. Sin embargo, la penetración de las nuevas tecnologías en televisores continúa en aumento (ver punto 2.2.4), y en economías como la de Chile su adquisición no parece presentar mayor dificultad para los consumidores.

Actualmente no existe un manejo específico para los residuos de los TVS TRC, siendo manejados dentro los residuos sólidos urbanos y dispuestos la mayoría de las veces en rellenos y vertederos de la ciudad, lo cual no sólo no es recomendable sino también está prohibido por ley. Una pequeña parte de estos residuos son captados por otros sistemas de recolección como son los puntos limpios, los cuales reciben residuos eléctricos y electrónicos y entre ellos los TVS TRC. Sin embargo como se constató en este trabajo, no se les da un manejo óptimo, empezando por su almacenamiento y manipulación, en el cual quedan expuestos a generarse implosiones de las pantallas de vidrio TRC (Figura

12), con lo cual hay riesgos de liberar sustancias tóxicas. Y una vez llevados al centro de acopio son almacenados para luego ser transportados a un relleno de seguridad junto con otras pantallas de diferente tecnología como LCD y LED, sin realizar una diferenciación previa de sus componentes, como por ejemplo las partes plásticas de los TVS TRC, las cuales contienen retardantes de llama.



Figura 12. Contenedores de pantallas en Punto Limpio Vitacura.

## **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE TVS TRC**

Para el diseño se tomó en cuenta la experiencia internacional en gestión de residuos de TVS TRC, las dificultades ya mencionadas y se examinó de manera breve las posibilidades de gestión actuales dentro de la región metropolitana.

La propuesta es de un diseño integral y de carácter inclusivo, de manera que se pueda optimizar el uso de los recursos existentes y enlazar actores estatales, privados y ciudadanía en general, procurando reducir al máximo el costo económico de su implementación. Para ello se propone la integración de recicladores de base, que deberán ser formalizados y jugarán un papel importante en la fase de recolección. Las etapas del diseño del plan de gestión se presentan en la siguiente figura:



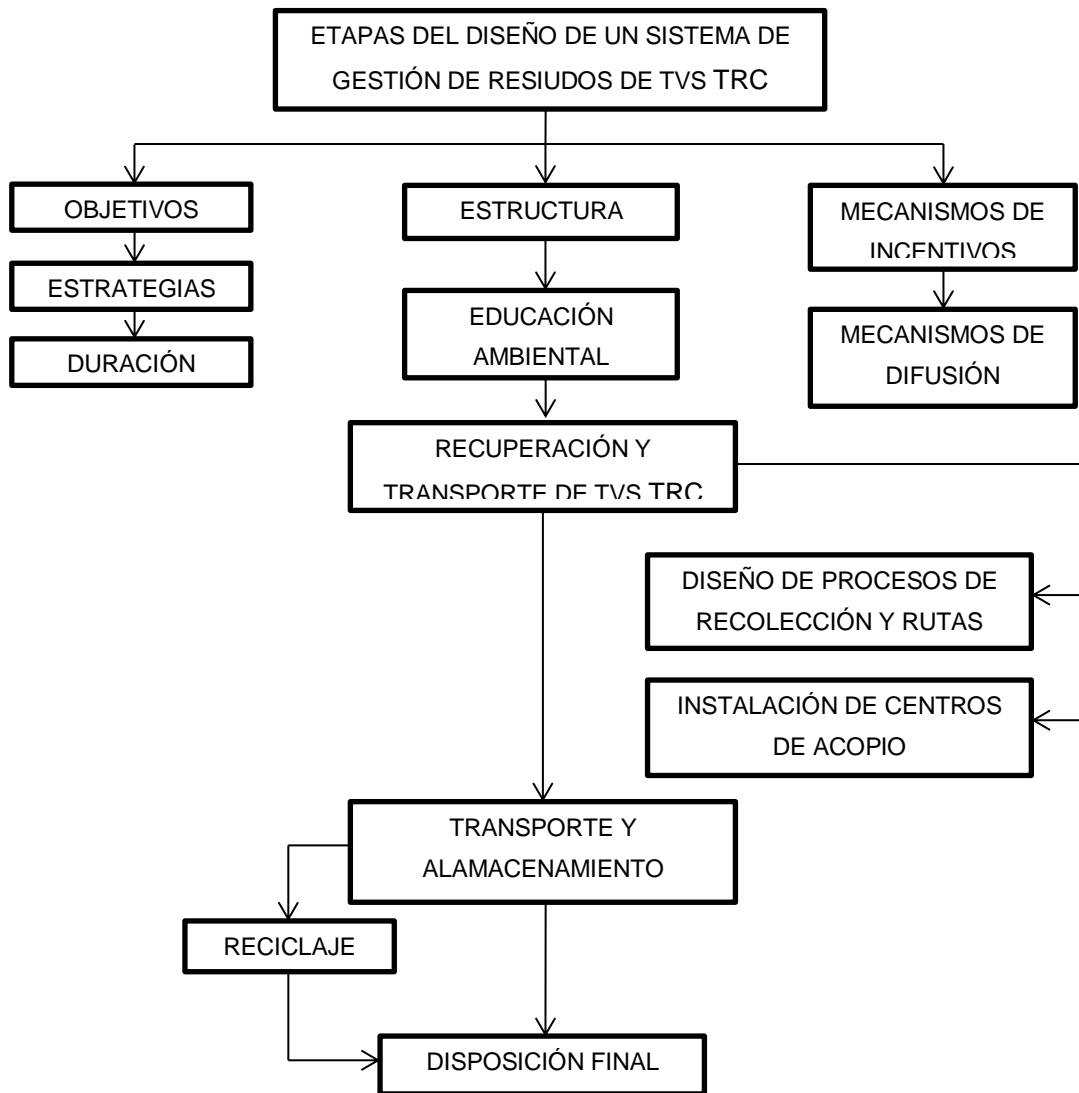


Figura 13. Etapas del diseño de un sistema de gestión de residuos de tvs trc

A continuación se señalan los objetivos y estrategias que se deben contemplar y el tiempo de duración de toda la gestión.

### OBJETIVOS.

- Reducir el uso de rellenos sanitarios y vertederos en Santiago para la eliminación de los TVS TRC.

- Evitar impactos negativos en el ambiente y salud de las personas.
- Promover el reciclaje.
- Promover la educación ambiental en la ciudadanía sobre residuos eléctricos y electrónicos y protección del medio ambiente
- Promover la participación ciudadana en la gestión de residuos de TVS TRC
- Incorporar a recicladores de base, procurando su formalización

## **ESTRATEGIAS**

- Comprometer a todos los Municipios de Santiago, estableciendo mecanismos de cooperación que permita su trabajo en conjunto.
- Establecer mecanismos de coordinación entre el Ministerio del Medio Ambiente, Municipios, asociaciones y actores privados.
- Organizar campañas de difusión en medios de comunicación, redes sociales y anuncios en la calle.
- Implementar sitios de acopio.
- Diseñar y organizar de eventos para la recolección de TVS TRC
- Realizar contratos con empresas recicladoras certificadas que tenga capacidad técnica para el manejo de TVS TRC.

## **DURACIÓN**

El tiempo de duración del plan será hasta el año 2022, un año después del apagón analógico, siendo tiempo suficiente para gestionar el mayor porcentaje de TVS TRC, considerando la experiencia internacional. Todas las etapas han de ejecutarse casi de manera continua durante el tiempo establecido, a manera de dar una cobertura total en tiempo y espacio en la ciudad de Santiago. Una vez cumplido el plazo establecido y

obtenido los resultados del plan de gestión, se evaluara la necesidad de continuar con una segunda etapa a fin de lograr un mayor alcance en la gestión de estos dispositivos.

## ESTRUCTURA.

La propuesta para la gestión de los TVS TRC al final de su vida útil cuenta con cuatro líneas de acción: educación ambiental, recuperación y transporte de TVS TRC, almacenamiento y reciclaje y por ultimo disposición final. Los actores principales contemplados dentro del plan se dividen en seis grupos según se muestra en el cuadro 40.

Cuadro 40. Actores dentro del Plan de Gestión

Actores	Rol
Ciudadanía	Destinatarios de actividades de educación ambiental, su participación en la facilitación y entrega de residuos es crucial.
Ministerio del Medio Ambiente	Responsable del diseño e implementación del plan de gestión.
Municipios	Ejecución de actividades y programas dentro del plan en coordinación con el Ministerio de Medio Ambiente, servirá de ente articulador entre el ministerio de medio ambiente y otros actores
ONG	En coordinación con ministerio de medio ambiente y municipios, participaran en programas y actividades dentro del plan.
Empresas recicladoras	Encargados de procesos de reciclaje y valorización de los residuos de TVS TRC
Recicladores de base	Actividades de recolección de TVS TRC
Otras Instituciones	Promover las actividades dentro del proceso. Por ejemplo, el Metro, empresa estatal, cuyos avisos de publicidad interna es visibilizada hacia miles de personas en forma diaria.

Medios de comunicación y redes sociales.	Difusión de los programas y demás actividades, además de facilitar información breve sobre la temática, gracias a su inmediatez
--	---

El financiamiento debería ser realizado por las Municipalidades y el Ministerio del Medio Ambiente, procurando en la medida posible, abaratar costos en acuerdos con empresas recicladoras.

## **EDUCACIÓN AMBIENTAL**

La Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente define la Educación ambiental como: un proceso permanente de carácter interdisciplinario, destinado a la formación de una ciudadanía que reconozca valores, aclare conceptos y desarrolle las habilidades y las actitudes necesarias para una convivencia armónica entre seres humanos, su cultura y su medio bio-físico circundante.

El objetivo central en este punto es facilitar la entrega de información a la ciudadanía sobre residuos eléctricos y electrónicos, dando énfasis en los TVS TRC, que es el ítem a gestionar en este plan; sin embargo, el abarcar de manera general la temática RAEE permitirá el avance para futuros planes y programas en esta área.

Las metas en esta fase inicial del programa es generar conciencia en la ciudadanía sobre los residuos eléctricos y electrónicos y los TVS TRC, por medio del conocimiento de los elementos tóxicos que contienen y la importancia de su adecuada gestión, pretendiendo con esto promover su participación en la entrega de estos dispositivos.

En líneas generales el contenido de esta etapa en educación ambiental, deberá contar de tres puntos principales:

1. Reciclaje y Economía Circular, su definición, importancia, beneficios y aspectos prácticos generales.
2. Definición de residuos eléctricos y electrónicos, componentes y elementos tóxicos presentes en ellos, dando énfasis en los televisores de tubo de rayo catódico y posibles impactos que pueden generar si se eliminan de manera inadecuada.

3. Ley de “Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento del Reciclaje (ley 20.920).
4. Apagón analógico, explicación de fenómeno y su incidencia en la generación de residuos.

Para tratar de cubrir el mayor porcentaje de la población, éstas podrían organizarse a través de charlas en juntas vecinales, unidades educativas como escuelas, colegios y universidades. De la misma forma se utilizaran las redes sociales en la difusión de charlas y eventos, así como también para el contenido educacional. Se recomienda la utilización de folletos y panfletos para la entrega al público tanto en instituciones públicas, como en eventos públicos.

### **RECUPERACIÓN Y TRANSPORTE DE TVS TRC.**

La condición de almacenamiento de estos dispositivos y su estado potencial de residuo, manifiesta en gran medida una dependencia a la participación de los propietarios de estos aparatos en la entrega y recolección, lo cual se presenta como una dificultad en el diseño y logística de recolección; sin embargo, se puede tomar como una oportunidad para revisar qué variables pueden influenciar esta fase de la gestión y considerarlas en el plan de gestión.

Si bien se pretende fomentar la participación por medio de un programa de educación ambiental, es necesario complementarlo con un proceso de recolección que reúna las características adecuadas para este tipo de residuo. Para esto se presenta una revisión de algunas variables en las siguientes actividades dentro del diseño de esta etapa.

- **Diseño de Procesos de Recolección y Rutas**

Un proceso crucial en el manejo de desechos es la recolección y el transporte de desechos (Nowakowski y Mrówczyńska, 2017), de ahí la necesidad de optimizar estos procesos procurando abaratar los costos de mano de obra y operativos y disminuir las emisiones de gases.

Para un correcto diseño de esta etapa se propone la siguiente secuencia de evaluación propuesta por Nowakowski y Mrówczyńska (2012).

1. Análisis de sistemas de recolección ya existentes en el área a gestionar.
2. Simulaciones de diferentes modelos de recolección teniendo en cuenta la distribución optimizada de contenedores o la ubicación de los puntos de recolección y las rutas cubiertas por los camiones de recolección y triciclos de recicladores de base.
3. Pruebas de emisión para cada modelo de colección.
4. Evaluación y selección del mejor modelo para áreas urbanas y rurales.

Es necesario señalar que en la literatura revisada, el método de “recolección de acera” por medio de camiones recolectores se considera el más conveniente en la recolección de residuos sólidos y entre ellos los RAEE (Jenkins et al., 2003), mientras que la entrega individual de residuos electrónicos por parte de sus propietarios a centros de acopio se considera la menos eficiente, debido a las emisiones que generarían (Nowakowski y Mrówczyńska, 2017).

Para el caso de los residuos de TVS TRC se propone la incorporación de recicladores de base, que permitirán el desarrollo de nuevas dinámicas y flexibilidades dentro de un sistema de recolección para estos dispositivos (Bouvier y Wagner, 2011). Otro aspecto que puede ser considerado es el uso de Nuevas Tecnologías de la Información y la Comunicación (NTIC), en concreto las aplicaciones de teléfonos móviles inteligentes como es el caso “Reciclapp Chile”, que facilita un medio para la comunicación directa entre generadores de residuos y recicladores. Permitiendo nuevas dinámicas en la ubicación, planificación y recolección de residuos.

- **Instalación de centros de Acopio**

Se propone la designación de sitios destinados a la recolección de los TVS TRC, pudiendo ser estos permanentes o provisionales.

Se define a los primeros como lugares de acopio que funcionaran durante todo el periodo de duración del plan, y que contarán con la infraestructura necesaria para albergar a los TVS TRC hasta su transporte a sitios de almacenamiento y/o reciclaje. Los requerimientos

para este almacenaje provisional son menores, principalmente resguardo de la intemperie, y daño físico de la carcasa o implosiones de la pantalla.

Se recomienda la utilización de instalaciones ya establecidas como los centros de acopio de los Puntos Limpios. En la actualidad estos centros de acopio ya reciben TVS TRC junto con televisores y monitores de otras tecnologías, faltando solo mejorar la disposición en contenedores exclusivos para TVS TRC y evitar la implosión de la pantalla o rotura de su carcasa.

Para la instalación de nuevos centros de acopio de permanentes, se necesitara cumplir una evaluación previa que justifique y determine su ubicación.

Respecto de sitios de acopio provisionales, éstos se entenderán como aquéllos que no se mantendrán vigentes durante todo el periodo de vigencia del plan, y su duración variara según la disponibilidad, capacidad de almacenamiento, o avance del plan. Estos sitios pueden implementarse en eventos de reciclaje, actividades en centros educativos, eventos municipales varios, etc. Se recomienda establecerlos, si es necesario, de manera satélite a los permanentes para reducir distancias en la recolección, pudiendo también estar situados cerca a lugares con alto flujo de personas, como es el caso de supermercados y centros comerciales.

En ambos casos será necesaria la presencia de personal capacitado en el manejo de estos insumos, tanto para recibirlos como para manipularlos.

Se descarta el uso de contenedores dispuestos en calles, como una medida para evitar la implosión de las pantallas TRC, evitando así liberar elementos tóxicos al ambiente.

Un factor importante son los horarios de atención en estos sitios, sobre todo en los de carácter permanente, siendo necesario que abarquen horarios amplios los siete días de la semana, con el objeto de ser convenientes tanto para el sistema de recolección como para la entrega voluntaria.

## **TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO**

El transporte deberá realizarse partiendo de los centros de acopio hacia los sitios establecidos para el almacenamiento de los TVS TRC; esta actividad deberá cumplir lo establecido en el D.S. N° 148, tanto para los vehículos como para la acción de transporte.

Los lugares destinados al almacenamiento se clasificarán en dos tipos, sitios destinados exclusivamente a esta acción y sitios de reciclaje que cuenten con la capacidad y condiciones necesarias de almacenamiento.

Los requisitos técnicos que deberán cumplir son:

- Contar con infraestructura que permita proteger a los TVS TRC contra la intemperie, con el fin de evitar que factores externos afecten a estos dispositivos, impidiendo así roturas en sus componentes o implosión de la pantalla, situaciones que podrían dar lugar a la lixiviación de los elementos tóxicos.
- Suelo impermeabilizado, con el fin de evitar filtraciones que lleguen a contaminar suelos y aguas subterráneas.
- Contar con personal capacitado en el manejo de residuos peligrosos, el que llevará el control de registro e inventario de los TVS TRC.

Dentro de las precauciones necesarias en el manejo de los TRC encontradas en los estudios revisados, se recomienda:

- El embalaje y etiquetado de los TVS TRC; en el caso de TRC rotos se deberán separar y darles prioridad a la fase de reciclado.
- Los TVS TRC, sanos o rotos deben almacenarse en interiores y etiquetarse adecuadamente para evitar una identificación errónea.
- Los TVS TRC rotos que no puedan ser llevados rápidamente a la siguiente fase de reciclado y tengan que ser almacenados, deberán de ser embalados con el fin de impedir el traspaso de elementos contaminantes, principalmente plomo, hacia el medio ambiente.



## RECICLAJE

Existen limitaciones técnicas en el reciclaje de los TVS TRC, principalmente por el plomo fusionado en el vidrio, sin embargo es posible reciclar otros componentes que forman este dispositivo.

En esta etapa será necesario realizar acuerdos y contratos con empresas que efectúen reciclaje en residuos electrónicos, y que cuenten con la capacidad y disposición para tratar TVS TRC. En Santiago funcionan siete empresas dedicadas a esta actividad.

Cuadro 41. Empresas de Reciclaje en Santiago

Empresa	Rubro
Computación Constanza Sofía Ltda.	Recepción, almacenamiento, desarme y comercialización de residuos electrónicos consistentes en computadores usados, LCD usados, notebook usados, teclados y mouse usados.
DHL Supply Chain Chile S. A.	Recepción, clasificación, almacenamiento y disposición final de tóner, generados por tercero solo de la marca Hewlett Packard.
Metalúrgica y Mecánicas Midas Ltda.	Recepción, almacenamiento y desarme de equipos eléctricos y electrónicos, pelado de cables forrados, recepción, almacenamiento, molienda, trituración, prensado y compactación de residuos no peligrosos
Reciclajes de Chile Ltda.	Recepción, clasificación, acumulación, desarme, y comercialización de residuos no peligrosos generados por terceros consistentes en equipos electrónicos y eléctricos.
LG Electronics INC Chile Ltda.	Recepción, selección, desarme manual, clasificación, almacenamiento y disposición de residuos electrodomésticos generados por terceros.
Recycla Chile S.A	Reciclaje de residuos metálicos ferrosos y no ferrosos tales como cobre, bronce, aluminio y acero inoxidable, limpios secos y sin contaminantes; Recepción, inspección, selección, almacenamiento, desarme manual, clasificación, comercialización de residuos electrónicos generados por terceros tales como computadores, fax,

	televisores, celulares y DVD.
Fundación Todo Chile Enter	Recepción, almacenamiento y reacondicionamiento de residuos consistentes en computadores y periféricos.

Fuente: Santiago recicla, 2018

Al momento no se encontró ninguna empresa que se especialice en residuos de TVS TRC, sin embargo en que caso de firmarse un acuerdo con una o varias de estas empresas, para la recepción y tratamiento de los TVS TRC, en función de contar con las capacidades técnicas, o bien adquirirlas en mayor o menor medida para realizar un proceso de reciclaje, se recomiendan los siguientes procedimientos de separación encontrados en la literatura revisada:

#### **Proceso de tratamiento convencional de televisores y monitores (Ecovitrium, 2015)**

En la actualidad los televisores y monitores gestionados a través de las plantas autorizadas de RAEEs se tratan mediante una serie de procesos para el posterior aprovechamiento de los materiales.

- **Desensamblado.**

Se retiran cables y antenas con ayuda de destornilladores neumáticos y alicates de corte, estos componentes son separados y almacenados en distintos contenedores para su posterior procesamiento; de esta forma, el equipo es más manejable, para desmontar la carcasa, la cual se almacena en otro contenedor para su posterior compactación en balas de plástico ABS en el caso de los monitores y polipropileno en el caso de los TV.

- **Separado de componentes.**

Las placas de circuito impreso se retiran separando los componentes con alto contenido en cobre (transformadores) y los componentes que pueden resultar peligrosos como

grandes condensadores que pueden contener PCB; estos componentes se retiran con alicates y se almacenan en sus respectivos contenedores para su posterior procesamiento.

- **Tratamiento de tubos de rayos catódicos.**

En esta fase los tubos pasan a la línea de limpieza donde por medio de una sierra radial se cortan los anillos metálicos que lo rodean y se pule la superficie del cristal con un cepillo eléctrico de púas metálicas con el fin de obtener un cristal limpio y libre de otros residuos (plásticos, etiquetas), en este mismo punto se perfora el vidrio con ayuda de un punzón y un martillo por uno de sus puntos débiles con el fin de eliminar el vacío en su interior y enviar esta pieza a la siguiente fase sin riesgo de sufrir implosiones, por último se corta con una radial el cuello del tubo que contiene el cañón de electrones y se almacenan por separado para procesarlo independientemente ya que contiene zinc. El tubo de rayos catódicos ya está preparado para someterlo a la siguiente fase: el tubo se incorpora a una máquina semiautomática específicamente diseñada para cortar y separar el vidrio frontal del vidrio trasero, esta máquina marca un perímetro en el vidrio con una punta de diamante y seguidamente somete este perfil marcado a un rápido contraste térmico, lo que provoca la ruptura del vidrio por ese punto realizando un corte perfecto; una vez realizado el corte se procede a retirar la parte trasera del tubo almacenándola en contenedores distintos de los que se usarán para la parte delantera, ya que esta pieza posee alto contenido en plomo.

En este momento se retiran manualmente las piezas metálicas contenidas en el interior del tubo y se procede a retirar el fósforo que se encuentra en la parte frontal del tubo con ayuda de un aspirador especial provisto de filtros para retener y almacenar esta sustancia nociva. El vidrio delantero y el trasero se almacenan de forma separada.

- **Recuperación de materiales tras el tratamiento.**

Los componentes extraídos y requeridos en el mercado de materias primas, tales como los metálicos o plásticos, se envían a empresas recuperadoras para su posterior reciclaje.

En lo que respecta al vidrio de tubo de rayo catódico, mientras no puedan ser reciclados en Chile, deberá pasar a la siguiente fase, la de disposición final.

## **DISPOSICIÓN FINAL.**

Esta es la etapa final en la gestión, que consiste en la disposición de los residuos de TVS TRC en celdas de seguridad (ej. Hidronor), al cual llegarán los TVS TRC o componentes de TCS TRC que no hayan podido ser procesados en la fase de reciclaje, o bien los residuos producto del reciclaje que necesiten ser eliminados en una celda de seguridad.

## **MECANISMOS DE INCENTIVOS.**

Con la finalidad de incentivar y mejorar la participación de la ciudadanía en la recolección de los TVS TRC, tanto en el traslado a centros de acopio como en la facilitación hacia los carros recolectores, se sugiere lo siguiente:

- Accesibilidad a centros de acopio, con horarios amplios de atención que incluyan fines de semana.
- Utilización de aplicaciones de teléfonos móviles inteligentes dedicadas al reciclaje, que permitan coordinar la recolección de estos residuos entre generadores y recolectores.
- Organización de eventos públicos en centros de acopio, estos pueden ser culturales, deportivos o artísticos.
- Entrega de entradas o pases a sitios y eventos culturales por la entrega de un TV TRC a los centros de acopio.

## **MECANISMOS DE DIFUSIÓN.**

La participación de la ciudadanía en general es de vital importancia, sobre todo en las fases iniciales del plan donde radica la captación de los TVS TRC. A fin de procurar el éxito del plan, es necesario contar con una difusión efectiva que logre abarcar todos los medios de comunicación, radio, televisión, prensa escrita y digital, y sobre todo incorpore las redes sociales, que por medio de su inmediatez y la facilidad de propagación de información tenga el impacto deseado. Además se sugiere un acercamiento a empresas fabricantes de televisores con sede en Santiago, para considerar su participación durante la difusión de la información.

## 5. CONCLUSIONES

Se describen características de los televisores de tubo de rayo catódico, tanto de su composición como de su toxicidad, elaborando un pronóstico en la generación de ellos como residuos en Chile.

La información generada permitió comprobar la hipótesis de esta tesis, sobre la latencia de estos dispositivos a formar parte de un flujo de residuos, influenciado por su estado de obsolescencia, patrones de consumo y el cambio de la señal de transmisión televisiva, evidenciando la necesidad de implementar un plan de gestión específico para estos residuos, o bien uno de residuos eléctricos y electrónicos que ponga énfasis en estos dispositivos.

El desarrollo del marco teórico permitió constatar la relevancia mundial de los residuos eléctricos y electrónicos, por su potencial de impacto al medio ambiente y salud humana, además de presentarse como una fuente de recursos reciclables, sobre todo dentro de modelos de economía circulares, en países que poseen la capacidad técnica e infraestructura para la recuperación de los materiales que contiene estos aparatos, que pueden ser usados para la fabricación de nuevos dispositivos electrónicos o como material para otros fines.

En el caso particular de los TVS TRC, la literatura consultada evidenció diferencias en la gestión entre países desarrollados y en vías de desarrollo. En los primeros se encontró un mayor control, con una intervención estatal y privada iniciada a mediados del año dos mil, que abarcó temas legales, actividades de recolección, reciclaje y disposición final, minimizando posibles impactos negativos. También se evidenció el movimiento transfronterizo de estos residuos juntos con otros semejantes, hacia países subdesarrollados, donde se someten a actividades de reciclaje informal y de baja tecnología, con una evidente generación de impactos negativos.

En países en vías de desarrollo esta temática ha sido manejada con menor interés, con una gestión mínima y en muchos casos inexistente, afectando la generación y disponibilidad de datos e información, principalmente en la generación de estos residuos. Particularmente en los TVS TRC se mantiene esta tendencia, dificultando la generación de estudios y análisis, sin embargo es necesario indicar que las diferencias económicas y

tecnológicas entre los países desarrollados y países en vías de desarrollo, han marcado el contraste temporal en el tratamiento en el tema de los residuos de TVS TRC, y de igual manera con otros dispositivos tecnológicos.

La inexistencia de datos en Chile sobre generación de residuos TVS TRC se presenta como una dificultad a la hora de visualizarlos dentro del flujo de residuos urbanos, repercutiendo a la hora de identificar la necesidad de gestionarlos de manera eficiente.

Pese a la dificultad para realizar pronósticos en la generación de los TV TRC como residuo, se pudo establecer un método predictivo basado en importaciones históricas y vida útil, que permitió un acercamiento a la posible cantidad aun existente de TVS TRC que serán descartados en los próximos años.

La ley de responsabilidad extendida del productor, que fomenta el reciclaje y donde se incorporan los residuos eléctricos y electrónicos, presenta vacíos en cuanto a la cobertura sobre residuos de dispositivos que se encuentran fuera del mercado, y es entendible hasta cierto punto dada la dificultad de establecer quien comercializó el dispositivo, dada la cantidad de años transcurridos desde su venta. A pesar de esto sigue siendo necesario implementar un proceso de gestión que logre la captura y disposición final de estos aparatos.

Se identificó que el principal elemento tóxico contenido en los TVS TRC es el plomo, con altas concentraciones por dispositivo, el que puede llegar a rellenos sanitarios y vertederos autorizados, debido a la ausencia de una disposición adecuada para ellos.

Es necesario realizar una óptima eliminación de los residuos de TVS TRC que se esperan serán generados, lo cual plantea un desafío de manejo técnico y una gestión de carácter integral, donde la participación de la ciudadanía, el estado y demás actores privados es igualmente importante.

Es necesaria la difusión de información sobre los riesgos y toxicidad de los residuos de TVS TRC, así como de los residuos eléctricos y electrónicos en general, más aún con la puesta en vigencia de la nueva ley de Responsabilidad Extendida del Productor y el Fomento al Reciclaje, que permitirá iniciar una serie de procesos y actividades en el tratamiento de este tipo de residuos y otros que se escapen del alcance de esta ley.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA PARA SUSTANCIAS TOXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES (ATSDR). (2015). Resumen de Salud Pública, Éteres de Polibromodifenilos. División de Toxicología y Ciencias de la Salud. [En línea] <[https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs207.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs207.pdf)> [Consulta: marzo 2018]
- ANDREOLA, F., BARBIERI, L., CORRADI, A., y LANCELLOTTI, I. (2007). CRT glass state of the art: A case study: Recycling in ceramic glazes. *Journal of the European Ceramic Society*, 27(2-3), 1623-1629. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2006.05.009
- ARAÚJO, M. G., MAGRINI, A., MAHLER, C. F. y BILITEWSKI, B. (2012). A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment in Brazil. *Waste Management*, 32(2), 335-342. doi:10.1016/j.wasman.2011.09.020
- AWASTHI, A. K., ZENG, X. y LI, J. (2016). Environmental pollution of electronic waste recycling in India: a critical review. *Environmental pollution*, 211, 259-270. doi:10.1016/j.envpol.2015.11.027
- BALDÉ, C.P., WANG, F., KUEHR, R. y HUISMAN, J. (2015). The global e-waste monitor – 2014, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany. [En línea] <<https://i.unu.edu/media/unu.edu/news/52624/UNU-1stGlobal-E-Waste-Monitor-2014-small.pdf>> [Consulta: enero 2018]
- BALDÉ, C.P., FORTI V., GRAY, V., KUEHR, R. y STEGMANN, P. (2017). The Global E-waste Monitor – 2017, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. [En línea] <<https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20.pdf>> [Consulta: febrero 2018].
- BARBARA K. (2016). Best Buy Weakens Electronics Recycling Program. Electronic Takeback Coalition. [En línea] <<http://www.electronicstakeback.com/2016/02/01/best-buy-weakens-electronics-recycling-program/>> [consulta: 15 de septiembre de 2017].
- BOUVIER, R. y WAGNER, T. (2011). The influence of collection facility attributes on household collection rates of electronic waste: The case of televisions and

computer monitors. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 1051-1059. doi:10.1016/j.resconrec.2011.05.019

- BRIGDEN, K., LABUNSKA, I., SANTILLO, D. y ALLSOPP, M. (2005). Recycling of electronic wastes in China and India: workplace and environmental contamination. *Greenpeace International*, 55.
- C Y V MEDIOAMBIENTE, GOBIERNO DE CHILE. (2009). Diagnostico Producción, Importación y Distribución de Productos Electrónicos y Manejo de los Equipos fuera de uso. [En línea] <<http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/07/Diagnostico-equipos-de-informatica-y-celulares-2009.pdf>> [Consulta: enero 2108].
- CHAN, S. y KILBY, M. D. (2000). Thyroid hormone and central nervous system development. *Journal of Endocrinology*, 165(1), 1-8. [En línea] <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10750030>> [Consulta: mayo 2018].
- CHANDRAPPA, R. y DAS, D. B. (2012). *Solid waste management, environmental science and engineering*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-28681-0
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley N° 1672 de 2013, por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). República de Colombia.
- CONSEJO NACIONAL DE TELEVISIÓN (CNTV). (2011). VII Encuesta Nacional de Televisión. [En línea] <[https://www.cntv.cl/cntv/site/artic/20151209/asocfile/20151209124713/7\\_entv\\_2011.pdf](https://www.cntv.cl/cntv/site/artic/20151209/asocfile/20151209124713/7_entv_2011.pdf)> [Consulta: marzo 2018].
- CONSEJO NACIONAL DE TELEVISIÓN (CNTV). (2014). VIII Encuesta Nacional de Televisión. [En línea] <[https://www.cntv.cl/cntv/site/artic/20151209/asocfile/20151209124713/viii\\_encuesta\\_nacional\\_de\\_televisi\\_\\_n.pdf](https://www.cntv.cl/cntv/site/artic/20151209/asocfile/20151209124713/viii_encuesta_nacional_de_televisi__n.pdf)> [Consulta: marzo 2018].
- CONSEJO NACIONAL DE TELEVISIÓN (CNTV). (2017). IX Encuesta Nacional de Televisión. [En línea] <[https://www.cntv.cl/cntv/site/artic/20171012/asocfile/20171012121426/ix\\_encuesta\\_nacional\\_de\\_televisi\\_\\_n\\_2017.pdf](https://www.cntv.cl/cntv/site/artic/20171012/asocfile/20171012121426/ix_encuesta_nacional_de_televisi__n_2017.pdf)> [Consulta: marzo 2018].



- CUI, J. y FORSSBERG, E. (2003). Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of hazardous materials*, 99(3), 243-263. doi:10.1016/S0304-3894(03)00061-X
- DAGAN, R., DUBEY, B., BITTON, G. y TOWNSEND, T. (2007). Aquatic toxicity of leachates generated from electronic devices. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 53(2), 168-173. doi:10.1007/s00244-006-0205-1
- DANON-SCHAFFER, M. N., MAHECHA-BOTERO, A., GRACE, J. R. y IKONOMOU, M. (2013). Mass balance evaluation of polybrominated diphenyl ethers in landfill leachate and potential for transfer from e-waste. *Science of the Total Environment*, 461, 290-301. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.03.080
- DARNERUD, P. O., ERIKSEN, G. S., JÓHANNESSON, T., LARSEN, P. B. y VILUKSELA, M. (2001). Polybrominated diphenyl ethers: occurrence, dietary exposure, and toxicology. *Environmental health perspectives*, 109(Suppl 1), 49. doi:10.1289/ehp.01109s149
- DATOS ESTADÍSTICOS POBLACIONALES DE LA ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. UNdata. [En línea] <<http://data.un.org/Search.aspx?q=chile>> [Consulta: enero 2018]
- DECRETO SUPREMO N° 136. (2001). Norma de Calidad Primaria para Plomo en el Aire. Ministerio Secretaría General de la presidencia. Santiago, Chile.
- DECRETO SUPREMO N° 148. (2004). Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos. Ministerio de Salud. Santiago, Chile.
- DECRETO SUPREMO N° 594. (2000). Reglamento Sanitario sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo. Ministerio de Salud. Santiago, Chile.
- DIRECTIVA 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de junio de 2011, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.
- DIRECTIVA 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).
- DOIG, AT. (1976). Baritosis: a benign pneumoconiosis. *Thorax*, 31(1), 30-39. doi:10.1136/thx.31.1.30
- FAKHREDIN, F. y HUISMAN, J. (2013). Analyzing end of life LCD TV WEEE flows in Europe. In *Proceedings of conference EcoDesign 2013 (Vol. 2013)*. [En línea] <<https://www.researchgate.net/publication/259146226>> [Consulta: enero 2018].

- FERNÁNDEZ, G. (2013). Minería urbana y la gestión de los recursos electrónicos. - 1a ed. - Buenos Aires: Grupo Uno, 2013. ISBN: 978-987-29862-1-6. [En línea] <<https://sigraee.files.wordpress.com/2013/10/libro-raee-completo.pdf>> [Consulta: abril 2018]
- FRAZZOLI, C., ORISAKWE, O. E., DRAGONE, R. y MANTOVANI, A. (2010). Diagnostic health risk assessment of electronic waste on the general population in developing countries' scenarios. *Environmental Impact Assessment Review*, 30(6), 388-399. doi:10.1016/j.eiar.2009.12.004
- GEORGOPOULOS, P., ROY A., YONONE-LIOY, M., OPIEKUN, R. y LIOY P. (2001). Environmental Copper: Its Dynamics and Human Exposure Issues, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 4:4, 341-394. doi:10.1080/109374001753146207
- GOUIN, T. y HARNER, T. (2003). Modelling the environmental fate of the polybrominated diphenyl ethers. *Environment International*, 29(6), 717-724. doi:10.1016/S0160-4120(03)00116-8
- GRANT, K., GOLDIZEN, F. C., SLY, P. D., BRUNE, M. N., NEIRA, M., VAN DEN BERG, M. y NORMAN, R. E. (2013). Health Consequences of Exposure to e-waste: a Systematic Review. *The lancet global health*, 1(6), e350-e361. doi:10.1016/S2214-109X(13)70101-3
- GULLETT, B. K., LINAK, W. P., TOUATI, A., WASSON, S. J., GATICA, S. y KING, C. J. (2007). Characterization of air emissions and residual ash from open burning of electronic wastes during simulated rudimentary recycling operations. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 9(1), 69-79. doi:10.1007/s10163-006-0161-x
- HERAT, S. (2008). Recycling of cathode ray tubes (CRTs) in electronic waste. *CLEAN—Soil, Air, Water*, 36(1), 19-24. doi:10.1002/clen.200700082
- HICKS, C., DIETMAR, R. y EUGSTER, M. (2005). The recycling and disposal of electrical and electronic waste in China—legislative and market responses. *Environmental impact assessment review*, 25(5), 459-471. doi:10.1016/j.eiar.2005.04.007
- HISCHIER, R., WÄGER, P. y GAUGLHOFER, J. (2005). Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective?: The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic

equipment (WEEE). *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 525-539. doi:10.1016/j.eiar.2005.04.003

- HOOPER, K. y MCDONALD, T. A. (2000). The PBDEs: an emerging environmental challenge and another reason for breast-milk monitoring programs. *Environmental health perspectives*, 108(5), 387. doi: 10.1289/ehp.00108387
- HU, H. (2002). *Human health and heavy metals. Life Support: The Environment and Human Health*; MIT Press: Cambridge, MA, USA, 65. [En línea] <<http://applied-bioresearch.com/wp-content/uploads/2015/03/heavy-metals1.pdf>> [Consulta: abril 2018].
- HUISMAN, J. (2008). Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), Final Report. [En línea] <[http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/final\\_rep\\_unu.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/final_rep_unu.pdf)> [Consulta: enero 2018].
- HUISMAN, J. (2012). Eco-efficiency evaluation of WEEE take-back systems. In *Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook* (pp. 93-119). ISBN: 9780857096333, [En línea] <<https://www.elsevier.com/books/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee-handbook/goodship/978-0-85709-089-8>> [Consulta: diciembre 2017].
- HUSSAIN, M. y MUMTAZ, S. (2014). E-waste: impacts, issues and management strategies. *Reviews on environmental health*, 29(1-2), 53-58. doi:10.1515/reveh-2014-0016
- INIAGHE, P. O. y ADIE, G. U. (2015). Management practices for end-of-life cathode ray tube glass: Review of advances in recycling and best available technologies. *Waste Management y Research*, 33(11), 947-961. doi:10.1177/0734242X15604212
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU). (2017). *Measuring the Information Society – The ICT Development Index 2017*. [En línea] <<https://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/index.html>> [Consulta: enero de 2018].
- JAIN, A. y SAREEN, R. (2006). E-waste assessment methodology and validation in India. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 8(1), 40-45. doi:10.1007/s10163-005-0145-2
- JANG, Y. C. y TOWNSEND, T. G. (2003). Leaching of lead from computer printed wire boards and cathode ray tubes by municipal solid waste landfill leachates. *Environmental Science & Technology*, 37(20), 4778-4784. doi:10.1021/es034155t

- JENKINS R, MARTINEZ S, PALMER K. y PODOLSKY M. (2003). The Determinants of Household Recycling: A Material Specific Analysis of Recycling Program Features and Unit Pricing. *Journal of Environmental Economics and Management*; 45:294–318. doi:10.1016/S0095-0696(02)00054-2
- KAHHAT, R., KIM, J., XU, M., ALLENBY, B., WILLIAMS, E. y ZHANG, P. (2008). Exploring e-waste management systems in the United States. *Resources, conservation and recycling*, 52(7), 955-964. doi:10.1016/j.resconrec.2008.03.002
- KALMYKOVA, Y., PATRÍCIO, J., ROSADO, L. y BERG, P. E. (2015). Out with the old, out with the new—The effect of transitions in TVs and monitors technology on consumption and WEEE generation in Sweden 1996–2014. *Waste management*, 46, 511-522. doi:10.1016/j.wasman.2015.08.034
- KIDDEE, P., NAIDU, R. y WONG, M. H. (2013). Electronic waste management approaches: An overview. *Waste Management*, 33(5), 1237-1250. doi:10.1016/j.wasman.2013.01.006
- KOURMOUSIS, F., MOUSTAKAS, K., PAPADOPOULOS, A., INGLEZAKIS, V., AVRAMIKOS, I. y LOIZIDOU, M. (2011). Management of waste from electrical and electronic equipment in Cyprus—a case study. *Environmental Engineering and Management Journal*, 10(5), 703-709. doi:10.30638/eemj.2011.094
- KRAVCHENKO, J., DARRAH, T. H., MILLER, R. K., LYERLY, H. K. y VENGOSH, A. (2014). A review of the health impacts of barium from natural and anthropogenic exposure. *Environmental geochemistry and health*, 36(4), 797-814. doi:10.1007/s10653-014-9622-7
- KUEHR, R., MAGALINI, F. y BALDE, C. (2015). eWaste en América Latina. Análisis estadístico y recomendaciones de política pública. Universidad de las Naciones Unidas (UNU)-Instituto de Estudio Avanzados de Sustentabilidad (IAS).
- KUMAR, P. y SHRIHARI, S. (2007). Estimation and material flow analysis of waste electrical and electronic equipment (WEEE) – A case study of Mangalore City, Karnataka, India. In *Proceedings of the International Conference on Sustainable Solid Waste Management*, Chennai, India (pp. 5-7). [En línea] <[https://www.researchgate.net/publication/237531341\\_Estimation\\_and\\_Material\\_Flow\\_Analysis\\_of\\_Waste\\_Electrical\\_and\\_Electronic\\_Equipment\\_WEEE\\_-\\_A\\_Case\\_Study\\_of\\_Mangalore\\_City\\_Karnataka\\_India](https://www.researchgate.net/publication/237531341_Estimation_and_Material_Flow_Analysis_of_Waste_Electrical_and_Electronic_Equipment_WEEE_-_A_Case_Study_of_Mangalore_City_Karnataka_India)> [Consulta: marzo 2018]
- LECHUGA VÁZQUEZ, P., Y PAREDES RIZO, M. (2014). Efectos biológicos derivados de la exposición a PBDES en trabajadores del reciclaje de e-waste:

revisión sistemática. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 60(237), 685-713. doi:10.4321/S0465-546X2014000400008

- LECLER, M. T., ZIMMERMANN, F., SILVENTE, E., CLERC, F., CHOLLOT, A. y GROSJEAN, J. (2015). Exposure to hazardous substances in Cathode Ray Tube (CRT) recycling sites in France. *Waste management*, 39, 226-235. doi:10.1016/j.wasman.2015.02.027
- LEE, G. y JONES, A. (2009). *Electronic Wastes and MSW Landfill Pollution of Groundwater*. G. Fred Lee & Associates. El Macero, California. [En línea] <<http://www.gfredlee.com/Landfills/ElectronicWasteCom.pdf>> [Consulta: mayo 2018]
- LEÓN J. (2010). *Modelling Computer Waste Flows in the Formal and the Informal Sector - A case study in Colombia*, Swiss Federal Institute of Technology (EPFL)/ Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA), Lausanne/ St. Gallen.
- LEUNG, A., CAI, Z. W. y WONG, M. H. (2006). Environmental contamination from electronic waste recycling at Guiyu, southeast China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 8(1), 21-33. doi:10.1007/s10163-006-0002-y
- LI, B., YANG, J., LU, B. y SONG, X. (2015). Estimation of retired mobile phones generation in China: A comparative study on methodology. *Waste management*, 35, 247-254. doi:10.1016/j.wasman.2014.09.008
- LI, Y., DUAN, Y. P., HUANG, F., YANG, J., XIANG, N., MENG, X. Z. y CHEN, L. (2014). Polybrominated diphenyl ethers in e-waste: level and transfer in a typical e-waste recycling site in Shanghai, Eastern China. *Waste management*, 34(6), 1059-1065. doi:10.1016/j.wasman.2013.09.006
- LINDBERG, S. E., WALLSCHLAEGER, D., PRESTBO, E. M., BLOOM, N. S., PRICE, J. y REINHART, D. (2001). Methylated mercury species in municipal waste landfill gas sampled in Florida, USA1. *Atmospheric Environment*, 35(23), 4011-4015. doi:10.1016/S1352-2310(01)00176-5
- LINNELL, J., ALCORN, W., LINGER, T. y SMITH, S. (2006). Understanding and Examining the Impacts of Orphan Products and~ White Box~ Products on Emerging Electronics Recycling Systems. In *Electronics and the Environment*, 2006. Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on (pp. 144-149). IEEE. doi:10.1109/ISEE.2006.1650051

- LINTON, J. D., YEOMANS, J. S. y YOOGALINGAM, R. (2002). Supply planning for industrial ecology and remanufacturing under uncertainty: a numerical study of leaded-waste recovery from television disposal. *Journal of the Operational Research Society*, 53(11), 1185-1196. doi:10.1057/palgrave.jors.2601418
- LIU, J., XU, X., WU, K., PIAO, Z., HUANG, J., GUO, Y. y HUO, X. (2011). Association between lead exposure from electronic waste recycling and child temperament alterations. *Neurotoxicology*, 32(4), 458-464. doi:110.1016/j.neuro.2011.03.012
- LIU, X., TANAKA, M. y MATSUI, Y. (2006). Generation amount prediction and material flow analysis of electronic waste: a case study in Beijing, China. *Waste management & research*, 24(5), 434-445. doi:10.1177/0734242X06067449
- LUNDGREN, K. (2012). The global impact of e-waste: Addressing the challenge. International Labour Organization. ISBN: 978-92-2-126898-7,[En línea] <<http://www.saicm.org/Portals/12/Documents/EPI/ewastesafework.pdf>> [Consulta: mayo 2018].
- MA, J., KANNAN, K., CHENG, J., HORII, Y., WU, Q. y WANG, W. (2008). Concentrations, profiles, and estimated human exposures for polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans from electronic waste recycling facilities and a chemical industrial complex in Eastern China. *Environmental science & technology*, 42(22), 8252-8259. doi:10.1021/es8017573
- MARTINHO, G., PIRES, A., SARAIVA, L. y RIBEIRO, R. (2012). Composition of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by direct sampling. *Waste Management*, 32(6), 1213-1217. doi:10.1016/j.wasman.2012.02.010
- MCCANN, D. y WITTMANN, A. (2015). E-Waste Prevention: Take-Back System Design and Policy Approaches. United Nations University—Institute for the Advanced Study of Sustainability (UNU-IAS): Tokyo, Japan. ISSN: 2219-6579
- MCDONALD, T. A. (2002). A perspective on the potential health risks of PBDEs. *Chemosphere*, 46(5), 745-755. doi:10.1016/S0045-6535(01)00239-9
- MÉAR, F., YOT, P., CAMBON, M. y RIBES, M. (2006). The characterization of waste cathode-ray tube glass. *Waste management*, 26(12), 1468-1476. doi:10.1016/j.wasman.2005.11.017
- MENAD, N. (1999). Cathode ray tube recycling. *Resources, conservation and recycling*, 26(3-4), 143-154. doi:10.1016/S0921-3449(98)00079-2

- MINISTERIO DE SALUD. (2004). Decreto Supremo N°148 del 12 de junio de 2003, Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos. República de Chile.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. (2012). Decreto Supremo N° 001-2012, Reglamento Nacional para la Gestión y Manejo de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Republica de Perú.
- MUSSON, S. E., JANG, Y. C., TOWNSEND, T. G. y CHUNG, I. H. (2000). Characterization of lead leachability from cathode ray tubes using the toxicity characteristic leaching procedure. *Environmental Science & Technology*, 34(20), 4376-4381. doi:10.1021/es0009020
- NIU, R., WANG, Z., SONG, Q. y LI, J. (2012). LCA of scrap CRT display at various scenarios of treatment. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 576-584. doi:10.1016/j.proenv.2012.10.079
- NNOROM, I. C., OSIBANJO, O. y OGWUEGBU, M. O. C. (2011). Global disposal strategies for waste cathode ray tubes. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 275-290. doi:10.1016/j.resconrec.2010.10.007
- ODUSANYA, D. O., OKONKWO, J. O. y BOTHA, B. (2009). Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in leachates from selected landfill sites in South Africa. *Waste management*, 29(1), 96-102. doi:10.1016/j.wasman.2008.02.011
- OGUNSEITAN, O. A., SCHOENUNG, J. M., SAPHORES, J. D. M. y SHAPIRO, A. A. (2009). The electronics revolution: from e-wonderland to e-wasteland. *Science*, 326(5953), 670-671. doi:10.1126/science.1176929
- ONGONDO, F. O., WILLIAMS, I. D. y KEYNES, S. (2011A). Estimating the impact of the “digital switchover” on disposal of WEEE at household waste recycling centres in England. *Waste management*, 31(4), 743-753. doi:10.1016/j.wasman.2010.11.005
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). (2001). *Extended producer responsibility: a guidance manual for governments*. doi:10.1787/9789264189867-en
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). (2003). *Technical Guidance for the Environmentally Sound Management of Specific Waste Streams: Used and Scrap Personal Computers*. [En línea] <[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=ENV/EPOC/WGWPR\(2001\)3/FINAL](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=ENV/EPOC/WGWPR(2001)3/FINAL)> [Consultado mayo 2018].

- OSAKO, M., KIM, Y. J. y SAKAI, S. I. (2004). Leaching of brominated flame retardants in leachate from landfills in Japan. *Chemosphere*, 57(10), 1571-1579. doi:10.1016/j.chemosphere.2004.08.076n
- PEETERS, J. R., VANEGAS, P., KELLENS, K., WANG, F., HUISMAN, J., DEWULF, W. y DUFLOU, J. R. (2015). Forecasting waste compositions: A case study on plastic waste of electronic display housings. *Waste management*, 46, 28-39. doi:10.1016/j.wasman.2015.09.019
- PERKINS, D. N., DRISSE, M. N. B., NXELE, T. y SLY, P. D. (2014). E-waste: a global hazard. *Annals of global health*, 80(4), 286-295. doi:10.1016/j.aogh.2014.10.001
- PIER, M. D., BETTS-PIPER, A. A., KNOWLTON, C. C., ZEEB, B. A. y REIMER, K. J. (2003). Redistribution of polychlorinated biphenyls from a local point source: terrestrial soil, freshwater sediment, and vascular plants as indicators of the halo effect. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 35(3), 349-360. doi:10.1657/1523-0430(2003)035[0349:ROPBFA]2.0.CO;2
- PRICE, J. L. (1999). Reclaiming end-of-life cathode ray tubes (CRTs) and electronics: A Florida update. In *Hazardous Materials Management Conference*, Tucson, Arizona. [En línea]: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=D95ADCC7342AE41466AB14112FF07F19?doi=10.1.1.605.5092&rep=rep1&type=pdf>> [Consulta: mayo 2018].
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). (2013). Convenio de Basilea, Directrices técnicas sobre los movimientos transfronterizos de desechos eléctricos y electrónicos, en particular respecto de la distinción entre desechos y materiales que no son desechos. [En línea] <[www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW.11-7-Add.1.Spanish.pdf](http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW.11-7-Add.1.Spanish.pdf)> [Consulta: diciembre 2017]
- PUCKETT, J., BYSTER, L., SVTC, S., WESTERVELT., BAN, R., GUTIERREZ, S., ASMA, D., HUSSAIN, M., LINK, T., (2002). Exporting Harm: The High-Tech Trashing of Asia. The Basel Action Network (BAN), Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC). [En línea] <[https://www.researchgate.net/publication/228577617\\_Exporting\\_Harm\\_The\\_High-Tech\\_Trashing\\_of\\_Asia](https://www.researchgate.net/publication/228577617_Exporting_Harm_The_High-Tech_Trashing_of_Asia)> [Consulta: diciembre 2017].



- QIN, F., SHAN, X. y WEI, B. (2004). Effects of low-molecular-weight organic acids and residence time on desorption of Cu, Cd, and Pb from soils. *Chemosphere*, 57(4), 253-263. doi:10.1016/j.chemosphere.2004.06.010
- ROBINSON, B. H. (2009). E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Science of the total environment*, 408(2), 183-191. doi:10.1016/j.scitotenv.2009.09.044
- ROCCHETTI, L. y BEOLCHINI, F. (2014). Environmental burdens in the management of end-of-life cathode ray tubes. *Waste management*, 34(2), 468-474. doi:10.1016/j.wasman.2013.10.031
- ROCHA, H.T.R., GOMES, F.V.B., STREICHER-PORTER, M., PORTUGAL, S.M., ALMEIDA, R.N. y RIBEIRO, J.C.J. (2009). Diagnóstico da Geração de Resíduos Eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais (Diagnosis of the Generation of Electrical and Electronic Waste in Minas Gerais State). Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA).
- ROCHAT, D., HAGELÜKEN, C., KELLER, M. y WIDMER, R. (2007). Optimal Recycling for Printed Wiring Boards (PWBs) in India. R'07 Recovery of Materials and Energy for Resource Efficiency. 12.
- ROJAS, L., GAVILÁN, A., ALCÁNTARA, V. y CANO, F., (2015). Los Residuos Electrónicos en México y el mundo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Republica de México.
- I.S. SHAW ENVIRONMENTAL, A CB&I COMPANY, FOR KUUSAKOSKI RECYCLING, LLC. (2013). An Analysis of the Demand for CRT Glass Processing in the U S. [En línea] <<http://giecdn.blob.core.windows.net/fileuploads/file/an%20analysis%20of%20the%20demand%20for%20crt%20glass%20processing%20in%20the%20u%20s.pdf>> [Consultado: diciembre 2017].
- SCHLUEP, M. (2014). Waste Electrical and Electronic Equipment Management. In *Handbook of Recycling* (pp. 397-403). doi:10.1016/B978-0-12-396459-5.00025-8
- SCHLUEP, M., HAGELÜKEN, C., KUEHR, R., MAGALINI, F., MAURER, C., MESKERS, C., MÜLLER, E. y WANG, F. (2009). Recycling - from e-waste to resources. STEP, Solving the E-Waste Problem.

- SCHLUEP, M., MÜLLER, E., OTT, D. y ROCHAT, D. E. (2012). e-Waste Assessment Methodology-Training & Reference Manual. [En línea]: <<https://www.sustainable-recycling.org/wp-content/uploads/2015/07/UNEP-CHW-EWASTE-MANUA-EwasteAssessmentMethodology.English.pdf>> [Consultada: marzo 2018].
- SCHMIDT CW. (2002). e-Junk explosion. Environ Health Perspect, 110:A188–A194. [En línea] <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240810/pdf/ehp0110-a00188.pdf>> [Consulta: diciembre 2018].
- SCHUMACHER, K. A., SCHUMACHER, T. y AGBEMABIESE, L. (2014). Quantification and probabilistic modeling of CRT obsolescence for the State of Delaware. Waste management, 34(11), 2321-2326. doi:10.1016/j.wasman.2014.07.011
- SEATON, A., RUCKLEY, V., ADDISON, J. y BROWN W. (1986). Silicosis in barium miners. Thorax 41:591-595. doi:10.1136/thx.41.8.591
- SENADO Y CÁMARA DE DIPUTADOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES. LEY N° 14321 DE 2011, Gestión Sustentable de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. República de Argentina.
- SEPÚLVEDA, A., SCHLUEP, M., RENAUD, F. G., STREICHER, M., KUEHR, R., HAGELÜKEN, C. y GERECKE, A. C. (2010). A review of the environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: Examples from China and India. Environmental impact assessment review, 30(1), 28-41. doi:10.1016/j.eiar.2009.04.001
- SERVICIO NACIONAL DE ADUANAS DE CHILE, INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE COMERCIO EXTERIOR. [En línea]: <<http://estacomex.aduana.cl/estacomex/asp/index.asp>> [Consulta: enero 2018].
- SHINKUMA, T. y HUONG, N. T. M. (2009). The flow of E-waste material in the Asian region and a reconsideration of international trade policies on E-waste. Environmental Impact Assessment Review, 29(1), 25-31. doi:10.1016/j.eiar.2008.04.004
- SINGH, N., LI, J. y ZENG, X. (2016B). Solutions and challenges in recycling waste cathode-ray tubes. Journal of Cleaner Production, 133, 188-200. doi:10.1016/j.jclepro.2016.04.132

- SINGH, N., WANG, J. y LI, J. (2016A). Waste cathode rays tube: an assessment of global demand for processing. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 465-474. doi:10.1016/j.proenv.2016.02.050
- SOCOLOF, M. L., OVERLY, J. G. y GEIBIG, J. R. (2005). Environmental life-cycle impacts of CRT and LCD desktop computer displays. *Journal of Cleaner production*, 13(13-14), 1281-1294. doi:10.1016/j.jclepro.2005.05.014
- SOLVING THE E-WASTE PROBLEM (STEP). (2014). White Paper One Global Definition of E-waste. ISSN: 2071-3576
- SPALVINS, E., DUBEY, B. y TOWNSEND, T. (2008). Impact of electronic waste disposal on lead concentrations in landfill leachate. *Environmental science & technology*, 42(19), 7452-7458. doi:10.1021/es8009277
- STEINER, S. (2004). Risk Assessment of E-waste burning in Delhi India. Diploma Thesis, Umweltwissenschaften Eidgenössische Technische Hochschule Zürich,Zürich. [En línea] <[http://exigorecycling.com/pdf/E\\_waste\\_Delhi.pdf](http://exigorecycling.com/pdf/E_waste_Delhi.pdf)> [Consulta: marzo 2018].
- STREICHER-PORTE, M. y YANG, J. (2007, MAY). WEEE Recycling in China. Present situation and main obstacles for improvement. In *Electronics & the Environment, Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on* (pp. 40-45). IEEE. [En línea] <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.874.8830&rep=rep1&type=pdf>> [Consulta: diciembre 2018]
- TOWNSEND, T., MUSSON, S., JANG, Y. y CHUNG, I. (1999). Characterization of Lead Leachability from Cathode Ray Tubes Using the Toxicity Characteristic Leaching Procedure. State University System of Florida, Florida Center for solid and hazardous waste management, Report #99-5. [En línea] <<https://dnr.mo.gov/env/hwp/escrap/docs/crttcp99.pdf>> [Consulta: noviembre 2017].
- TSYDENOVA, O. y BENGTTSSON, M. (2011). Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment. *Waste Management* 31, 45–58. doi:10.1016/j.wasman.2010.08.014
- UNITED STATES DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. (2007). Toxicological Profile for Barium and Barium Compounds. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. [En línea] <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp24.pdf>> [Consulta: abril 2018].

- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (1998). Toxicological Review of Barium and Compounds. Washington, DC. (CAS No. 7440-39-3). [En línea] <[https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris\\_documents/documents/toxreviews/0010tr.pdf](https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0010tr.pdf)> [Consulta: abril 2018].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (1999). General Background Document on Cathode Ray Tube Glass to Glass Recycling, Report prepared by ICF Incorporated, Fairfax, Virginia, USA, p. 26. [En línea] <<https://belglas.files.wordpress.com/2015/11/s99-23.pdf>> [Consulta: abril 2018].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (2008). Electronics Waste Management in the United States: Approach 1. EPA530-R-08-009. [En línea] <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P1001FPK.PDF?Dockey=P1001FPK.PDF>> [Consulta: abril 2018].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (2016). Volume-to-Weight Conversion Factors, Office of Resource Conservation and Recovery. [En línea] <[https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/volume\\_to\\_weight\\_conversion\\_factors\\_memorandum\\_04192016\\_508fnl.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/volume_to_weight_conversion_factors_memorandum_04192016_508fnl.pdf)> [Consulta: abril 2018].
- VEIT, H. y BERNARDES, A. (2015). Electronic waste: Recycling techniques. 10.1007/978-3-319-15714-6. doi:10.1007/978-3-319-15714-6
- WÄGER, P. A., SCHLUEP, M., MÜLLER, E. y GLOOR, R. (2011). RoHS regulated substances in mixed plastics from waste electrical and electronic equipment. Environmental Science & Technology, 46(2), 628-635. doi:10.1021/es202518n
- WANG, F., HUISMAN, J., STEVELS, A. y BALDÉ, C. P. (2013). Enhancing e-waste estimates: Improving data quality by multivariate Input–Output Analysis. Waste management, 33(11), 2397-2407. doi:10.1016/j.wasman.2013.07.005
- WANG, F., KUEHR, R., AHQUIST, D. y LI, J. (2013). E-Waste in China: a country report. STEP, Solving the E-Waste Problem. ISSN: 2219-6579, [En línea] <[http://greeninitiatives.cn/pdfdoc/resource/resource\\_23\\_6\\_2016\\_1466667520739.pdf](http://greeninitiatives.cn/pdfdoc/resource/resource_23_6_2016_1466667520739.pdf)> [Consulta: diciembre 2018]
- WANG, Y., LUO, C., LI, J., YIN, H., LI, X. y ZHANG, G. (2011). Characterization of PBDEs in Soils and Vegetations Near an e-waste Recycling site in South China. Environmental Pollution, 159(10), 2443-2448. doi:10.1016/j.envpol.2011.06.030

- WIDMER, R., OSWALD-KRAPF, H., SINHA-KHETRIWALB, D., SCHNELLMANN, M. y BOÑIA, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review* 25, 436– 458. doi:10.1016/j.eiar.2005.04.001
- WILKINSON, S., DUFFY, N. y CROWE, M. (2001). Waste from electrical and electronic equipment in Ireland, A status report, Clean Technology Centre, Cork Institute of Technology, Cork, Ireland.
- WILLIAMS, E., KAHHAT, R., ALLENBY, B., KAVAZANJIAN, E., KIM, J. y XU, M. (2008). Environmental, social, and economic implications of global reuse and recycling of personal computers. *Environmental Science & Technology*, 42(17), 6446-6454. doi:10.1021/es702255z
- XU, Q., LI, G., HE, W., HUANG, J. y SHI, X. (2012). Cathode ray tube (CRT) recycling: current capabilities in China and research progress. *Waste management*, 32(8), 1566-1574. doi:10.1016/j.wasman.2012.03.009
- YOSHIDA, A., TERAZONO, A., BALLESTEROS, F., NGUYEN, D., SUKANDAR, S., KOJIMAE, M. y SAKATAE, S., (2016). E-waste recycling processes in Indonesia, the Philippines, and Vietnam: A case study of cathode ray tube TVs and monitors. *Resources, Conservation and Recycling* Volume 106, 48-58. doi:10.1016/j.resconrec.2015.10.020
- YU-GONG, TIAN, X. M. y WU, Y. F. (2016). Recent development of recycling lead from scrap CRTs: A technological review. *Waste management*, 57, 176-186. doi:10.1016/j.wasman.2015.09.004
- ZHAO, Y. X., QIN, X. F., LI, Y., LIU, P. Y., TIAN, M., YAN, S. S. y YANG, Y. J. (2009). Diffusion of polybrominated diphenyl ether (PBDE) from an e-waste recycling area to the surrounding regions in Southeast China. *Chemosphere*, 76(11), 1470-1476. doi:10.1016/j.chemosphere.2009.07.023
- ZHOU, T., TAYLOR, M. M., DEVITO, M. J. y CROFTON, K. M. (2002). Developmental exposure to brominated diphenyl ethers results in thyroid hormone disruption. *Toxicological Sciences*, 66(1), 105-116. [En línea] <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11861977>> [Consulta: diciembre 2017].

## 7. ANEXOS

### **Anexo 1. Lista de RAEE de acuerdo a las categorías establecidas por la directiva de la UE sobre RAEE. (UE, 2012).**

#### 1. GRANDES ELECTRODOMÉSTICOS.

Grandes equipos refrigeradores; frigoríficos; Congeladores; Otros grandes aparatos utilizados para la refrigeración, conservación y almacenamiento de alimentos; Lavadoras; Secadoras; Lavavajillas; Cocinas; Hornos eléctricos, Placas de calor eléctricas; Hornos de microondas; Otros grandes aparatos utilizados para cocinar y en otros procesos de transformación de los alimentos; Aparatos de calefacción eléctricos; Radiadores eléctricos; Otros grandes aparatos utilizados para calentar habitaciones, camas, muebles para sentarse; ventiladores eléctricos; aparatos de aire acondicionado; otros aparatos de aireación, ventilación aspirante y aire acondicionado.

#### 2. PEQUEÑOS ELECTRODOMÉSTICOS.

Aspiradoras; Limpiamoquetas; Otros aparatos de limpieza; Aparatos utilizados para coser, hacer punto, tejer y para otros procesos de tratamiento de textiles; Planchas y otros aparatos utilizados para planchar y para dar otro tipo de cuidados a la ropa; Tostadoras; Freidoras; Molinillos, cafeteras y aparatos para abrir o precintar envases o paquetes; Cuchillos eléctricos; Aparatos para cortar el pelo; Para secar el pelo para cepillarse los dientes, máquinas de afeitarse, aparatos de masaje y otros cuidados corporales; Relojes y aparatos destinados a medir, indicar o registrar el tiempo, básculas.

#### 3. EQUIPOS DE INFORMÁTICA Y TELECOMUNICACIONES.

Procesamiento de datos centralizado: Grandes ordenadores; Miniordenadores; Unidades de impresión; Sistemas informáticos personales: Ordenadores personales (incluidos unidad central, ratón, pantalla y teclado); Ordenadores portátiles (incluidos unidad central, ratón, pantalla y teclado); Ordenadores portátiles de tipo «notebook»

;Ordenadores portátiles de tipo «tableta»; Impresoras; Copiadoras; Máquinas de escribir eléctricas y electrónicas; Calculadoras de mesa y de bolsillo; y otros productos y aparatos para la recogida, almacenamiento, procesamiento, presentación o comunicación de información de manera electrónica; Sistemas y terminales de usuario; Terminales de fax; Terminales de télex; Teléfonos; Teléfonos públicos; Teléfonos inalámbricos; Teléfonos móviles; Contestadores automáticos; y otros productos o aparatos de transmisión de sonido, imágenes u otra información por telecomunicación.

#### 4. APARATOS ELECTRÓNICOS DE CONSUMO Y PANELES FOTOVOLTÁICOS.

Rádios; Televisores; Videocámaras; Aparatos de grabación de vídeo, Cadenas de alta fidelidad; Amplificadores de sonido; Instrumentos musicales; y otros productos o aparatos utilizados para registrar o reproducir sonido o imágenes, incluidas las señales y tecnologías de distribución del sonido e imagen distintas de la telecomunicación; Paneles fotovoltaicos.

#### 5. APARATOS DE ALUMBRADO.

Luminarias para lámparas fluorescentes, con exclusión de las luminarias de los hogares; Lámparas fluorescentes rectas; Lámparas fluorescentes compactas; Lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las lámparas de sodio de presión y las lámparas de haluros metálicos; Lámparas de sodio de baja presión; Otros alumbrados y aparatos utilizados para difundir o controlar luz con excepción de las bombillas de filamentos.

#### 6. HERRAMIENTAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS (CON EXCEPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS INDUSTRIALES FIJAS DE GRAN ENVERGADURA)

Taladradoras; Sierras; Máquinas de coser; Herramientas para torneear, molturar, enarenar, pulir, aserrar, cortar, cizallar, taladrar, perforar, punzar, plegar, encorvar o trabajar de manera similar la madera, el metal u otros materiales; Herramientas para

remachar, clavar o atornillar, o para sacar remaches, clavos, tornillos, o para aplicaciones similares; Herramientas para soldar (con o sin aleación) o para aplicaciones similares; Herramientas para rociar, esparcir, propagar o aplicar otros tratamientos con sustancias líquidas o gaseosas por otros medios; Herramientas para cortar césped o para otras labores de jardinería.

#### 7. JUGUETES O EQUIPOS DEPORTIVOS Y DE OCIO.

Trenes eléctricos o coches de carreras en pista eléctrica; Consolas portátiles; Videojuegos; Ordenadores para realizar ciclismo, submarinismo, correr, hacer remo, etc.; Material deportivo con componentes eléctricos o electrónicos; Máquinas tragaperras.

#### 8. PRODUCTOS SANITARIOS (CON EXCEPCIÓN DE TODOS LOS PRODUCTOS IMPLANTADOS E INFECTADOS).

Aparatos de radioterapia; Aparatos de cardiología; Aparatos de diálisis; Ventiladores pulmonares; Aparatos de medicina nuclear; Aparatos de laboratorio para diagnóstico in vitro; Analizadores; Congeladores; Pruebas de fertilización; Otros aparatos para detectar, prevenir, vigilar, tratar o aliviar enfermedades, lesiones o discapacidades.

#### 9. INSTRUMENTOS DE VIGILANCIA Y CONTROL.

Detectores de humos; Reguladores de calefacción; Termostatos; Aparatos de medición, pesaje o reglaje para el hogar o como material de laboratorio; Otros instrumentos de vigilancia y control utilizados en instalaciones industriales (por ejemplo, en paneles de control).

#### 10. MÁQUINAS EXPENDEDORAS

Máquinas expendedoras automáticas de bebidas calientes; Máquinas expendedoras automáticas de botellas o latas, frías o calientes; Máquinas expendedoras automáticas



de productos sólidos; Máquinas expendedoras automáticas de dinero; Todos los aparatos para suministro automático de toda clase de productos.