



**INECC**

INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA  
Y CAMBIO CLIMÁTICO

## **Estudio de Análisis de Ciclo de Vida de computadoras al término de su vida útil**

---

**Dirección General de Investigación sobre  
la Contaminación Urbana y Regional**

**Dirección de Investigación sobre  
Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos**

*Arturo Gavilán García  
Frineé Kathia Cano Robles  
Víctor Alcántara Concepción*

2013

## ÍNDICE

<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>2</b>
<b>1) Antecedentes</b>	<b>3</b>
<b>2) Situación legal</b>	<b>4</b>
<b>3) Objetivos</b>	<b>5</b>
<b>3.1) Objetivo general</b>	<b>5</b>
<b>3.2) Objetivos específicos</b>	<b>5</b>
<b>4) Descripción de la corriente de residuo</b>	<b>5</b>
<b>5) Unidad funcional</b>	<b>6</b>
<b>6) Descripción del sistema</b>	<b>6</b>
<b>7) Escenarios</b>	<b>7</b>
<b>8) Metodología de ACV</b>	<b>11</b>
<b>9) Descripción de procesos y consideraciones</b>	<b>12</b>
<b>10) Cálculo de beneficios</b>	<b>28</b>
<b>11) Fuentes y calidad de datos</b>	<b>29</b>
<b>12) Grupo objetivo</b>	<b>30</b>
<b>13) Evaluación de impactos ambientales</b>	<b>30</b>
<b>14) Resultados</b>	<b>32</b>
<b>15) Implicaciones sociales y políticas</b>	<b>43</b>
<b>16) Conclusiones</b>	<b>45</b>
<b>17) Referencias</b>	<b>47</b>

## ESTUDIO DE ACV DE COMPUTADORAS AL TÉRMINO DE SU VIDA ÚTIL

### Resumen ejecutivo

De acuerdo a los estudios realizados por el INE (2010), la generación de residuos electrónicos en México para el año 2010 llegó a 307,224 ton, donde 55,443 ton fueron computadoras (75% computadoras de escritorio y 25% portátiles). En el presente estudio se realizó un análisis de ciclo de vida (ACV) de computadoras a final de vida, como parte de la colaboración entre el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y la Agencia de Cooperación Alemana (GIZ) en México, el cual evaluó el comportamiento ambiental del sistema de gestión actual (donde el 10% se recicla, el 40% permanece almacenado en casas y bodegas, mientras que el 50% se dispone en rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto). En el ACV se hicieron modelaciones de cuatro escenarios, donde se consideraron tasas de reciclado (de tarjetas electrónicas, y metales) de 10%, 25%, 35%, y a su vez se modeló un escenario con la eliminación de la disposición de computadoras a final de vida en tiraderos a cielo abierto. El ACV se realizó siguiendo la norma ISO 14040:2006 y como instrumento de análisis el software UMBERTO 5.0. Los resultados de la modelación muestran que los procesos de reciclaje son benéficos para disminuir los impactos ambientales derivados de la obtención de materias, para todos los casos hay un balance positivo en las actividades de reciclaje por encima de la elaboración de materias primas provenientes de recursos naturales. También se observa que el impacto ambiental más significativo, entre los escenarios propuestos, proviene de la disposición inadecuada en tiraderos a cielo abierto e inclusive a los rellenos sanitarios. Así mismo, otra actividad que está impactando negativamente son los transportes y la recolección por trasladar materiales inclusive de extremo a extremo del país. La estrategia de gestión de residuos, derivada del ACV, debe incluir de reducción de riesgos por la disposición de computadoras en tiraderos a cielo abierto y en rellenos sanitarios, así como el aumento en la capacidad instalada de plantas recicladoras a lo largo del país. Derivado de lo anterior, se recomienda buscar incentivos y formas de participación para incrementar el alcance de las actividades de recolección formal e informal y buscar alternativas de tratamiento para los materiales plásticos, que en la actualidad no tienen formas masivas de valorización.

Por último, los beneficios por las prácticas de reciclaje en todos los casos modelados son positivos, lo que permite afirmar que las prácticas de reciclaje de computadoras a final de vida es una actividad positiva que debe incentivarse y masificarse, ya que los beneficios no solo son ambientales sino también sociales y económicos.

## 1) Antecedentes

La problemática relacionada con los residuos electrónicos ha cobrado importancia a partir de la firma de los convenios de Basilea y Estocolmo. La alerta sobre ellos no se ha incrementado sólo por el creciente volumen de generación, sino por su alto contenido de sustancias químicas peligrosas. En los productos electrónicos, destacan por su toxicidad el mercurio, el plomo, el cadmio, el cromo hexavalente y el arsénico, sin embargo, existen también compuestos como los retardantes de flama bromados (PBDE), así como las dioxinas y los furanos que se generan de la combustión no controlada de estos residuos. Estas sustancias pueden llegar al ambiente y a la población a través de la disposición inadecuada de residuos o de procesos de recuperación de metales secundaria (oro, plata y cobre). En particular los PBDE, dioxinas y furanos pueden bioacumularse en la biota y representan un riesgo para la salud humana.

Las 500 millones de computadoras que llegaron al final de su vida útil entre 1994 y 2003 en todo el mundo generaron cerca de 2,872,000 toneladas de plástico, 718,000 toneladas de plomo, 1,363 toneladas de cadmio y 287 toneladas de mercurio. Tan solo en México, en 2010, se desecharon cerca de 2.7 millones de computadoras. La tendencia de crecimiento de estos residuos se explica principalmente por el incremento en el tamaño del mercado y por la reducción del tiempo de vida promedio de los productos electrónicos. Las computadoras son tan solo un ejemplo representativo de la magnitud del problema; a medida que avanza la tecnología y crece su mercado mundial, el tiempo de vida de estos aparatos es cada vez más corto. En 1997 una computadora nueva se usaba en promedio seis años; en 2005, sólo dos.

De acuerdo con estudios recientes realizados por el Instituto Nacional de Ecología (INE), en 2010 la generación de residuos electrónicos en México fue de, aproximadamente, 307,224 toneladas. De esta cantidad se estima que sólo 10% se recicla, 40% queda almacenado en casas y bodegas, y el resto se envía a rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto.

Por otro lado, el contenido de metales en residuos electrónicos (como oro, plata y cobre) ha desencadenado la creación de diversos sectores que los recuperan y a su vez generan un mercado transfronterizo tanto formal como informal. Los residuos generados en países desarrollados en muchas ocasiones llegan a regiones de Asia y África en donde son desmantelados y quemados para la recuperación de materiales.

El proceso y los volúmenes que pueden ser reciclados dependen de la infraestructura disponible para transporte, recolección, recuperación y re-venta. Los principales factores que afectan a la infraestructura son las variantes en el flujo de residuos, la regulación gubernamental y factores económicos relacionados con los productos al final de su vida útil.

El primer mercado existente es para productos reacondicionados que pueden ser vendidos o donados a usuarios secundarios y el segundo mercado es para los componentes que pueden ser revendidos y reusados. El tercer mercado es para los materiales reciclados.

Las computadoras están compuestas por metales (49%), plásticos (23%) y por vidrio (25%) principalmente (Cuadro 1).

**Cuadro 1 – Materiales recuperados de computadoras**

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

Fuente: INE, 2006.

## **2) Situación legal**

México cuenta con un marco jurídico específico en el tema de residuos que busca asegurar su prevención y gestión integral. Los instrumentos que regulan a los residuos electrónicos en particular se sustentan primeramente en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y de ahí se derivan la Ley General para el Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), los reglamentos correspondientes, así como las Normas Oficiales Mexicanas que se aplican en todo el país. En todos estos instrumentos se contempla solamente la responsabilidad compartida y diferenciada de los productos que al final de su vida útil se convierten en residuos, y establece que se requiere la participación conjunta, coordinada y diferenciada de productores, distribuidores, consumidores, usuarios de subproductos, y de los tres órdenes de gobierno según corresponda, bajo un esquema de factibilidad de mercado y eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social.

Los residuos electrónicos están definidos por la LGPGIR como de manejo especial de acuerdo al artículo 19 sección VIII, descritos como: residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, de los fabricantes de productos electrónicos y de otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico.

Los residuos de manejo especial (RME) están definidos en el artículo 5 sección XXX como aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos. En 2011 se publicó el Proyecto de Norma PROY-NOM-161-SEMARNAT-2011 sobre planes de manejo de residuos de manejo especial, en donde se incluyen a los residuos electrónicos en el listado sujeto a la elaboración de un plan de manejo.

Las entidades federativas cuentan con la facultad de formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar los programas en materia de residuos electrónicos. También son las encargadas de autorizar el manejo integral de éstos, e identificar aquellos que puedan estar sujetos a planes de manejo. Dado lo anterior, aún existen diversas dudas con respecto al manejo de los residuos electrónicos en el país, en particular para identificar los elementos de una política nacional que permita ordenar las actividades de los diferentes actores; por lo que es conocer a mayor detalles las diferentes etapas el flujo de materiales y los impactos que estas representan a través de la metodología de análisis de ciclo de vida.

### 3) Objetivos

#### 3.1) Objetivo general

- Evaluar el desempeño ambiental de posibles esquemas de aprovechamiento de computadoras al término de su vida útil que permita establecer las bases para la toma de decisiones orientadas al desarrollo de instrumentos para su gestión en el ámbito nacional y estatal.

#### 3.2) Objetivos específicos

- Recolectar datos sobre el flujo de materiales de computadoras en la fase de post-consumo en México y de los procesos unitarios utilizados en su manejo para alimentar el modelo de análisis de ciclo de vida y dar seguimiento a su comportamiento ante cambios en el sistema de manejo de residuos electrónicos.
- Determinar la carga ambiental que representa cada uno de los siguientes escenarios de fin de vida de computadoras e identificar las actividades de mayor impacto ambiental:
  - Sistema actual de manejo de residuos de computadoras.
  - Reciclaje de computadoras (tarjetas electrónicas, plásticos, metales) en un escenario donde se incremente la tasa de un 17% a un 25% y a un 35%<sup>1</sup>.
  - Reciclaje de computadoras (tarjetas electrónicas, plásticos, metales) con una tasa del 17% y eliminando los tiraderos a cielo abierto y disponer los residuos electrónicos en rellenos sanitarios controlados solamente.

### 4) Descripción de la corriente de residuo

El presente estudio se enfoca en la corriente de computadoras al término de su vida útil en México con las características mostradas en el Cuadro 2. La corriente incluye computadoras de escritorio y portátiles.

**Cuadro 2 – Vida útil y peso promedio de computadoras**

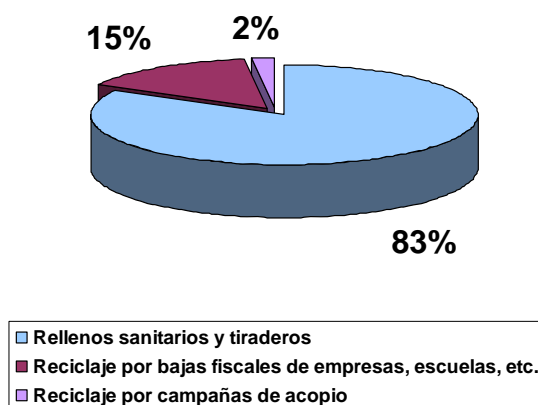
Aparato	Vida útil nominal (años)	Peso promedio (kg)
Computadoras de escritorio	5	20
Laptops	3	2

Fuente: INE, 2006.

El 40% de los residuos electrónicos en México se queda almacenado en casas o bodegas debido a que sus dueños buscan valorizarlo a través de venta o repararlo para alargar su vida útil, sin embargo un 60% sigue diversos caminos, como se muestra en la Figura 1, siendo la mayoría enviados a rellenos sanitarios o tiraderos. En este estudio se consideran únicamente los residuos de computadoras de escritorio y personales que llegan a ser enviadas a una disposición final o a reciclaje, y no aquellas que permanecen en un lugar fijo.

---

<sup>1</sup> El 35% fue designado al ser la meta promedio de varios países europeos.



**Figura 1 – Manejo a fin de vida de residuos electrónicos en México**

**5) Unidad funcional**

Se considera en este estudio como unidad funcional la cantidad y/o peso de computadoras al término de su vida útil en México que se entregan para su reciclaje o desecho a algún tercero (recicladora, sistema de limpia municipales) (Cuadro 3).

**Cuadro 3 – Estimación de la generación de residuos electrónicos en 2010**

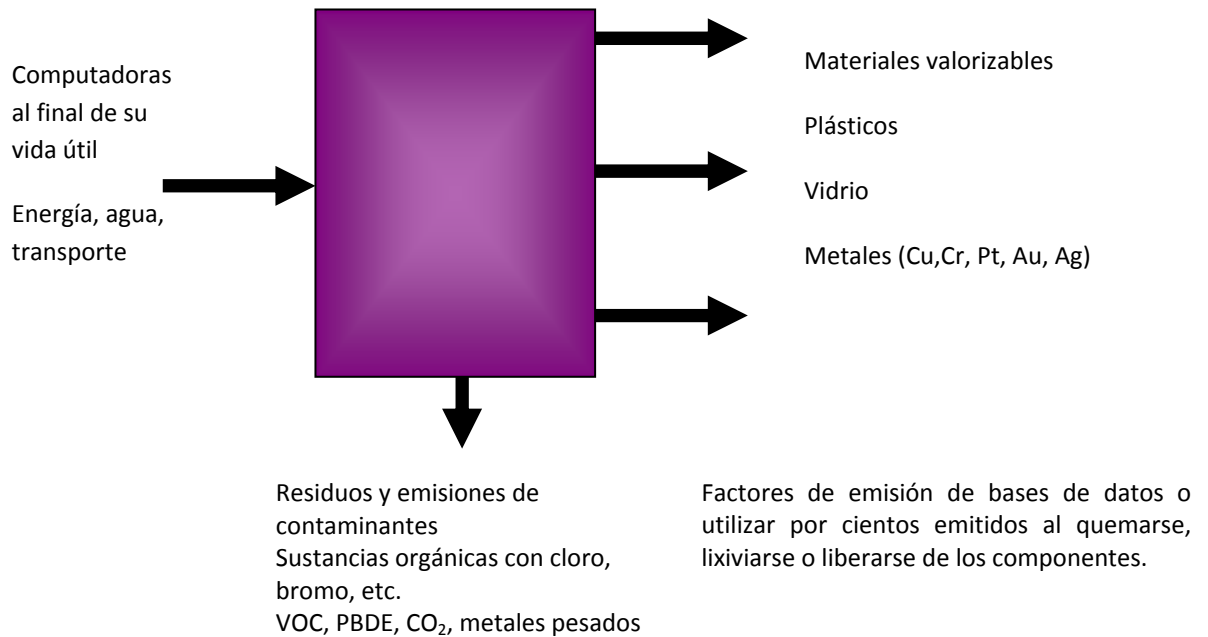
Aparato	Unidades a desechar (piezas)	100% Peso (toneladas)	60%* Peso (toneladas)
Computadoras de escritorio	2,079,150	41,583	24,950
Laptops	6,930,000	13,860	8,316
TOTAL	9,027,150	55,443	33,266

Fuente: INE, 2012.

\*Porcentaje que llega a reciclaje y a disposición final.

**6) Descripción del sistema**

En la Figura 2 se puede ver un diagrama general del flujo de materiales (entradas y salidas) de un sistema de manejo a fin de vida de computadoras, en donde los insumos son los aparatos como tal y la energía y agua necesarios para su procesamiento. Como productos se obtienen diversos materiales como plásticos, metales, vidrio, así como ciertas emisiones y otros propios residuos provenientes del reciclaje.



**Figura 2. Diagrama general de materiales en un sistema de fin de vida de computadoras.**

En México, las computadoras son utilizadas en promedio cuatro años, posteriormente se trata de dar una extensión a su vida útil, esto ocurre cuando el equipo es vendido o regalado a alguien que lo pueda seguir utilizando como tal. Si esto no es posible se continúa con el reacondicionamiento, que es cuando el equipo es modificado o restaurado de manera parcial para que vuelva a ser usado. Otra parte de los equipos va a la recuperación de partes, en donde se da un reuso directo de piezas de equipo eléctrico y electrónico que aún se encuentran en buen estado para ser añadidas a equipo nuevo o modificado. Posteriormente un porcentaje de las computadoras finalmente llegan al sector de reciclaje de los materiales y aprovechamiento de energía, en donde se desensamblan, se reciclan o son utilizados como combustible alternativo. Sin embargo, una parte importante de los residuos de computadoras no llegan a ser valorizados de ninguna manera y son depositados en rellenos sanitarios o en tiraderos a cielo abierto.

El 60% de las computadoras que llegan al final de su vida útil en México recorren diversos caminos desde su primer desecho hasta llegar a la disposición final.

## 7) Escenarios

### Escenario A: status quo

Este sistema es el actual, en donde solamente el 17% de las computadoras desechadas llegan a un sistema de reciclaje a través del de acopio en un sitio de entrega de residuos o por bajas fiscales, y el resto es enviado a disposición en rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto. Los impactos ambientales de este sistema serán la línea base para comparar diferentes acciones en el manejo a fin de vida de computadoras en México.



### **Escenario B: Incremento de la tasa de reciclaje a 25%**

Este sistema considera un incremento en la tasa del reciclaje del 17 al 25%, por lo tanto se reduce del 83 al 75% la cantidad de computadoras enviadas a disposición final.

### **Escenario C: Incremento de la tasa de reciclaje a 35%**

Este sistema considera un incremento en la tasa del reciclaje del 17 al 35%, por lo tanto se reduce del 83 al 65% la cantidad de computadoras enviadas a disposición final.

### **Escenario D: Eliminación de la disposición en tiraderos a cielo abierto**

Este sistema considera mantener fija la cantidad de residuos de computadoras enviadas a sistemas de reciclaje (17%), pero el 83% restante son enviados a rellenos sanitarios controlados, por lo que se reduciría a 0% la cantidad enviada a tiraderos a cielo abierto. Esta opción se seleccionó debido a que actualmente se están llevando a cabo diversas políticas públicas a nivel nacional para eliminar los tiraderos a cielo abierto. Es importante comparar los impactos ambientales de esta política contra aquellas que buscan impulsar la industria del reciclaje.

#### *Notas adicionales:*

- Para los escenarios B, C y D se tratará de analizar si es factible incluir cambios en el sistema y equipos de transporte de los residuos.
- De acuerdo a los estudios del INE, existe una fuerte actividad del sector informal, durante el acopio y transporte de residuos electrónicos. Los aparatos normalmente son desensamblados y algunos de sus componentes son utilizados en otros equipos, sin embargo otra parte llega al mismo sistema de reciclaje por venta informal de piezas a través de chatarreros, lo cual añade un 17% adicional de residuos a la corriente que llega al sistema de reciclaje.
- En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo de materiales específicamente para el proceso de reciclaje por componente.

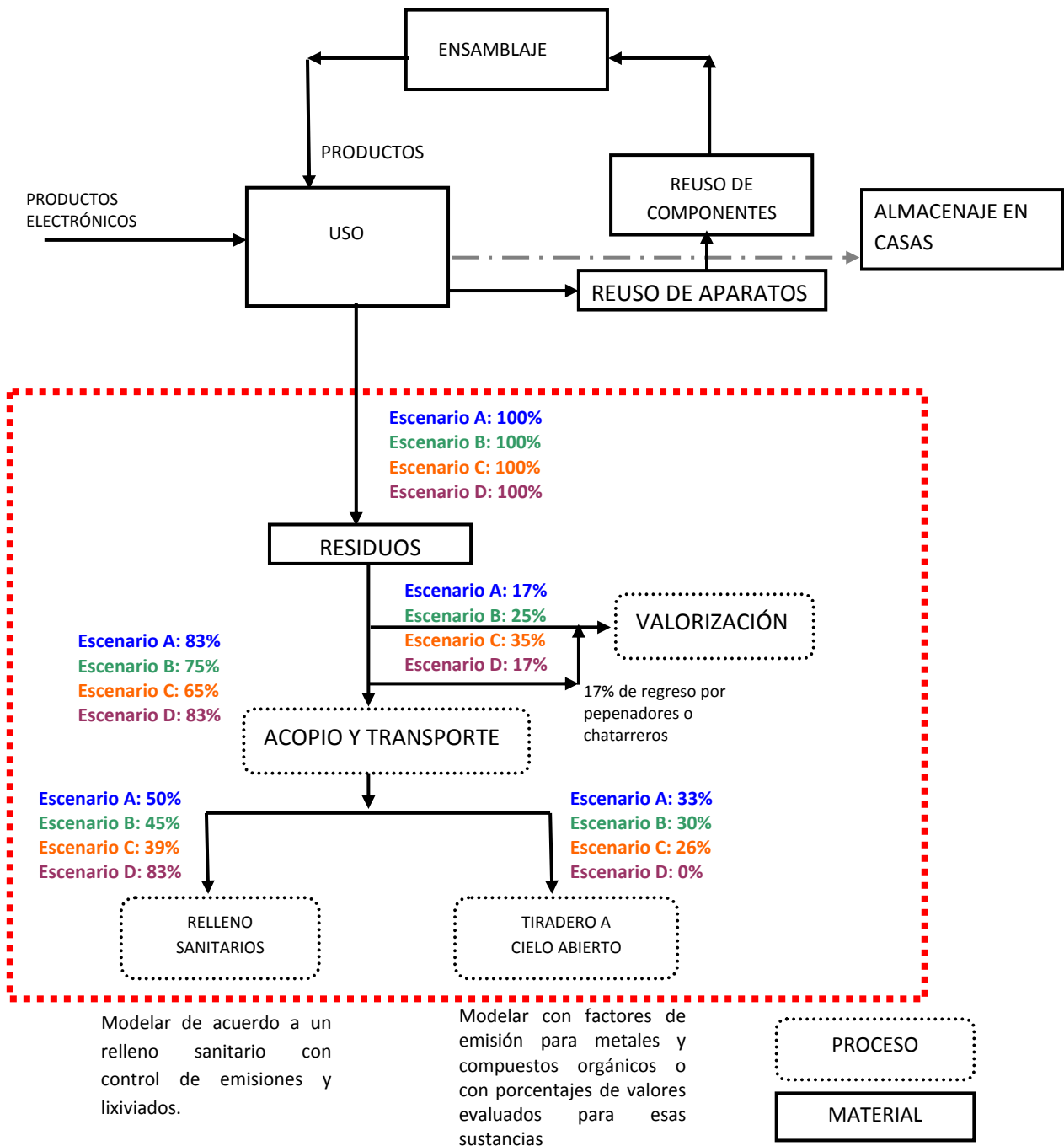


Figura 3. Escenario actual d el flujo de materiales de computadoras al final de su vida útil en México.

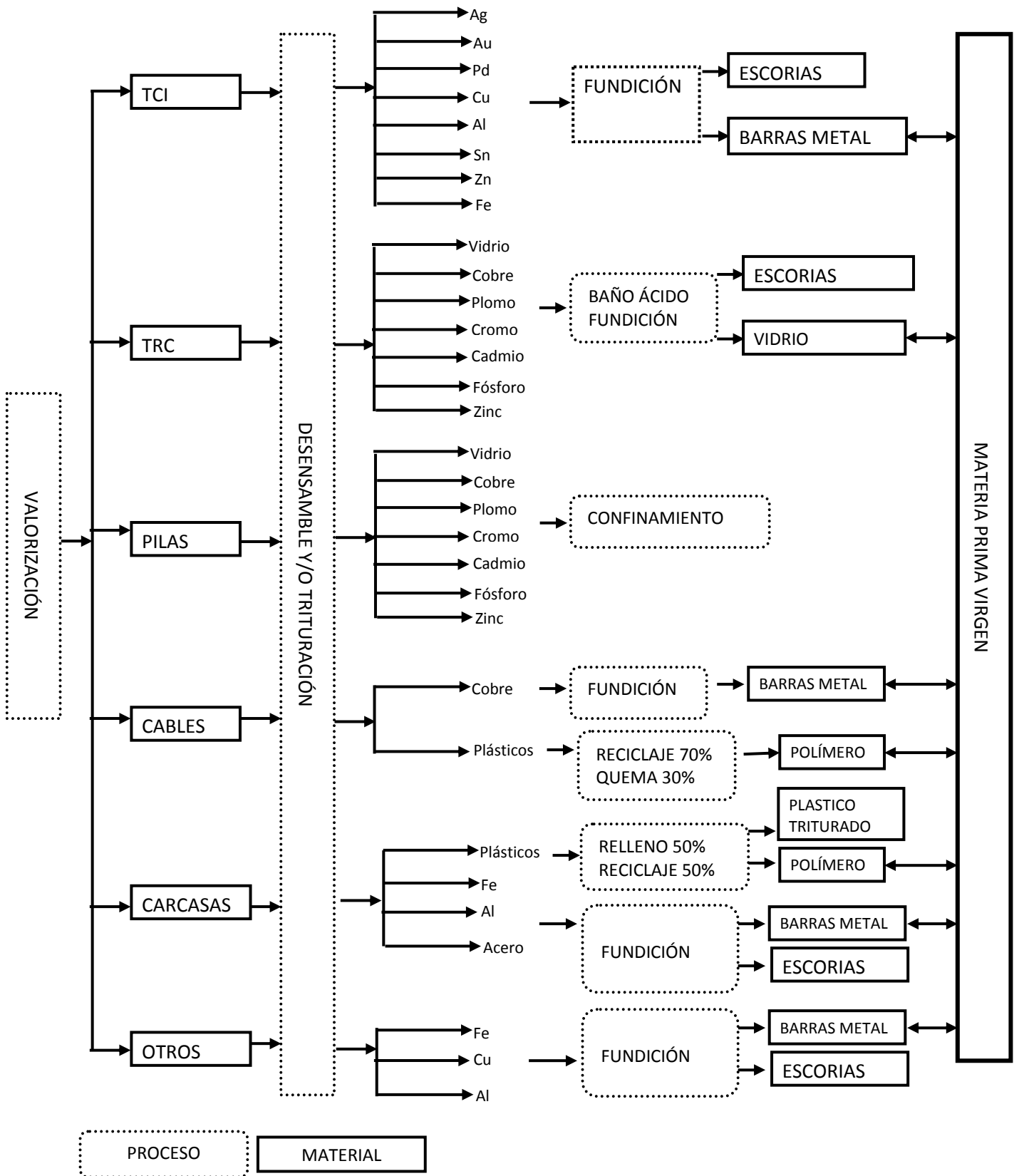


Figura 4. Flujo de materiales del reciclaje de computadoras.

## 8) Metodología de ACV:

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de computadoras al final de su vida útil en este proyecto se realizó conforme a lo estructurado en la norma ISO 14040 (Figura 5 y Figura 6).

Como ya se mencionó en secciones anteriores, se definieron objetivo y alcance del proyecto, así como un primer análisis del inventario, el cual aún tiene huecos de información. La primera aproximación del cálculo de impactos ambientales de los diferentes escenarios de gestión de computadoras al final de su vida útil se realizó utilizando el software Umberto 5.5 y la base de datos Ecoinvent (U55\_ECOINVENT\_LIB).

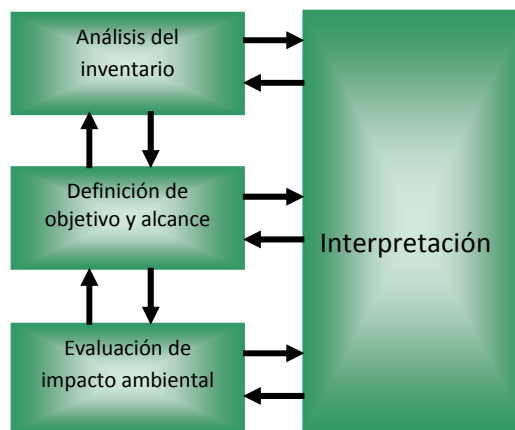


Figura 5. Estructura del Análisis de Ciclo de Vida (ISO 14040:2006).

Para la implementación en el programa de modelación “Umberto” se trasladó el esquema que se muestra en la Figura 3 y Figura 4. Para esto, se siguió un sistema de entradas y salidas como se muestra en la Figura 6.

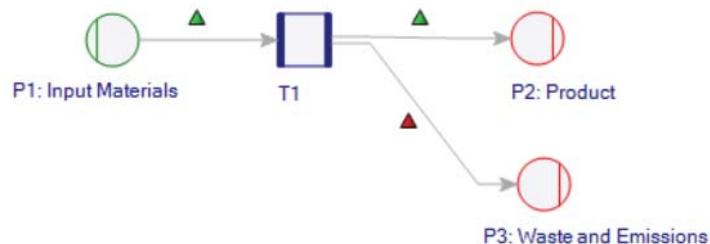


Figura 6. Ejemplo de sistema de entradas y salidas en Umberto 5.5.

El diagrama se construyó con modelos de procesos de Ecoinvent (U55\_ECOINVENT\_LIB) similares a aquellos descritos en el diagrama de flujo de materiales. Es necesario recalcar que se utilizaron en su mayoría procesos europeos, por lo que aún es necesario realizar ajustes para tener datos más cercanos a la situación de México.

## 9) Descripción de procesos y consideraciones

Ecoinvent cuenta con una serie de documentos técnicos que describen los procesos contenidos en sus bases de datos, en particular se consultó para la sección de reciclaje el documento “Disposal of Electric and Electronic Equipment” y para la sección de disposición final en rellenos sanitarios se consultó el documento “Life Cycle Inventories for Waste Treatment Services – Part II Landfills, Underground deposits, landfarming”, y para el transporte “Transport Services”. En los tres documentos se detalla cómo la mayoría de los inventarios están contruidos con datos suizos.

Al revisar las referencias sobre los inventarios, se concluye que las aproximaciones no son del todo ideales para el caso mexicano, sobre todo por los datos sobre la generación de energía y la disposición de plásticos de productos electrónicos, en este último caso el tratamiento final es térmico (incineración), mientras que en México llegan en su mayoría triturados a rellenos sanitarios o tiraderos no controlados. Sin embargo hay otros procesos, como el desensamble manual, tratamiento de tubos de rayos catódicos, transporte por medio de vehículos con combustibles fósiles, entre otros, que si cuentan con características similares a los nacionales.

A continuación se describen las unidades utilizadas de Ecoinvent, las cuales corresponden a procesos utilizados con cada corriente establecida dentro del ACV.

- Monitores
  - Disposal, treatment of CRT glass
  - Glass cullets, panel glass, for CRT glass production
  - Glass cullets, funnel glass, for CRT glass production
  - Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill
  - Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill
- Valorización
  - Dismantling, desktop computer, manually, at plant.
  - Manual dismantling in various fractions based on common transfer coefficients for this type of treatment. Data from own experiences in Switzerland.
- Tarjetas electrónicas (PWB)
  - Disposal, treatment of printed wiring boards.
  - Treatment PWB for further metallurgical treatment.
  - Electronics scrap, for precious metal recovery, at preparation.
  - Lead, secondary, from electronic and electric scrap recycling.
  - Secondary copper conversion.
  - Nickel, secondary, from electronic and electric scrap recycling.
  - Secondary copper refining.
  - Copper, secondary, from electronic and electric scrap recycling.
  - Precious metals from electric waste, in anode slime, at recycling.
  - Precious metal refining, secondary copper.
  - Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill.
  - Silver, secondary, at precious metal refinery.
  - Gold, secondary, at precious metal refinery
- Computadoras
  - Dismantling, laptop, manually, at plant.
  - Manual dismantling in various fractions based on common transfer coefficients for this type of treatment. Data from own experiences in Switzerland.

- Tiradero a cielo abierto
  - Disposal, hazardous waste, 0% water, to underground deposit
  - No emissions from waste material are inventoried. Operators claim absolute long-term safety after closure. Non-zero risk of mine flooding remains.
- Pilas
  - Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill
- Plásticos
  - Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill
- Cables
  - Mechanical separation of copper containing cables.
  - Copper, secondary, from cable treatment, at plant
  - Disposal, treatment of cables
- Dispositivos electrónicos (Shredder Fractions - desktop computer).
  - Shredding, electrical and electronic scrap.
  - Mechanical treatment, shredder fraction from manual dismantling.
  - Fe fraction, mechanical treatment, shredder mat. of manual dismantling.
  - Al fraction, mechanical treatment, shredder mat. of manual dismantling.
  - Cu fraction, mechanical treatment, shredder mat. of manual dismantling.
  - Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill.
- Relleno Sanitario
  - Sulfur dioxide [air/unspecified]
  - Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill
- Cobre
  - Copper from desktop computers.
  - Copper, secondary, at refinery.
  - Copper, direct from dismantling.
- Aluminio
  - Aluminium from desktop computers.
  - Aluminium scrap, old, at plant.
  - Aluminium, secondary, from old scrap, at plant.
- Acero
  - Steel from desktop computer.
  - Iron scrap, at plant.
  - Fe fraction from shredding.
  - Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant.

## Modelo de Análisis de Ciclo de Vida de Computadoras a final de vida en México

La modelación del ciclo de vida de computadoras a final de vida en México se baso en el análisis de las condiciones de manejo de residuos de computadoras en México, tomando como base los resultados obtenidos en los estudios previos del INECC<sup>2</sup>, entrevistas y foros con empresas de reciclaje y reacondicionamiento de equipos y la metodología propuesta por la normativa ISO 14040. Esta información se utilizó para realiza el estudio de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de computadoras a final de su vida útil en México por medio de la herramienta Umberto 5.5.

El modelo final propuesto para su modelación en Umberto se presenta en la figura 7, donde podemos ver los distintos procesos que se realizan en la disposición y reciclaje de residuos de computadoras en México. En los puntos 1) y 2) se encuentran los procesos de disposición final, donde se va el 40% de los residuos de computadora que se desechan, mientras que en los puntos del 3) al 13), se modeló el reciclaje de las computadoras a final de vida.

El punto 3) tiene el proceso de reciclaje de monitores, el cual se divide en tres corrientes: a) reciclaje de vidrio de pantallas (panel glass); 2) reciclaje de vidrio de la parte cónica del cinescopio (funnel glass); y por ultimo, el vidrio que se encuentra mezclado (glass cullets, mixed glass, etc.), el cual se modeló que se destinaba a rellenos sanitarios.

El punto 4) corresponde al proceso de desmantelamiento de distintos pequeños componentes del monitor que se disgregan en sus materiales, por lo que quedan cinco materiales (plástico, acero, cables, circuito y aluminio) que se incorporan dentro de los procesos correspondiente para cada uno de estos materiales en las cadenas productivas dentro del modelo, por ejemplo el aluminio se incorpora al proceso del punto 11), que es fundición de aluminio o los cables desmantelados del cinescopio va a un proceso específico de separación de plástico y cobre para su reprocesamiento en el punto 7).

El siguiente proceso correspondiente al punto 5) tiene como materiales de desecho a pequeños componentes se dirigen al proceso 13). El reciclado de baterías correspondiente al proceso 6) tiene como destino final los rellenos sanitarios en México, mientras el proceso 7) tiene como material a los cables, en este caso, los cables se separan en forma mecánica y posteriormente sufren un reprocesamiento de fundición para reaprovechamiento.

Los plásticos, de acuerdo a las investigaciones realizadas, se disponen en rellenos sanitarios y en ínfima medida de mandan a un reproceso, por lo que en el modelo se contempla esta corriente como material de desecho, en el punto 8).

---

2

“Diagnostico nacional sobre basura electrónica en México 2006”

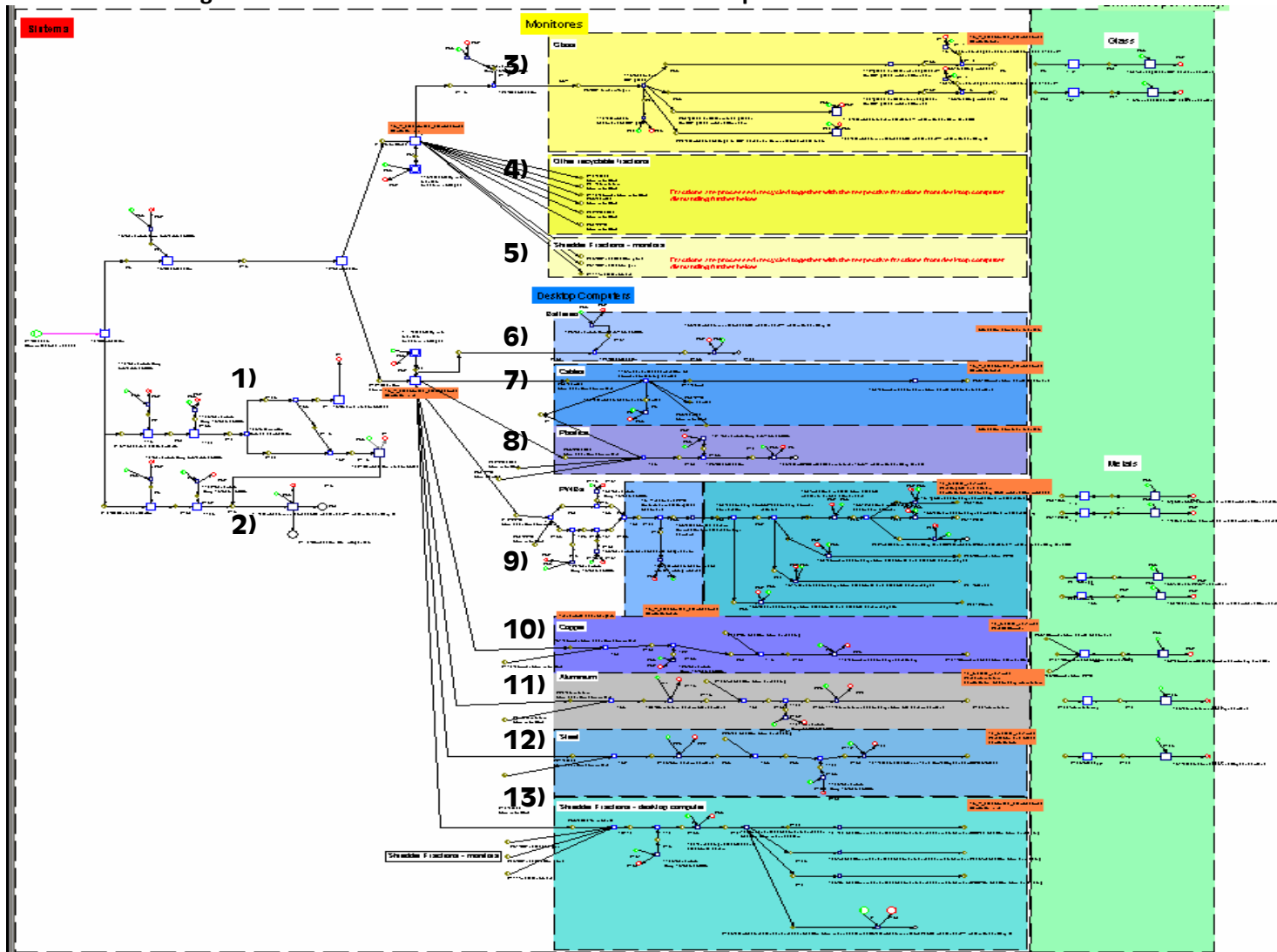
“Desarrollo de un programa modelo para el manejo de residuos electrónicos en México 2007”

“Diagnóstico sobre la generación de residuos Electrónicos al final de su vida útil en la región noreste de México 2008”

“Diagnóstico de la generación de residuos electrónicos en la frontera norte de México 2009”

“Diagnóstico de la generación de residuos electrónicos en la zona metropolitana del valle de México 2010”

Figura 7. Modelo de Análisis de Ciclo de Vida de Computadoras a final de vida en México





Posteriormente se encuentra el proceso de reciclaje de circuitos o tarjetas electrónicas, que es el numero 8), donde el proceso es muy parecido al utilizado en Europa y Asia, ya que la mayoría de estos materiales van hacia las plantas ubicadas en estos sitios debido a la falta de tecnología para estos componentes en México. Se tomaron en consideración las distancias entre nuestro país y esas regiones para modelar el efectos que tiene el mandarlos a sitios tan distantes con los costos energéticos e impactos ambientales correspondientes.

Los siguientes procesos modelados fueron el 9), 10) y 11) correspondientes a materiales de cobre aluminio y acero desmantelados de las computadoras desechadas, en general, lo que corresponde a este proceso es una fundición y la conformación de lingotes, que son comercializados en el país. Por último, en el punto 13) esta modelado los pequeños componentes de la computadoras que a su vez, son separados mecánicamente para obtener hierro, cobre y aluminio que posteriormente entran a un proceso de fundición en México para su reciclado y comercialización.

#### Procesos de análisis de ciclo de vida de computadoras a final de vida en México

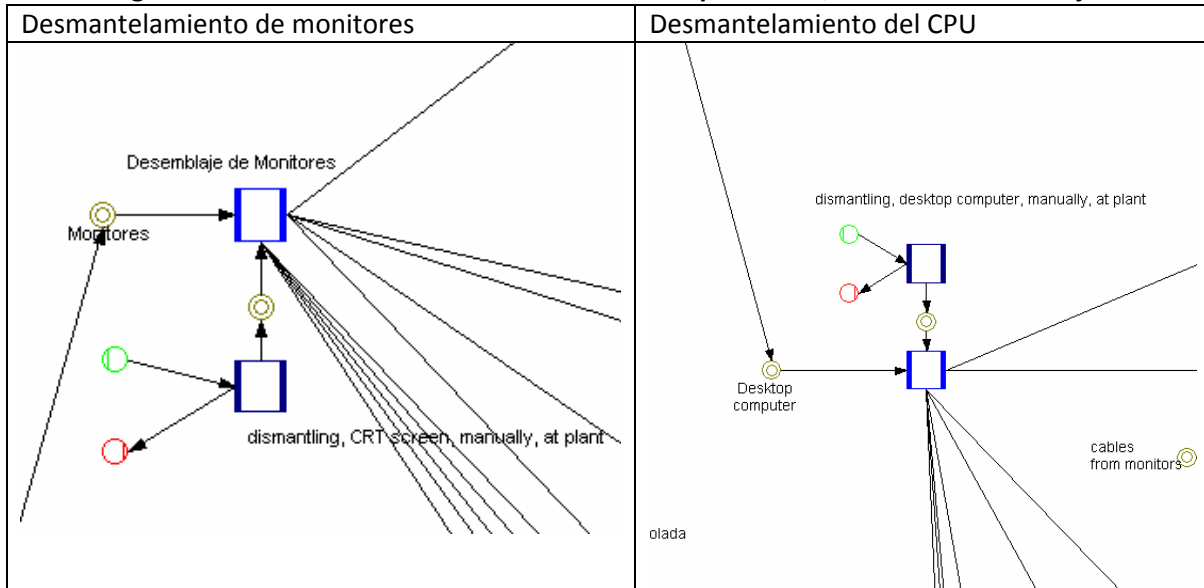
Pre-desmantelamiento de computadoras:

Antes de los procesos de reciclaje descritos en la sección anterior, se encuentran dos procesos mas, el desmantelamiento de monitores (dismantling, CRT screen, manually, at plant) y el desmantelamiento del CPU (dismantling, desktop computer, manually, at plant). Estos dos procesos son indispensables para disgregar los aparatos electrónicos (computadoras) en sus componentes para las siguientes etapas de reciclaje y transformación. A continuación se describen estos dos procesos dentro del cuadro 4.

**Cuadro 4. Descripción de procesos de desmantelamiento de computadoras.**

Proceso	Nombre en ecoinvent	Descripción
Desmantelamiento de monitores	Dismantling, CRT screen, manually, at plant	Este proceso representa todas las actividades de tratamiento de computadoras para monitores. Comprende todas las actividades de tratamiento para desensamble de monitores para el tratamiento manual y para el desmantelamiento manual antes del tratamiento mecánico, así como esta vinculado con el conjunto de datos acerca de los esfuerzos de tratamiento mecánico. Éste último contiene todas las entradas y salidas adicionales. Es decir, el consumo de energía, la infraestructura utilizada, así como las emisiones producidas. Los conjuntos de datos representan el tratamiento de monitores de computadoras, con base en información de la literatura, así como las experiencias propias de ecoinvent con las actividades de desmantelamiento en Suiza. Por lo tanto, los valores de incertidumbre se estiman en consecuencia de acuerdo a Frischknecht et al., 2007.
Desmantelamiento del CPU	Dismantling, desktop computer, manually, at plant	Este proceso contempla las actividades de tratamiento de computadoras en desuso (tratamiento manual / mecánico). Este proceso comprende todas las actividades de tratamiento, desensamble y desprendimiento de componentes en forma manual de residuos de computadora, así como, esta vinculado con los esfuerzos de tratamiento mecánico. Este último contiene todas las entradas y salidas adicionales, es decir, el consumo de energía, la infraestructura utilizada, así como las emisiones producidas. Los datos tienen como base información de literatura, así como experiencias propias con las actividades de desmantelamiento de Suiza. Por lo tanto, los valores de incertidumbre se calcula en consecuencia de acuerdo a Frischknecht et al., 2007. Para mayor información en ecoinvent: 18_V_Electronics_disposal.pdf.

**Figura 8. Procesos de desmantelamiento de computadoras, anterior a su reciclaje.**

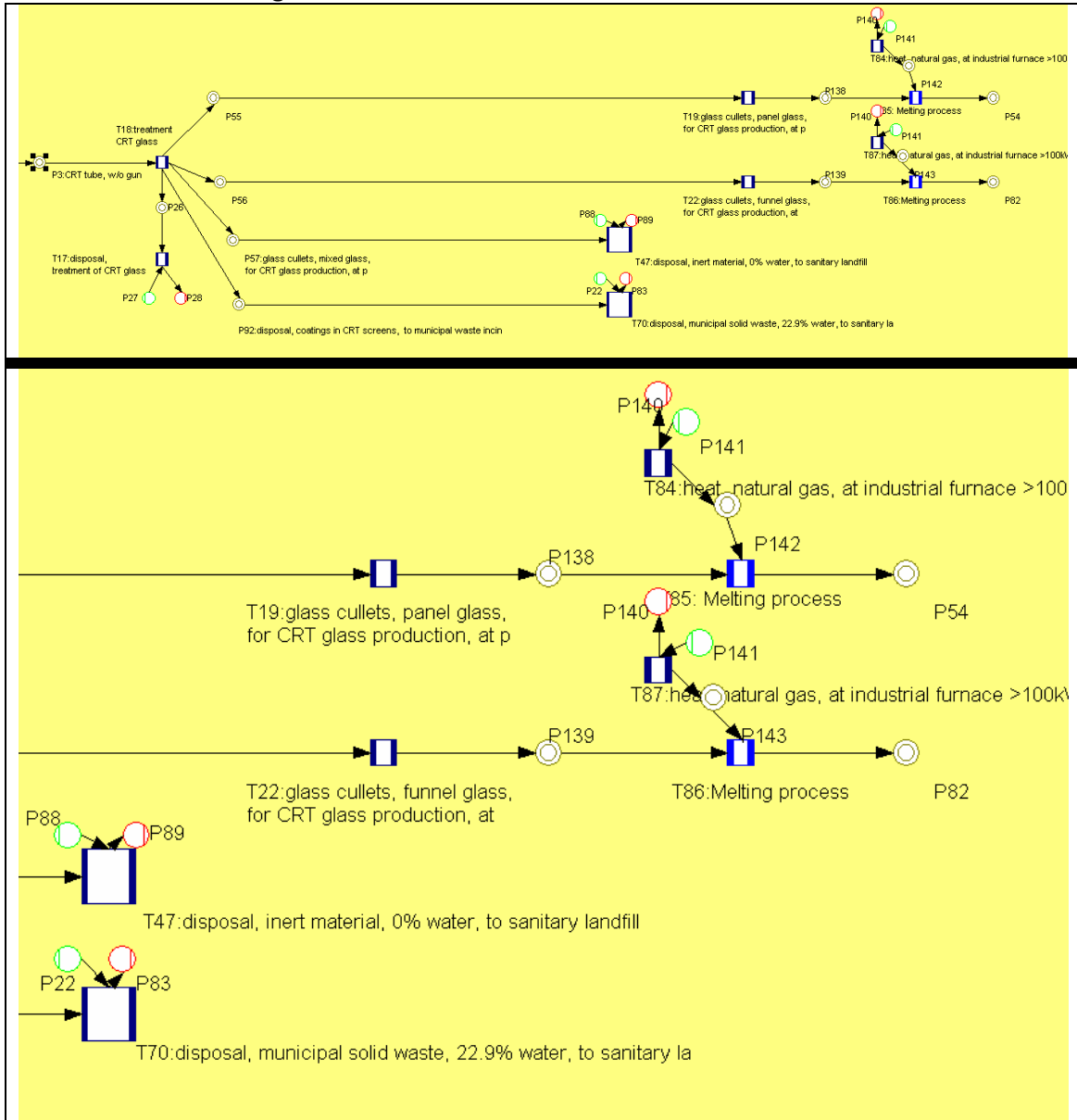


El siguiente paso es el reprocesamiento de los monitores, los cuales tienen tres materiales base, el vidrio proveniente de las pantallas (panel glass), el vidrio de la parte cónica del cinescopio (funnel glass), y el vidrio que se encuentra mezclado (glass cullets, mixed glass, etc.), además existe una cuarta corriente, que consiste en materiales de revestimiento y otros accesorios.

Los materiales de vidrio proveniente de pantallas se conducen a un proceso denominado “glass cullets, panel glass, for CRT glass production” donde son procesados hasta generar un nuevo vidrio para pantallas. Mientras que el vidrio proveniente de la parte trasera del monitor CRT, la parte cónica, se reprocesa en otro proceso denominado “glass cullets, funnel glass, for CRT glass production” donde se hace la fundición y se obtiene vidrio con cierto porcentaje de plomo y calidad que se utiliza como nuevo material para la producción de nuevos cinescopios. Existen dos corrientes de vidrio, que es vidrio mezclado el cual tiene como destino final los rellenos sanitarios (“disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill” y “disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary”).

Por último, esta corriente de residuos, se subdivide en otros materiales que son metales (“steel from monitors”, “aluminum from monitors”, “copper from monitors”, “cables from monitors”, “Plastics from monitors”, “PWB from monitors” y “metals, others”) y pequeños componentes (“CRT, deflection yoke” y “CRT, electron gun”), entre ellos una tarjeta electrónica, estos materiales son disgregados y reprocesados en otras áreas que se incorporan a los procesos nacionales o se conducen a las demás corrientes fuera del país (tarjetas electrónicas).

**Figura 9. Procesos de reciclado de vidrio en México.**



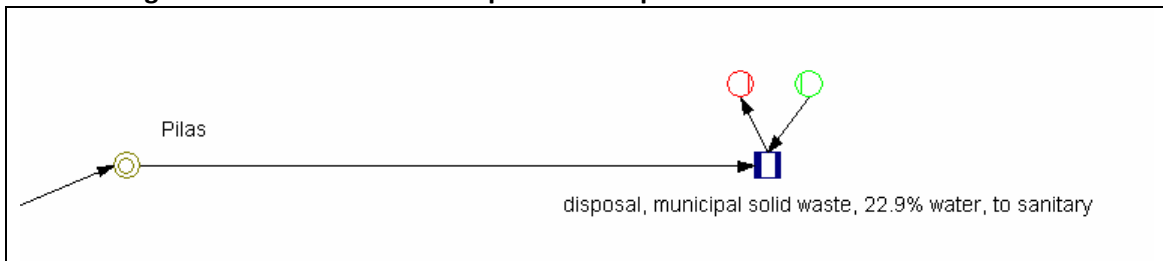
**Disposición final de los residuos de pilas en México**

Las pilas derivadas del desensamble de las computadoras, en México no tienen reciclaje masivo, por lo que se realizó una modelación de las pilas correspondientes de las computadoras, donde su destino final son los rellenos sanitarios, donde se escogió el modelo de “disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary” que se describe en el cuadro 5.

**Cuadro 5. Procesos de disposición final de los residuos de pilas en México.**

Proceso	Nombre en ecoinvent	Descripción
Disposición de pilas de computadoras en desuso	Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	<p>El multi-proceso de "residuos sólidos urbanos de la incineración municipal 'entrega los productos de co-' eliminación, los residuos sólidos urbanos, el 22,9% de agua, a la incineración municipal" y "electricidad a partir de residuos, en la planta de incineración de residuos municipales y del calor" de los residuos, en la planta de incineración de residuos municipales. Los factores de asignación también se aplican a las emisiones de calor residual: es decir, ni la electricidad ni el calor de los residuos RSU contiene ninguna emisión de calor de desecho. Los residuos contienen un 21% de papel, 8% Mezcla carbón, 15% plásticos, 3% de materiales laminados, 2% de embalaje laminado, por ejemplo, tetra bricks, 3% de materiales mixtos; 3% de vidrio, 2% de textiles; 8% minerales; 9% de productos naturales, y el 22% de material compostable, 2,65% metales inertes, 1% metales volátiles; baterías 0,0065%; 0,34% productos electrónicos ;. La composición de los residuos (en peso húmedo, ppm). El valor de calentamiento superior es 13,27 MJ / kg; menor valor calorífico 11,74 MJ / kg; H2O 228830; 257060 O, H 48250; 334230 C; S 1119; 3123,8 N, P 893,79; B 7,1933; Cl 6866,2; Br. 13,552; 56,358 F, I 0,0121, 0,714 Ag, As 0,62521; Ba 149,04; 11,748 Cd, Co 1,3453; Cr 315,21; Cu 1212,8; Hg 1,4424; 259,36 Mn, Mo 1,9551; Ni 107,38; 502,43 Pb, Sb 22,564; Se 0,31969; Sn 73,44; 9,2147 V, Zn 1311,2; Sé na, na Sc, Sr na, na Ti; na Ti; na W, Si 48510, 29996 Fe, Ca 14062, Al 12420; 2059,7 K, Mg 3377,7, 5143,9 Na ;</p> <p>La proporción de carbono en los residuos biogénicos es de 60,4%, con una parte de hierro en los residuos, es metálico / reciclables al 60%. Un kg de estos residuos produce 0,1888 kg de escoria y 1 kg de residuos, que son depositados en vertederos.</p>

**Figura 10. Destino final de las pilas de computadoras de desecho en México.**

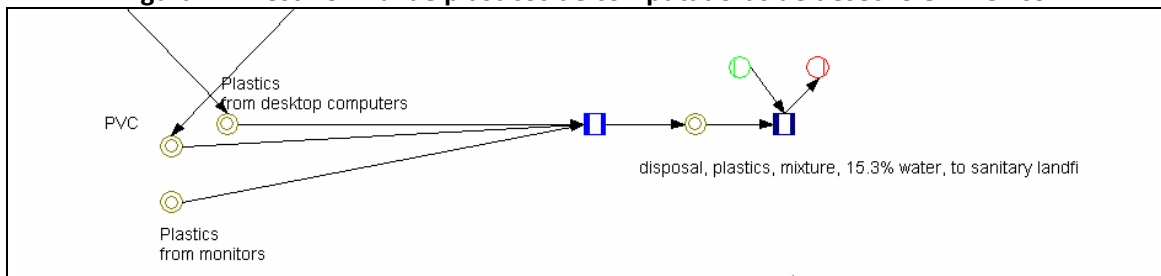


**Destino final de las pilas de computadoras de desecho en México**

La siguiente corriente de materiales que se modelo fue el reciclaje de cables donde se dan actividades de tratamiento adicionales hasta la fundición de cobre secundario. El conjunto de datos aquí desarrollado es un conjunto de datos multiproceso con los siguientes co-procesos: "proceso mecánico de disgregación de cobre del cable", "producción secundaria en la planta" / "eliminación materiales secundarios de los cables". Como unidad funcional de este multi- proceso es "1 kg de cable tratado". En el reciclaje de cable contiene dos pasos: (a) trituración, con el fin de cortar los cables en un tamaño adecuado para la subsiguiente paso (b) granulación y etapa de separación, resultando en una fracción de cobre para la producción secundaria Cu y una fracción de plástico. El cobre derivado de este proceso se manda a fundición secundaria a la corriente correspondiente.

El plástico de los cables y de todos los demás procesos, en general en México no se reprocesan, así que son mandados a un relleno sanitario para su disposición final. En el Modelo de Umberto se utilizó el relleno sanitario "disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill" de la base de datos deecoinvent, donde lo que se trataba era modelar el efecto e impactos de los plásticos en los rellenos sanitarios y no efectos o impactos por otro tipo de residuos, como metales o materia orgánica, Estos rellenos contienen residuos plásticos al 100% de los bienes de consumo electrónicos; composición de los residuos (en peso húmedo): valor de calentamiento superior 36,29 MJ/kg; menor valor calorífico 34,78 MJ / kg; H<sub>2</sub>O 11129; 41000 O, H 75000; C 821000; 300 S, N 13100, p 600; B na; Cl 6300; Br. 6800, F 130, Y, Na, Ag, As 10; Ba 137; Cd 115; 29, 478 Co, Cr 34, Cu 3194,1; Hg 1,4; Mn 4, Mo 2; Ni 703; Pb 127; Sb 4795,2; Se 1,9596; Sn 267; V 0,5; Zn 361; Sé 0,46656; Sc na; Sr 82,582; Ti 4187; Tl 0,37325; na W, Si 3547, Fe 1483; Ca 3177, Al 2020, K 233, na Mg, Na 128. Con valores de carbono biogénico de 0% y hierro de los residuos, de tipo metálico de 0%

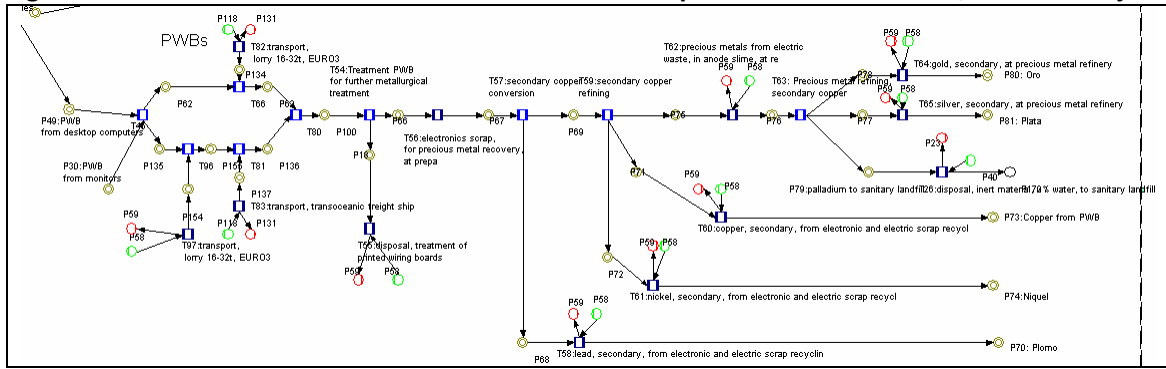
**Figura 11. Destino final de plásticos de computadoras de desecho en México.**



### Tratamiento de circuitos electrónicos de computadoras a fin de vida, en el extranjero

Este conjunto de procesos describe las actividades de tratamiento adicionales en el caso de las tarjetas de circuito impreso (PCB) con el fin de conseguir reciclar los distintos metales (preciosos) en, por ejemplo la fundición de cobre secundario. El conjunto de procesos tienen como productos de salida: "chatarra electrónica, metales preciosos, metales convencionales". Como unidad funcional de este multi- proceso se toma "1 kg de PCB tratado". Este multiproceso se divide en dos tipos, según el tipo de proceso de recuperación de material utilizado: 1) tratamiento térmico: Esto incluye pirolisis, deshidratación y metalurgia, y 2) el tratamiento no térmico: Esto incluye el demanufactura, trituración, separación y tratamiento químico. Los productos de los procesos no térmicos suelen someterse a más tratamientos químicos. El mayor problema asociado con el reciclaje de PCB se relaciona con la compleja estructura y composición del material. Aún de acuerdo con J. Li et al. (2004), un proceso de reciclado PCB típico está constituido por tres etapas de proceso diferentes: una etapa de pre-tratamiento que comprende por ejemplo, análisis de la composición, demanufactura de partes tóxicas y / o unidades reutilizables), una etapa de separación / posterior concentración y, finalmente, la tratamiento mecánico. Para pasar a la etapa de tratamiento químico y metalúrgico. Este proceso se asemeja a los establecidos tanto en Asia como en Europa y los establecidos en Canadá y Estados Unidos, con una primera demanufactura, trituración y separación, con una etapa electroquímica intermedia, separación de metales como acero níquel y cobre; y una etapa final con un procesos metalúrgico para la obtención de los metales preciosos (oro, plata, etc), lo que permite modelarlo con los procesos establecidos en Ecoinvent. Siendo que, la mayoría de las tarjetas de México, son exportadas y trasladadas a procesos en el extranjero.

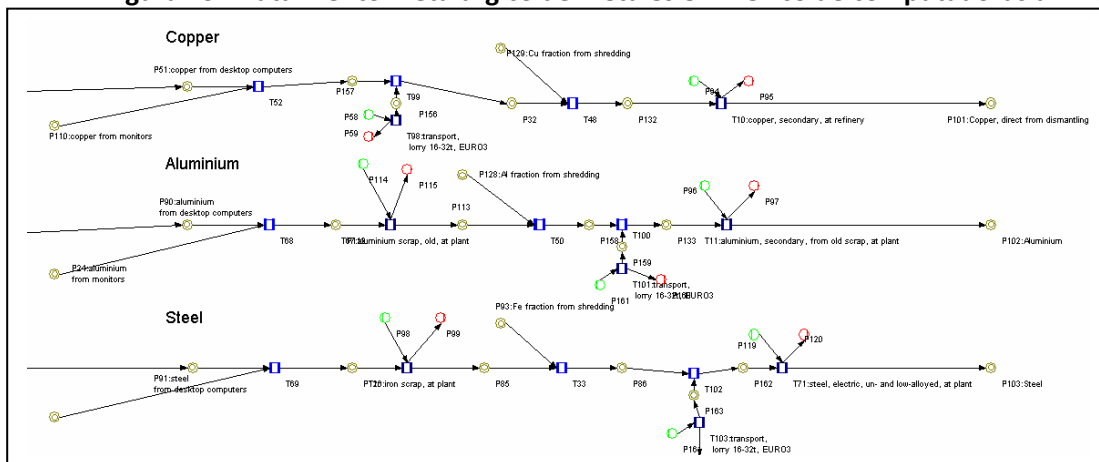
**Figura 12. Tratamiento de circuitos electrónicos de computadoras a fin de vida, en el extranjero.**



**Tratamiento metalúrgico de metales en México**

El metal se puede volver a utilizar en otro ciclo de vida del producto, a condición de que su concentración de reciclamiento sea rentable. El material es recuperado como metal secundario, mientras que el metal procedente directamente del mineral se conoce como metal primario. En los inventarios de ecoinvent estos dos tipos de procesos existen - metal primario y secundario – y se diferencian porque tienen una carga ecológica diferente. En este caso, una vez obtenido el metal del proceso secundario (separación, fundición), es comparado con la misma cantidad de material que se obtiene de proceso primario o mejor dicho, por extracción de los recursos naturales.

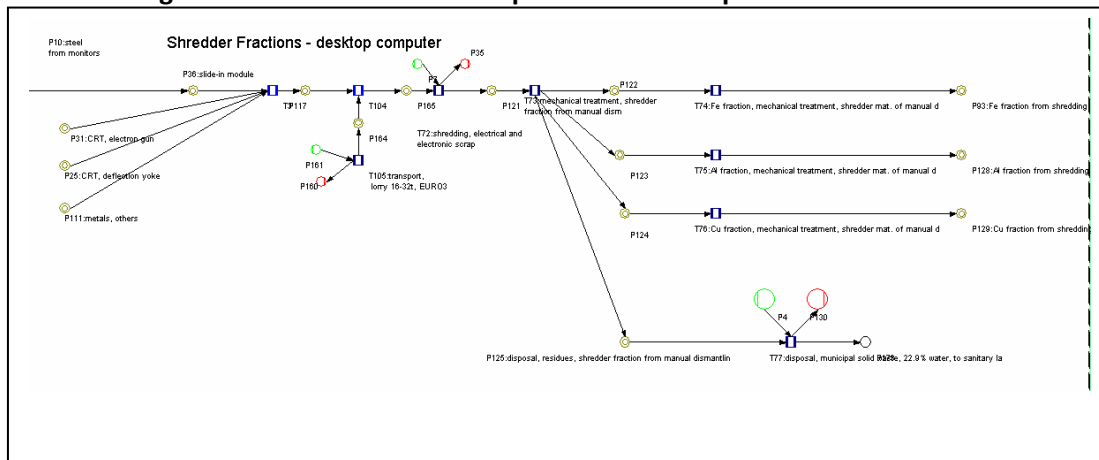
**Figura 13. Tratamiento metalúrgico de metales en México de computadoras a fin de vida.**



Los residuos metálicos nuevos son el excedente de material que surge durante la producción y fabricación de productos hasta el punto en que se venden al consumidor final. Es generalmente conocido por la calidad de la aleación y, a menudo se encuentra sin recubrir. Estos metales pueden fundirse de nuevo con poca preparación. Algunos de los nuevos desechos están cubierto con pinturas o plásticos, como en el caso de los residuos de productos electrónicos. Estos desechos tienen que “limpiados” generalmente se realiza un proceso de precalentamiento, en un horno o un transportador de malla en la que los revestimientos se volatilizan o se queman. Los desechos metálicos procedentes de productos electrónicos a final de su vida útil son recuperados después de que el producto ha sido utilizado por el consumidor, llegan los metales a la industria de proceso secundario a través de comerciantes de metales y empresas de gestión de residuos que los recuperan ejemplo empresas recicladoras de residuos electrónicos. Generalmente se hace una trituración, separación magnética, flotación por densidades y/o en instalaciones de corrientes parásitas sucesivamente. Los residuos metálicos

procedentes de la industria electrónica suelen reciclarse conjuntamente con dos tercios de material nuevo. Diferentes procesos de fusión se utilizan dependiendo de la composición de los residuos metálicos, la disponibilidad del proceso y la economía, entre otras variables. Metal fundido y tecnologías de filtración se utilizan para el control de calidad de las aleaciones resultantes.

**Figura 14. Tratamiento de componentes de computadoras a fin de vida.**



### Tratamiento de componentes de computadoras a fin de vida

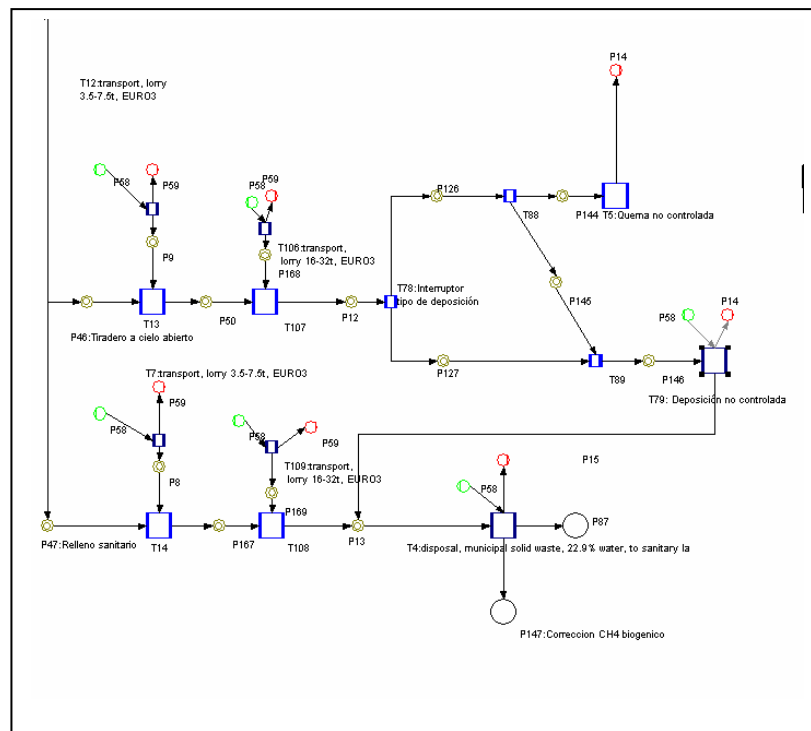
El módulo *Shedder Fractions – desktop computer* es el conjunto de procesos que representa las diversas maquinarias utilizadas para el tratamiento mecánico de residuos de aparatos electrónicos, que comprende dos grupos, la trituración y separación (incluye la separación magnética y la separación de corriente inducida). Para línea de tratamiento completo, se establece un conjunto de datos generales. Esta base de datos representa todos los mecanismos utilizados para el tratamiento mecánico de los dispositivos de aparatos electrónicos - es decir, la unidad inicial trituradora / QZ, las unidades de separación magnética, las unidades de separación de corriente de Foucault, así como las segunda unidad trituradora. Los procesos contenidos se basan en conjuntos de datos de los principales materiales utilizados, así como las etapas de procesamiento más importantes. No se incluyen las emisiones.

Todas las fracciones / partes de las dispositivos de aparatos electrónicos adecuados para el proceso de trituración generalmente se mezclan y ponen juntos en el proceso de tratamiento mecánico. Para este proceso de tratamiento mecánico, una variedad de diferentes tecnologías se utilizan actualmente - por ejemplo, en Suiza, algunas empresas utilizan grandes trituradoras tradicionales (trituradora de coches), mientras que otras compañías tienen procesos específicos, trituradoras más pequeñas que no son adecuados para los coches y otras empresas utilizan diferentes tecnologías como trituradoras de papel. Las trituradoras de flujo cruzado (un mecanismo accionado por cadena giratoria), como los que se utilizan de varias empresas de reciclaje de electrónicos en suiza. El procedimiento para la separación de las diferentes fracciones valiosas a partir del material triturado puede llegar a ser diferente de una compañía a la otra. Por ejemplo, la empresa de reciclaje IMMARM distingue entre tres diferentes etapas de separación que siguen a la trituración - una separación mecánica, una separación de metal-metal y una separación sintética (IMMARM Technology SA (2007)). De acuerdo con Morf y Taverna (2004) todas estas etapas de separación terminan en casi 10 diferentes fracciones de metal y hasta tres fracciones no metálicas (principalmente plásticos). Otra descripción de las actividades de trituración junto con sus técnicas de separación subsiguientes se puede encontrar en Huisman (2003), que muestra un proceso que termina en cuatro fracciones diferentes - tres fracciones de metal y una fracción de residuo.

## Disposición final de residuos electrónicos

Los materiales desechados de computadoras a final de vida y que en la actualidad no tienen un tratamiento y/o recuperación, aun cuando son materiales reciclables con valor para su reprocesamiento, son en casi todos los casos los plásticos. El 83% % de las computadoras a final de vida generadas no son procesadas y/o recicladas de alguna forma, solamente son conducidas por los sistemas de limpia municipal a rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto como forma de disposición final. Esta situación provoca que toneladas de metales, vidrio, compuestos orgánicos y plásticos sean, en el mejor de los casos inmovilizados y enterrados entre otros residuos, por que, además, no existen en México rellenos sanitarios especiales para residuos electrónicos por lo que terminan mezclados con otros residuos. Mientras que las computadoras desechadas en tiraderos a cielo abierto sufren además del ataque de los lixiviados generados por la apelación de distintos residuos, la quema de residuos de dos tipos, quema de residuos controlada para la disminución de volúmenes de residuos, lo que provoca una contaminación atmosférica y contaminación de suelos y mantos acuíferos.

Figura 15. Disposición de residuos de computadoras a fina de si vida útil.



En esta parte los procesos de disposición final de residuos electrónicos en vertederos o rellenos controlados o no controlados, se establecen en tierra ubicadas en sitios urbanos. En cuanto a la incineración de residuo, en este modelo lo que se realizo es la simulación de la quema de residuos procedentes de un proceso de incineración, como un proceso en paralelo y se estimo que el 20% de los residuos dispuestos en los tiraderos a cielo abierto son incinerados, estos inventarios intentan ser lo más residuos específicos como sea posible, es decir, la composición química de los residuos está establecida para conocer las emisiones del proceso. Se utilizan coeficientes de transferencia para determinar la cantidad emitida a partir de un proceso de eliminación, es decir, en general, las emisiones se deriva de la multiplicación de la composición de los residuos con los coeficientes de transferencia. En el caso de rellenos sanitarios (vertederos municipales de residuos sólidos no tratados) estos coeficientes de transferencia se modifican adicionalmente de acuerdo con la degradabilidad de los residuos. Para los desechos difícilmente degradables, las emisiones se retrasan a futuro.



**Cuadro 6. Proceso de disposición final de los residuos de computadoras a final de vida en México.**

Proceso	Nombre en ecoinvent	Descripción
Disposición de computadoras a final de vida	Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	<p>El multi-proceso de "residuos sólidos urbanos de la incineración municipal 'entrega los productos de co-' eliminación, los residuos sólidos urbanos, el 22,9% de agua, a la incineración municipal" y "electricidad a partir de residuos, en la planta de incineración de residuos municipales y del calor" de los residuos, en la planta de incineración de residuos municipales. Los factores de asignación también se aplican a las emisiones de calor residual: es decir, ni la electricidad ni el calor de los residuos RSU contiene ninguna emisión de calor de desecho. Los residuos contienen un 21% de papel, 8% Mezcla carbón, 15% plásticos, 3% de materiales laminados, 2% de embalaje laminado, por ejemplo, multicapa (tetra bricks), 3% de materiales mixtos; 3% de vidrio, 2% de textiles; 8% minerales; 9% de productos naturales, y el 22% de material compostable, 2,65% metales inertes, 1% metales volátiles; baterías 0,0065%; 0,34% productos electrónicos ;. La composición de los residuos (en peso húmedo, ppm). El valor de calentamiento superior es 13,27 MJ / kg; menor valor calorífico 11,74 MJ / kg; H<sub>2</sub>O 228830; 257060 O, H 48250; 334230 C; S 1119; 3123,8 N, P 893,79; B 7,1933; Cl 6866,2; Br. 13,552; 56,358 F, I 0,0121, 0,714 Ag, As 0,62521; Ba 149,04; 11,748 Cd, Co 1,3453; Cr 315,21; Cu 1212,8; Hg 1,4424; 259,36 Mn, Mo 1,9551; Ni 107,38; 502,43 Pb, Sb 22,564; Se 0,31969; Sn 73,44; 9,2147 V, Zn 1311,2; Sé na, na Sc, Sr na, na Ti; na Tl; na W, Si 48510, 29996 Fe, Ca 14062, Al 12420; 2059,7 K, Mg 3377,7, 5143,9 Na ;</p> <p>La proporción de carbono en los residuos biogénicos es de 60,4%, con una parte de hierro en los residuos, es metálico / reciclables al 60%. Un kg de estos residuos produce 0,1888 kg de escoria y 1 kg de residuos, que son depositados en vertederos.</p>

También para rellenos sanitarios se producen procesos situados aguas abajo: se supone que el lixiviado de los primeros 100 años después de la deposición y purificación en planta de tratamiento de aguas residuales municipales. Este último proceso produce a su vez un tratamiento de lodos que se incineran. Este último paso produce residuos de la incineración que son vertidos en los compartimentos de escoria y los vertederos de materiales residuales. Todos estos procesos de acabado adicionales se atienden en el inventario de disposición final en rellenos sanitario, sobre la base de los modelos de inventario de tratamiento de aguas residuales, la incineración de residuos municipales y los vertederos. El modelo actual atiende sólo los elementos químicos como emisiones directas. Para algunos elementos se establece un perfil de especiación (por ejemplo, amoníaco, nitrato, nitrito, etc para las emisiones de nitrógeno al agua). El destino de los compuestos químicos (por ejemplo, el hexaclorobenceno) no se basa en estos inventarios.

#### **Transporte de materiales para procesamiento de computadoras a final de su vida útil**

El proceso de reciclaje se inicia con el transporte de computadoras a final de vida desde el lugar de generación, desde casas-habitación, oficinas y empresas hasta las instalaciones de recicladoras y/o programas de acopio y reciclaje municipales y estatales. También las computadoras a final de vida son transportados por los sistemas de limpia a lugares de transferencia y de ahí, son enviados a vehículos de mayor tonelaje para ser transportados hasta sitios de disposición final, donde, en el mejor de los casos, este tipo de residuos son desmantelados y parte de sus componentes son redirigidos hacia empresas y procesos de reciclaje (el 7 % de los residuos reciclados provienen de sitios de disposición final y sistemas de limpia, según los estudios del INECC, 2010).

En estas instalaciones de reciclaje, las computadoras llegan al área de recepción de equipos. Luego transportan al área de demanufactura, donde son clasificados y desmantelados, disgregándolos en los distintos materiales que conforman a las computadoras, los grandes grupos que se derivan de este desmantelamiento son vidrio, metales, plásticos, pequeños componentes cables (mezcla de metales principalmente cobre y plásticos, PBC) y son, a su vez, transportados fuera de las plantas recicladoras para su fundición, extrusión, transformación y demás procesos para su reincernion a los procesos productivos, estos materiales, sus procesos y transportes son modelados en este análisis de ciclo de vida.

Las computadoras a final de vida son transportadas directamente a relleno sanitario y/o tiraderos a cielo abierto, cuando éste se encuentra a una distancia que no excede los diez kilómetros, desde los límites del municipio de procedencia. Caso contrario, se transportan a una planta de transferencia de residuos sólidos urbanos para luego transferirlos a un vehículo mayor y posterior disposición final. Cuando no existan condiciones que permitan cumplir con esta disposición, los residuos de computadoras mezclados con los residuos sólidos urbanos podrán transportarse directamente a los rellenos sanitarios y tiraderos.

Los residuos sólidos junto con las computadoras en desuso son transferidos temporalmente de camiones o contenedores de recolección de menor capacidad (camiones pequeños o camionetas compactas) a transportes de mayor capacidad (camión madrina), para luego continuar con su transporte hacia su disposición final. Bajo ninguna circunstancia se permite la descarga temporal en las instalaciones de las Plantas de Transferencia que no sean los vehículos de transferencia.

Las actividades de reciclaje y/o reaprovechamiento, actualmente son poco significativas y, por lo general, se realizan de manera informal, lo cual requiere también una intervención para su formalización, tecnificación e incorporación práctica en los sistemas de gestión integral de residuos sólidos municipales; de tal manera que, se disminuyan los volúmenes a ser dispuestos en rellenos sanitarios.

**Cuadro 7. Transporte a los distintos procesos en la disposición y reciclaje de computadoras a final de vida.**

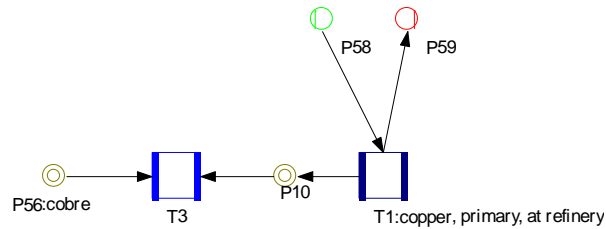
Trayecto	Descripción	Tipo de transporte	Distancia promedio (km)
Recolección	Se refiere a las distancias dentro de las comunidades /poblaciones /ciudades donde sean transportados las computadoras hasta algún sitio de recolección y acumulación	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3	200
Transporte de recolección primaria			
Transporte de recolección secundaria	Transporte de los residuos a los sitios de tratamiento después de acopiarse y acumularse los volúmenes suficientes.	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3	200
Disposición Final	Los residuos, tanto para rellenos sanitarios como para tiraderos son recolectados y trasportados por vehículos locales hasta centros de transferencia	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3	200
Transporte de recolección primaria			
Transporte de recolección secundaria	Posteriormente los residuos son mandado en vehículos mas grandes hasta los puntos de disposición final	Transport, lorry 16-32t, EURO3 [RER]	200
Monitores	La mayoría de los monitores que se reciclan en México son transportados hasta la única empresa autorizada y en funcionamiento, que además tiene la tecnología para el reciclaje de monitores de tal manera que producen uno nuevo. Esta empresa se encuentra ubicada en Mexicali, baja California, México.	Transport, lorry 16-32t, EURO3 [RER]	2,000
Transporte de Monitores			

**Cuadro 8. Transporte a los distintos procesos en la disposición y reciclaje de computadoras a final de vida.**

Proceso	Descripción	Tipo de vehiculo	km
Reciclaje de PWB	Se estimó un transporte nacional en camiones medianos que trasladan las tarjetas a los puertos marítimos	Transport, lorry 16-32t, EURO3 [RER]	800
		Transport, transoceanic freight ship [OCE]	1,200
Transporte de tarjetas electrónicas al extranjero	Se estima un viaje en barco trasatlántico en una distancia desde México hasta alguna región de Asia (11,598.13 km) como China o India, principales receptoras de equipos electrónicos, entre otros materiales de desecho  Por último se planteó la necesidad de transporte de las tarjetas electrónicas de los puertos en Asia hasta los lugares de manejo y reciclaje. Por ejemplo la distancia de Beijing a la ciudad de Guiyu (ciudad recicladora de desechos electrónicos) es de 1,844 km	Transport, lorry 16-32t, EURO3 [RER]	800
Metales  Transporte de componentes metálicos a reciclaje nacional	Las partes metálicas de cobre, aluminio y acero son acumuladas por las propias empresas de desensamble de computadoras a final de vida, y después mandadas a las ciudades al noroeste de país donde existe una importante industria metalúrgica.	Transport, lorry 16-32t, EURO3 [RER]	1.500
Plásticos  Transporte de recolección primaria  Transporte a disposición final.	Se refiere a las distancias dentro de las comunidades /poblaciones /ciudades donde se transportan los plásticos de computadoras a final de vida hasta algún sitio de acopio y acumulación  Transporte de los residuos plásticos a los sitios de disposición final después de acopiarse y acumularse los volúmenes suficientes.	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3  Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO3	200  200

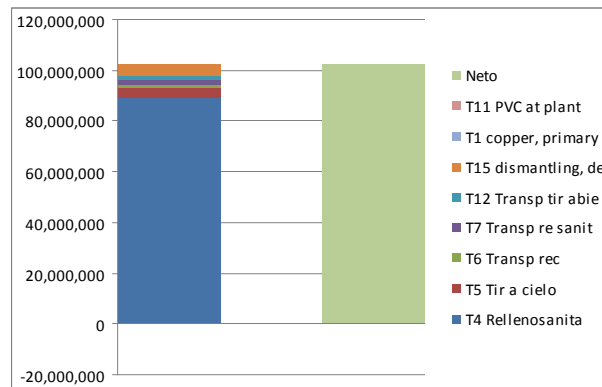
## 10) Cálculo de beneficios

Como una segunda fase del proyecto, se calcularon los beneficios por la obtención de materiales secundarios, en comparación con la obtención de materias primas vírgenes para mostrar los beneficios de esta industria. En la siguiente figura se puede ver el ejemplo del cobre, en donde se tiene un módulo comparativo entre la corriente de salida del proceso de reciclaje, y aquel que representa un proceso de obtención del metal a partir de un proceso minero.



**Figura 16. Módulo de cálculo de beneficios ambientales por obtención de materiales reciclados.**

Se marcan con las flechas los materiales recuperados de los residuos de computadoras, entre ellos destacan el cobre, aluminio, hierro, oro, plata, entre otros metales. También se considera el vidrio en el análisis comparativo. Como primera aproximación se utilizaron procesos de obtención de materias vírgenes de la base de datos de Ecoinvent. En la Figura 17 se muestra un ejemplo de cálculo de los beneficios sobre el indicador de Potencial de Cambio Climático (GWP20a) en la obtención de cobre y otros metales de segundo uso a partir de cables. Tarjetas electrónicas, y otros componentes electrónicos. Se observa que el beneficio es muy pequeño a comparación de las emisiones en el proceso de transporte y reciclaje, sin embargo los datos del sistema se muestran en las siguientes secciones del documento.



**Figura 17. Comparación de beneficios sobre GWP20a de diferentes procesos.**

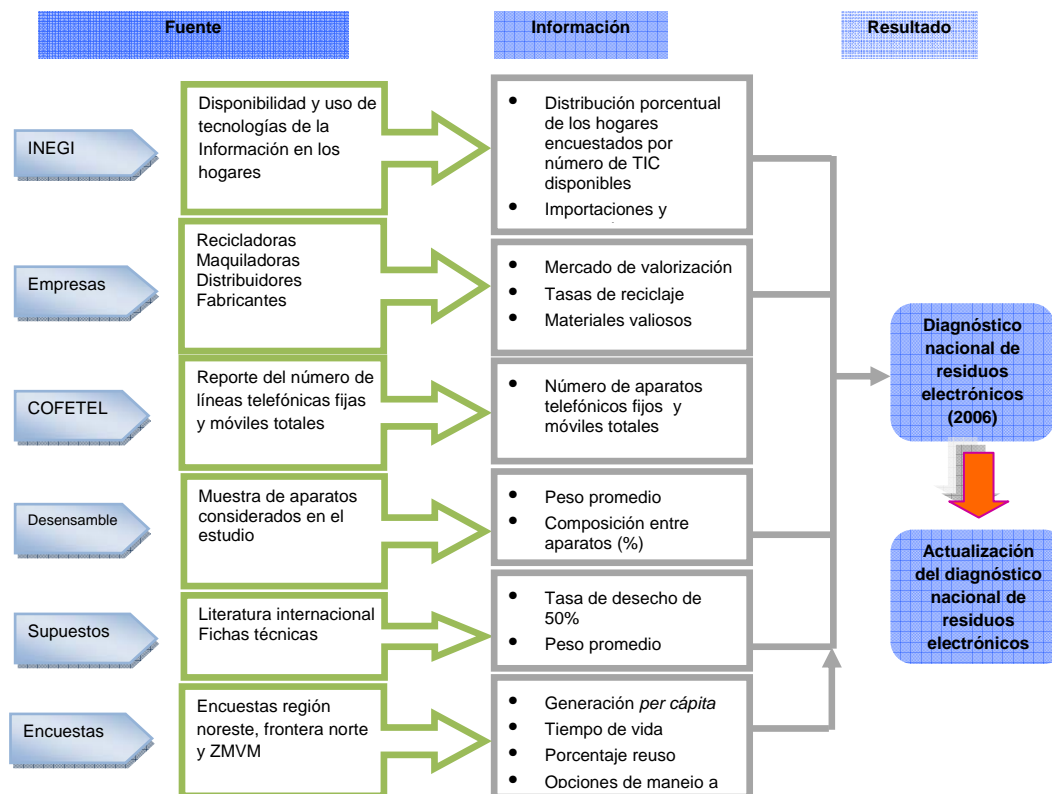
## 11) Fuentes y calidad de datos

Las cifras utilizadas en el flujo de materiales en este proyecto se obtuvieron del Diagnóstico Nacional de Residuos Electrónicos en México, elaborado por el Instituto Nacional de Ecología y el cual se ha ido actualizando y validando a través de estudios regionales desde 2006 y hasta 2011.

La elaboración de inventarios de generación de residuos electrónicos consistió en el análisis de información como reportes oficiales, proyecciones de países con comportamientos parecidos, encuestas, etc. De la misma forma, se combinaron varios de estos datos para realizar los inventarios de generación dependiendo de la disponibilidad en la información. A continuación se enlistan algunas de los principales métodos utilizados en México:

- a) Reportes oficiales de generadores (realizando consideraciones previas sobre tamaño del sistema a analizar, tamaño de muestra, importaciones, exportaciones, datos disponibles en la Cédula de Operación Anual, manifiestos, tiempo de reporte, fallas al reportar).
- b) Reportes de empresas tratadoras (consideraciones: no reciben todo lo que se genera, no reportan todo lo que reciben, análogo al caso de los residuos sólidos urbanos y otros residuos peligrosos).
- c) Estimaciones con base a indicadores económicos y en correspondencia con reportes de otros países (número de empleados, mismos procesos = mismos residuos).
- d) Proyecciones a todo el país con base en información obtenida para zonas o áreas geográficas.
- e) Cálculos basados en información sobre tecnologías existentes.
- f) Cálculos basados en el consumo (uso) de los productos antes de su desecho.
- g) Cálculos basados en el balance de materiales en el país:
- h)  $\text{Producción} + \text{Importación} - \text{Exportación} = \text{Acumulación o Residuo potencial}$
- i) Encuestas sobre uso, consumo y desecho de productos electrónicos a la población.

En la Figura 18 se puede observar las diferentes fuentes de información utilizadas para obtener la cantidad de residuos electrónicos generados en el país. De estos estudios también se validaron el peso promedio, el tiempo de vida útil, así como el destino de dichos residuos.



**Figura 18 – Diagrama de elaboración del inventario nacional de residuos electrónicos.**

Además de la información de flujo de materiales, se utilizaron procesos de la base de datos Ecoinvent (Life Cycle Inventory (LCI)), tanto de desensamblable, transporte, reciclaje, disposición final como los de obtención de materias primas vírgenes. Estos procesos están contruidos con datos internacionales de institutos de investigación con expertos en el tema.

## 12) Grupo objetivo

El presente documento busca apoyar principalmente a la Subsecretaría de Fomento y Normatividad de SEMARNAT en la toma de decisiones relativas al manejo adecuado de los residuos electrónicos en el país. Contribuirá además a darles información a los tomadores de decisiones para alimentar los instrumentos de fomento y la normatividad ambiental y así favorecer el uso más eficiente de recursos naturales y reducir los impactos en ecosistemas y la población derivados de la contaminación a la atmósfera, al agua y al suelo por el manejo de residuos de manejo especial y peligrosos que se generen de las actividades de reciclaje y disposición final de residuos electrónicos.

## 13) Evaluación de impactos ambientales

### Categorías de impacto

La evaluación de impacto ambiental en un ACV describe los efectos que conllevan un sistema o producto sobre la salud humana y el medio ambiente. Los indicadores de impacto se utilizan para medir el potencial de que se produzca un efecto en el medio ambiente o en la salud humana, pero no es necesariamente la cuantificación de los impactos reales. Las categorías de impacto van desde un nivel global, como contribución al calentamiento global y el agotamiento de la capa de ozono, hasta los impactos locales, tales como la formación de smog fotoquímico y lluvia ácida. Las categorías de impacto más utilizadas en este tipo de estudios son:

calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, acidificación, contaminación fotoquímica, eutrofización, toxicidad humana, ecotoxicidad, y agotamiento de los recursos.

Estudios previos sobre el ciclo de vida de electrónicos como computadoras y celulares identifican el consumo energético y potencial de calentamiento global como la categoría de mayor impacto. Sin embargo al enfocarse solamente en el fin de vida de dichos aparatos, se consideran adicionalmente el potencial de agotamiento abiótico, de acidificación y la emisión de sustancias químicas que puedan representar un riesgo para el ser humano y al ambiente por su toxicidad. Dicho impacto puede incrementarse si el aparato es manejado de manera inadecuada en rellenos sanitarios o a través de la quema no controlada para la extracción de ciertos componentes. Para una descripción más detallada de cada categoría seleccionada, ver el Cuadro 9.

**Cuadro 9. Categorías de impacto seleccionadas para el ACV de computadoras al término de su vida útil.**

NOMBRE	UNIDAD DE MEDIDA
Potencial de agotamiento abiótico (ADP)	Extracción de minerales y combustibles fósiles. (Kg Sb eq)
Potencial de calentamiento global a 100 años (GWP 100)	Emisiones de gases de efecto invernadero al aire, CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, y CFC. (Kg CO <sub>2</sub> eq)
Potencial de acidificación (AP)	Emisión de sustancias acidificantes al aire, NO <sub>x</sub> , NH <sub>3</sub> y SO <sub>2</sub> . (kg SO <sub>2</sub> eq)
Ecotoxicidad (Ecotox)	Emisión de compuestos tipo Hg, Cd, Pb, etc. , (Kg 1, 4-DCB-eq)
Toxicidad humana (Tox Human)	Emisión de compuestos tipo Dioxinas o PBDE. (Kg 1, 4-DCB-eq)
Factor de caracterización del agotamiento de ozono (ODP)	Emisión de cloruros y bromuros (NO <sub>x</sub> -eq)
Potencial de eutrofización (Eutrofic)	Emisión de nitrógeno en los ambientes continentales y el fósforo en marinos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )
Oxidantes foto-químicos, PCP LowNO <sub>x</sub>	Emisión de NO <sub>x</sub> y VOC. (Kg Etileno_eq)
Sustancias químicas como retardantes de flama, mercurio, plomo, otros y ver que esta pasando con ellos, cuales son las emisiones, en función de las sustancias seleccionadas	Comparación propia de las emisiones encontradas y los posibles efectos que pueda provocar la exposición a estas sustancias.



## 14) Resultados

**Cambio climático.** La tierra absorbe la radiación del sol. Esta energía es redistribuida por la atmósfera y los océanos y retornada en forma de radiación de infrarrojo térmico. Parte de esta radiación es absorbida por los gases existentes en la atmósfera provocando el calentamiento del planeta, a este fenómeno se denomina efecto invernadero. Estos gases son principalmente el vapor de agua y el CO<sub>2</sub> y otros gases como CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, y CFC. La acción humana ha provocado un incremento de las emisiones de estos gases lo que puede llevar a un sobrecalentamiento del planeta y por lo tanto a una alteración de las condiciones ambientales en todos los ecosistemas del mundo. Esta categoría de impacto afecta la salud humana, ambiente natural y ambiente urbano/agrícola. El indicador que sirve para evaluar este impacto se llama CCI, (Climate Change Indicator). El potencial de calentamiento global [Global Warming Potencial, GWP] dependerá del tiempo de integración. La elección de dicho período vendrá determinada por el tipo de efectos que se pretendan analizar. Para este estudio se quieren saber los efectos a largo plazo, por lo que se evaluó en un lapso de 100 años con las unidades de CO<sub>2</sub>-equivalentes [kg].

En la figura 19 se pueden apreciar los distintos escenarios planteados y los impactos correspondientes a cada proceso, desde la recolección de computadoras a final de vida, hasta su reprocesamiento en el país y en el extranjero, ubicados en cada una de las barras ubicadas en cada escenario. Donde podemos observar que, en general, existen mayores beneficios por el aumento de las actividades de reciclaje derivados de la disminución de procesos primarios (extracción y elaboración de materiales vírgenes directos de los recursos naturales).

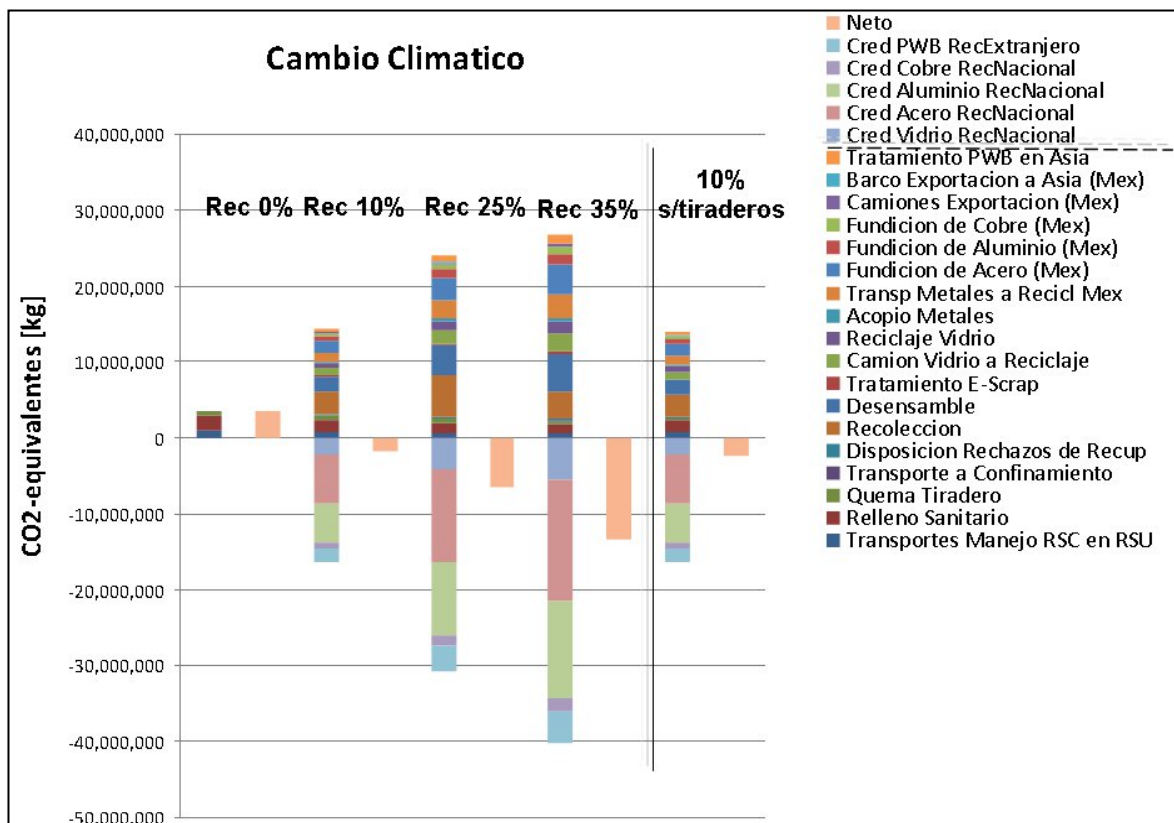
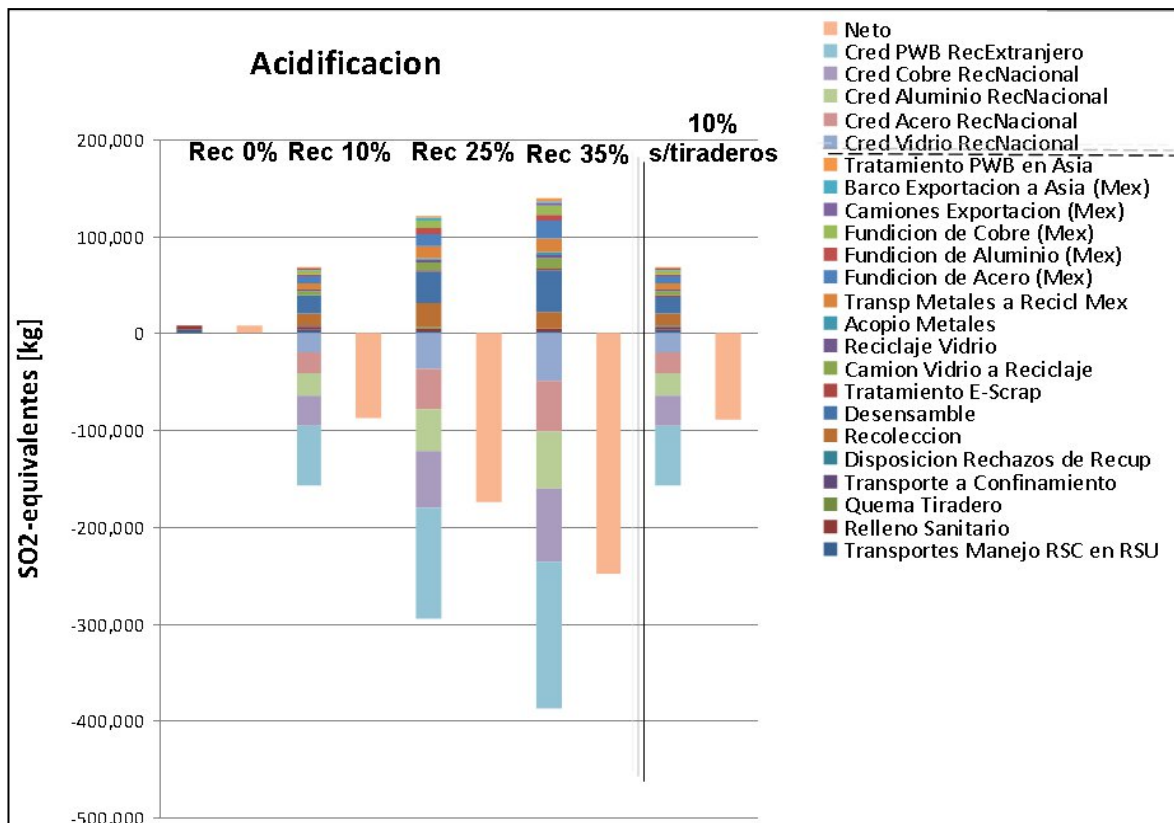


Figura 19. Impacto en el cambio climático derivados de los procesos en el ciclo de vida de computadoras a final de vida.

El escenario sin ningún tipo de reciclaje tiene un porcentaje de beneficio prácticamente cero con un valor de  $2.7 \times 10^{-22}$ , lo que demuestra que el reciclaje está conllevando beneficios, desde el porcentaje de reciclaje que se está realizando, ya que, de lo contrario estamos generando solo desechos que tienen repercusiones al ambiente y la salud humana, en el escenario actual de manejo de computadoras a final de vida se puede observar que el beneficio por las prácticas de reciclaje en comparación con el uso de materias primas vírgenes es de 88.9%, mientras que al aumentar el reciclaje al 25%, el beneficio es de 78.6%, esto tiene una ligera disminución hasta 66.5% en el supuesto de un reciclaje a 35%, esto pareciera que es en detrimento pero no se está valorando que entre más reciclaje, también hay mayores ganancias para la sociedad, al menos en dos sentidos, disminución de la contaminación por el uso de materias primas vírgenes y una contribución a la economía mexicana por el uso de materiales reciclables que entran a los mercados nacionales o en su caso pudiesen exportarse. El escenario de prohibición efectiva del uso de tiraderos a cielo confirma esta teoría, ya que la sola supresión de estos flujos aumenta los beneficios que se traducen en menor contaminación con un valor de 86 %.



**Figura 20. Impacto en la acidificación de ambientes naturales derivados de los procesos en el ciclo de vida de computadoras a final de vida.**

También se observa que la recolección es una de las actividades de reciclaje con mayor impacto en todos los escenarios, con lo que se puede ubicar como uno de los procesos a analizar y mejorar para que, sobretodo, sean menores los trayecto de recolección y mas eficientes las actividades de acondicionamiento previas a su transporte a las plantas de reciclaje. Otros impactos por el aumento de gases invernadero observados son en los procesos de fundición de acero y el transporte de residuos metálicos que son actividades realizadas en México y que se vuelven áreas de oportunidad de mejora. El transporte es uno de los puntos clave, ya que, en la actualidad, las computadoras a final de vida o sus componentes se transportan largas distancias para su reprocesamiento, los residuos metálicos se trasladan de todo el país hacia la región noreste para su fundición y transformación. Es importante mencionar que el transporte en general tiene el 34% de los efectos por Cambio

Climático, entre otros transportes que también impactan en el Cambio Climático están el transporte de vidrio, que se traslada hasta Mexicali, baja California, ubicada en la frontera Norte del país y que al recorrer largas distancias, también esta provocando impactos importantes, el trasporte de tarjetas a los puertos marítimos del país y el transporte vía marítima.

**Potencial de acidificación.** El factor de impacto denominado Potencial de Acidificación (AP) se refiere a la deposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno y sulfuro a la atmósfera, al suelo y al agua, dónde puede influir en el pH natural del medio acuoso, suelos y sedimentos y por tanto afectar las funciones de los medios abióticos y a la postre afectar las funciones de los seres vivos en las comunidades y ecosistemas del planeta. La acidificación de los suelos produce deforestación y también, en medios urbanos afecta los materiales de la construcción. Por tanto, las áreas de protección deberán de ser la salud humana, los recursos naturales, medios abióticos y ecosistemas. Por ejemplo una mol de SO<sub>2</sub> forma un mol de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que emite dos moles del radical H<sup>+</sup>, el cual puede reaccionar con las partículas en el aire, pero también reacciona y modifica el pH en suelos y mantos acuíferos. Por tanto un gramo de SO<sub>2</sub> contribuye a la formación de (2/64) 0,03125 moles de H<sup>+</sup>. El valor del factor de caracterización de AP para el SO<sub>2</sub> es 0,03125.

El AP es una de las categorías de impacto en que la escala geográfica adquiere importancia. Procesos o circunstancias locales influirán a la contribución de la acidificación de otras áreas en el país o en algún otro sitio. Una alta mineralización y una elevada velocidad de desnitrificación reducirán la contribución de los compuestos acidificantes. También la contribución de estas sustancias se verá reducida si los aniones que acompañan a los protones están limitados en el sistema o eliminados por la biomasa. Este es el caso, principalmente de NO<sub>x</sub> y NH<sub>3</sub>. La contribución de estos componentes puede variar de 0 a 100%. En su tesis Huijbregts (2001) establece factores de caracterización calculados para la media europea para las tres principales substancias causantes de acidificación NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub>.

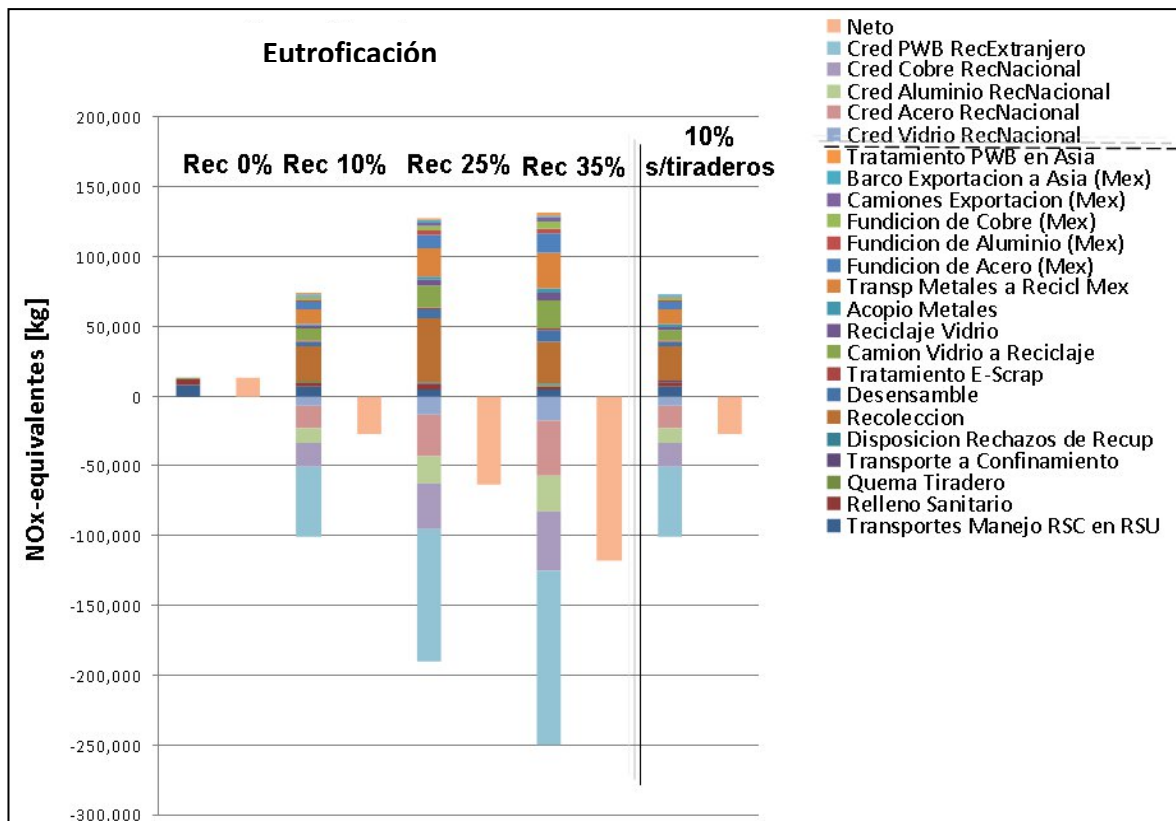


Figura 21. Impacto en la eutroficación de mantos acuíferos naturales derivados de los procesos en el ciclo de vida de computadoras a final de vida.

Nuevamente se puede observar que los procesos de reciclaje aumentan los beneficios en función del aumento de las actividades de reciclaje en detrimento de las actividades de extracción primaria. Entre los procesos que más están impactando la acidificación se encuentran el transporte nacional de residuos metálicos, evidentemente por los volúmenes trasladados, la fundición de Acero, por el gran consumo de energía derivado de la fundición y el desensamble o demanufactura de computadoras. Se puede observar que el proceso de desensamble de computadoras tiene los mayores impactos en la acidificación, principalmente por el uso de energía que a su vez provoca un aumento de las emisiones de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{SO}_2$  sobretodo en los procesos de obtención de energía eléctrica por consumo de hidrocarburos.

En el caso del impacto por acidificación podemos ver que los beneficios son mayores al aumentar el reciclaje, con variaciones menores al aumentar hasta un 35% pero con los beneficios planteados anteriormente de disminución de contaminación y aumento de valorización e impulso a la economía nacional. En el escenario sin ningún tipo de reciclaje se tiene un porcentaje de beneficio prácticamente cero con un valor preciso de  $1 \times 10^{-21}$ , en el escenario actual de manejo de computadoras a final de vida se puede observar que el beneficio por las practicas de reciclaje en comparación con el uso de materias primas vírgenes es de 43.7%, mientras que al aumentar el reciclaje al 25%, el beneficio es de 41.0%, esto tiene una ligera disminución hasta 36% en el supuesto de un reciclaje a 35%. El escenario de prohibición efectiva del uso de tiraderos a cielo confirma lo observado con el factor de Cambio Climático, ya que la supresión de estos flujos hacia tiraderos a cielo abierto aumenta el beneficio a 43.6%.

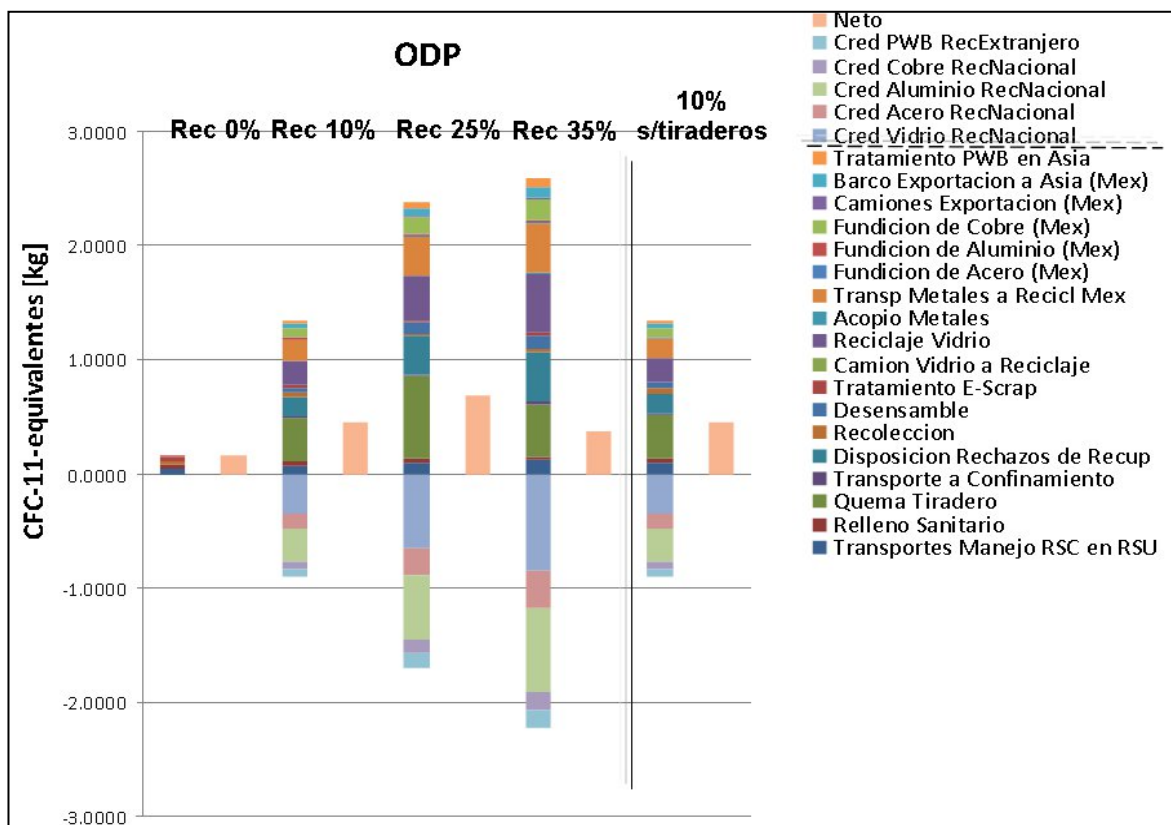
**Eutroficación.** En esta categoría se incluyen los impactos debidos a un alto nivel de los macro-nutrientes, nitrógeno y fósforo. Su incremento puede representar un aumento de la producción de biomasa en los ecosistemas acuáticos. Un aumento de las algas en los ecosistemas acuáticos producirá una disminución del contenido de oxígeno debido a que la descomposición de dicha biomasa consumirá oxígeno medido como DBO (demanda bioquímica de oxígeno). Este consumo de oxígeno puede conducir condiciones anaerobias que provocarán, a su vez, a procesos de descomposición causada por bacterias anaeróbicas que liberarán  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{NH}_3$ . En último término desaparece cualquier tipo de vida aeróbica. Por ser un fenómeno ligado a procesos biológicos en los ambientes naturales, la eutroficación aumenta en tiempos de mayor temperatura, por lo que en época de primavera y verano, existe una mayor generación de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{NH}_3$ .

Las actividades de recolección están impactando en la eutroficación de ambientes naturales y el aumento de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{NH}_3$ , el aumento de las actividades de recolección aumenta la eutroficación, tan solo esta actividad esta impactando con mas del 30% de las concentraciones de  $\text{NO}_x$ -eq generadas, tanto en el escenario de 10% de reciclaje y un ligero aumento de 3.1% al aumentar el reciclaje hasta 25%, aunque este factor de impacto disminuye en la medida de que se aumenta la infraestructura instalada en el país, ya que en el escenario de 35% de reciclaje, este factor de impacto disminuye hasta un 23%, debido a que se simuló que en la medida del aumento de reciclaje se tendrá que aumentar la infraestructura del país y por tanto las distancias de transporte también disminuyen. Después de la recolección de computadoras, las siguientes actividades que aumentan la eutroficación son el transporte de monitores para reciclaje en Mexicali y el transporte de residuos metálicos a la región noroeste del país. Estos procesos tienen la misma dinámica, cuanto aumenta el reciclaje aumenta su impacto aunque al llegar al 35% disminuye su impacto, al aumentar la infraestructura.

Los beneficios por las prácticas de reciclaje en el caso del factor de potencial de eutroficación también se pueden observar con valores por encima de 50% en el caso de uso de materiales reciclados por encima de los materiales vírgenes. En el escenario sin ningún tipo de reciclaje se tiene un porcentaje de beneficio prácticamente cero con un valor preciso de  $4.5 \times 10^{-22}$ , en el escenario actual de manejo de computadoras a final de vida se puede observar que el beneficio por las practicas de reciclaje en comparación con el uso de materias primas vírgenes es de 73.0%, mientras que al aumentar el reciclaje al 25%, el beneficio es de 70.0%, con disminución hasta 53.0 % en el supuesto de un reciclaje a 35%. El escenario de prohibición efectiva del uso de tiraderos a cielo aumenta el beneficio a 72.8%. Lo que confirma que la combinación de estas medidas puede

generar mayores beneficios, siempre con la visión de que a mayor reciclaje, mayores beneficios conjuntos, tanto ambientales, como económicos y sociales.

**Factor de caracterización del agotamiento de ozono.** El factor de caracterización del agotamiento de ozono (ODP) se mide en función de la disminución de la capa de protección de ozono por la liberación de ciertas sustancias al ambiente y que reaccionan en la estratosfera con la capa de ozono.



**Figura 22. Impacto en el agotamiento de ozono del planeta derivado de los procesos en el ciclo de vida de computadoras a final de vida.**

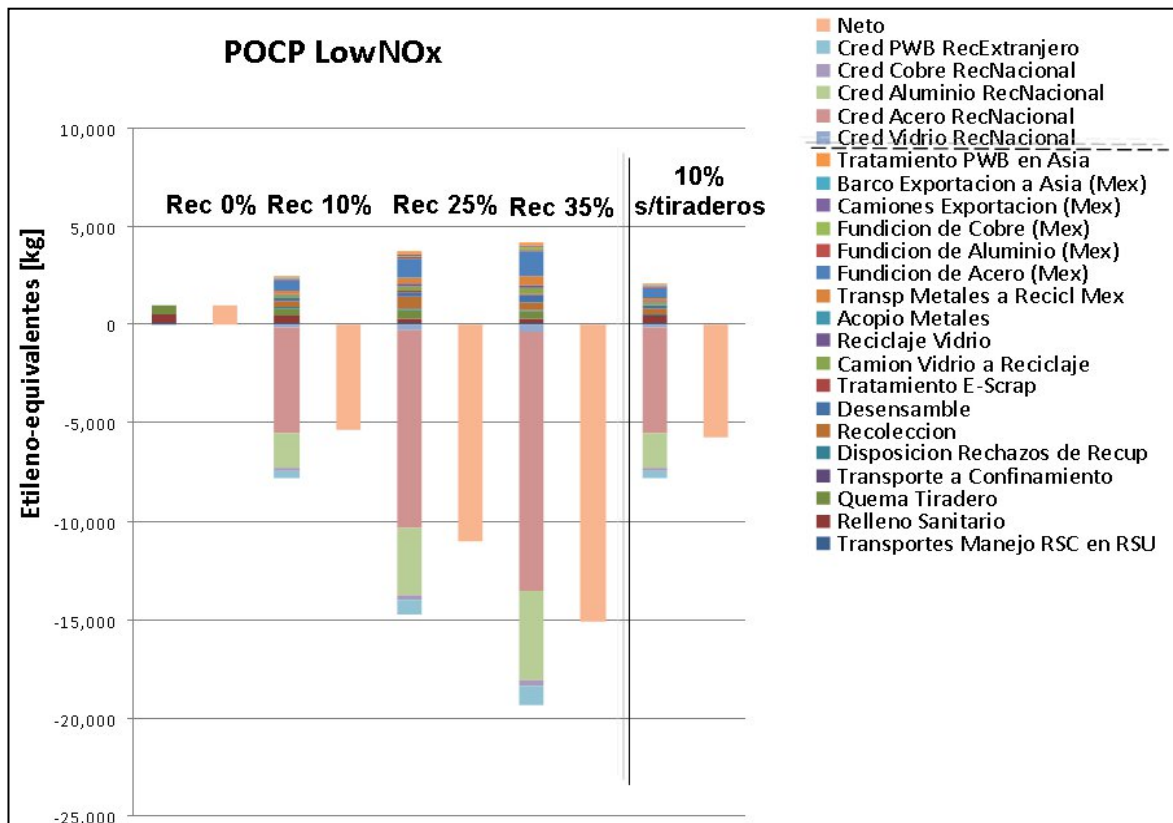
La capa de ozono está presente en la estratosfera y actúa como filtro absorbiendo la radiación ultravioleta. La disminución de la capa de ozono provoca un incremento de la cantidad de radiación UV-B que llega a la superficie de la tierra. Dichas radiaciones son causa de un aumento de algunas enfermedades en humanos (cáncer de piel, supresión sistema inmunitario, cataratas,...), afectan a la producción agrícola, degradación de materiales plásticos e interfieren en los ecosistemas. Afecta por tanto a las cuatro grandes áreas de protección: salud humana, entorno natural, entorno urbano/agrícola y recursos naturales.

La mayoría de los cloruros y bromuros, procedentes de compuestos fluorocarbonados, CFC y otras fuentes, reaccionan en presencia de las nubes estratosféricas polares (PSC) emitiendo cloruros y bromuros activos que bajo la acción catalizadora de los UV provocan la descomposición del ozono.

El mayor impacto para la capa de ozono del planeta por actividades de reciclaje se da por el uso de tiraderos a cielo abierto, con mas de 30% de impacto total derivado de este factor, la disposición final de residuos de computadoras en estos sitios, produce incendios y actividades inadecuadas que a la postre liberan sustancias, que se suspenden y elevan en la atmósfera hasta llegar a reaccionar con el ozono de la estratosfera. En adición a la disposición de computadoras en tiraderos, la disposición de plásticos en tiraderos y rellenos sanitarios, son

actividades que también impactan en la disminución de la capa de ozono del planeta, con valores desde 13% hasta 19%. Siendo que entre estas dos actividades se puede llegar hasta el 50% del impacto de ODP. Lo que permite distinguir que los tiraderos y rellenos no deben ser sitios donde se dispongan los materiales de computadoras a final de vida. Otras actividades que nuevamente impactan, como en los factores de impacto descritos anteriormente, están las actividades de transporte de residuos metálicos y el reciclaje de vidrio de monitores.

Se pueden observar beneficios por las prácticas de reciclaje en el caso del factor agotamiento de la capa de ozono, con valores por encima de 140% en el caso de uso de materiales reciclados contra materiales vírgenes. En el escenario sin ningún tipo de reciclaje se tiene un porcentaje de beneficio cero con un valor puntual de  $3.1 \times 10^{-22}$ , en el escenario actual de manejo de computadoras a final de vida se puede observar que el beneficio por las practicas de reciclaje en comparación con el uso de materias primas vírgenes es de 149.6%, mientras que al aumentar el reciclaje al 25%, el beneficio es de 140.9%, con disminución hasta 116.7 % en el supuesto de un reciclaje a 35%, cabe mencionar que es lógica la disminución de beneficios, debido a que al aumento de reciclaje se intensifican las labores y procesos, incluyendo el transporte, y son practicas que deben revisarse para encontrar menores impactos . El escenario de prohibición efectiva del uso de tiraderos a cielo aumenta el beneficio a 149.6%.



**Figura 23 Impacto por oxidantes foto-químicos en la producción de ozono troposférico de los procesos en el ciclo de vida de computadoras a final de vida.**

**Oxidantes foto-químicos, PCP LowNOx.** Bajo la influencia de la radiación solar, los óxidos de nitrógeno, NOx, reaccionan con los compuestos orgánicos volátiles (VOC) para producir ozono troposférico, este fenómeno tiene lugar principalmente durante los meses de verano. La presencia de monóxido de carbono puede igualmente contribuir a la formación de ozono. Estos oxidantes foto-químicos pueden resultar perjudiciales para la salud humana, los ecosistemas y la agricultura. Afectando por tanto a las cuatro áreas de protección la salud humana, recursos naturales y entornos natural y urbano/agrícola.

Se han calculado los POCP de diferentes VOC, sin embargo estos potenciales pueden variar en función de la concentración inicial de NOx asumida. Los NOx actúan como catalizadores en estas reacciones químicas, no son por tanto consumidos, pero en función de la concentración de Nox se verá afectada la producción de foto-oxidantes. Diferentes factores como concentración de industrias, infraestructura de transportes, etc. influirán en la concentración de NOx. En este factor de impacto, el proceso de fundición de acero es la actividad más impactante en la producción de oxidantes foto-químicos por el uso de energía y las temperaturas generadas en el proceso de fundición. La fundición de acero impacta entre 20% y 30% del total de oxidantes foto-químicos generados por este factor.

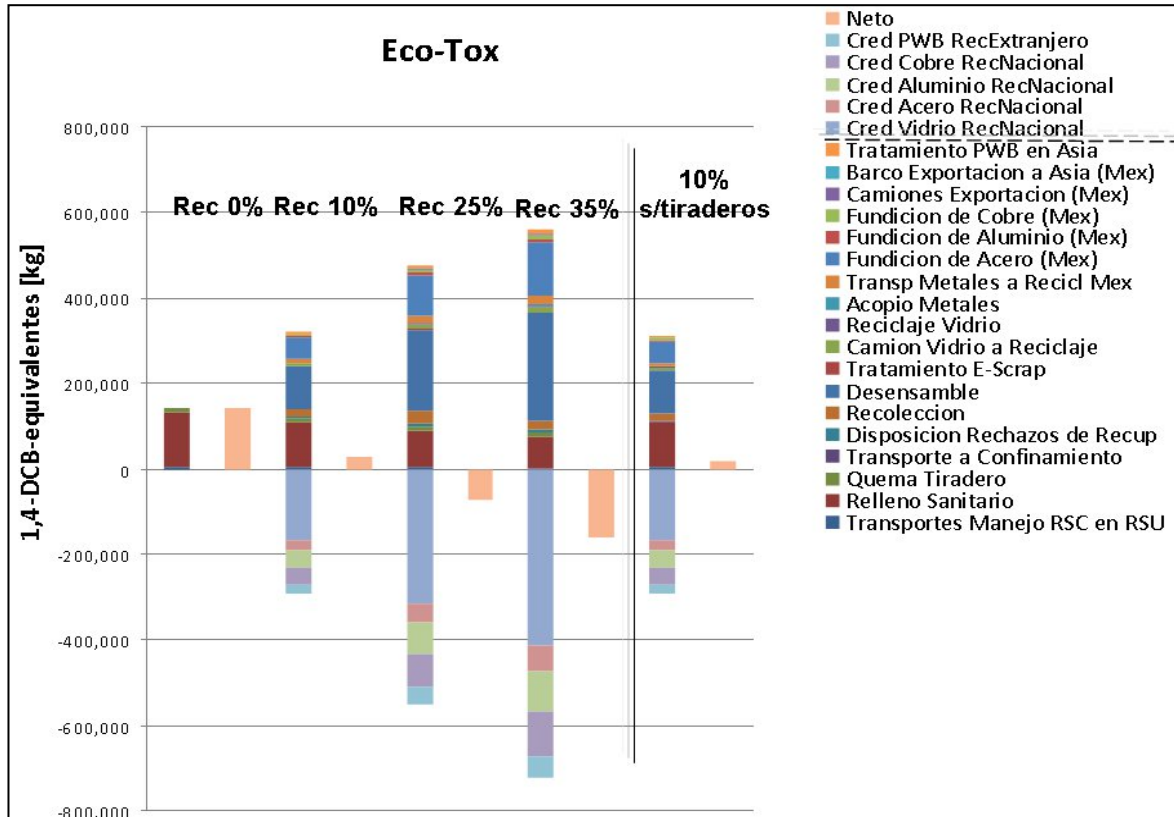
Se pueden observar beneficios por las prácticas de reciclaje en el caso del factor de contaminantes fotoquímicos con valores desde 28% hasta 16% con la sustitución de materiales vírgenes por materiales reciclados. En el escenario sin ningún tipo de reciclaje se tiene un porcentaje de beneficio cero con un valor puntual de  $4.7 \times 10^{-22}$ , en el escenario actual de manejo de computadoras a final de vida se puede observar que el beneficio por las practicas de reciclaje en comparación con el uso de materias primas vírgenes es de 31.1%, mientras que al aumentar el reciclaje al 25%, el beneficio es de 25.5%, con disminución, como en los casos de los factores de impacto analizados anteriormente, hasta 21.8% en el supuesto de un reciclaje a 35%. El escenario de prohibición efectiva del uso de tiraderos a cielo aumenta el beneficio a 26.5%.

**Ecotoxicidad.** La ecotoxicidad contempla los efectos adversos provocados en ecosistemas acuáticos y terrestres por el uso de sustancias tóxicas existentes en el ambiente. Afecta a las áreas entorno natural y recursos naturales. Estas categorías son aquellas para las cuales el factor destino y especialmente el transporte a través de diferentes medios, "intermedia transport" tiene más importancia.

Un contaminante no permanece en un compartimento ambiental (aire, suelo, agua superficial, agua subterránea marina, etc.) en que es emitido sino que puede desplazarse y alcanzar otros compartimentos que serán a su vez contaminados y por los cuales tiene mayor afinidad de acuerdo a su características fisicoquímicas. Una determinada sustancia puede incluso ser más dañina en un medio diferente de donde fue emitido.

Existen dos procesos que están impactando en mayor magnitud ecosistemas acuáticos y terrestres, estos son la fundición de acero y el desensamble de computadoras que juntos tienen impactos desde el 47% (escenario actual) hasta 67 % (escenario de 35% de reciclaje) aunque tan solo el desensamble de computadoras tiene impactos que van desde 31% hasta 44%, lo que permite ver que estas actividades deben ser analizadas a fondo para permitir mejoras en los procesos y disminución de uso de energía, que ayuden a la disminución de los impactos provocados. Cabe señalar que la industria de reciclaje en México es emergente por lo que existen áreas de oportunidad que permitirán la disminución de uso de energía y disminución de la generación de impactos ecotoxicológicos. Por lo que es necesario trabajar con la industria recicladora de computadoras a final de vida para encontrar las formas de disminución de estos impactos, que es muy probable ayuden al aumento de ganancias por ahorro de energía y por aumento de productividad de los procesos.





**Figura 24. Impactos por ecotoxicidad ambiental de los procesos en el ciclo de vida de computadoras a final de vida.**

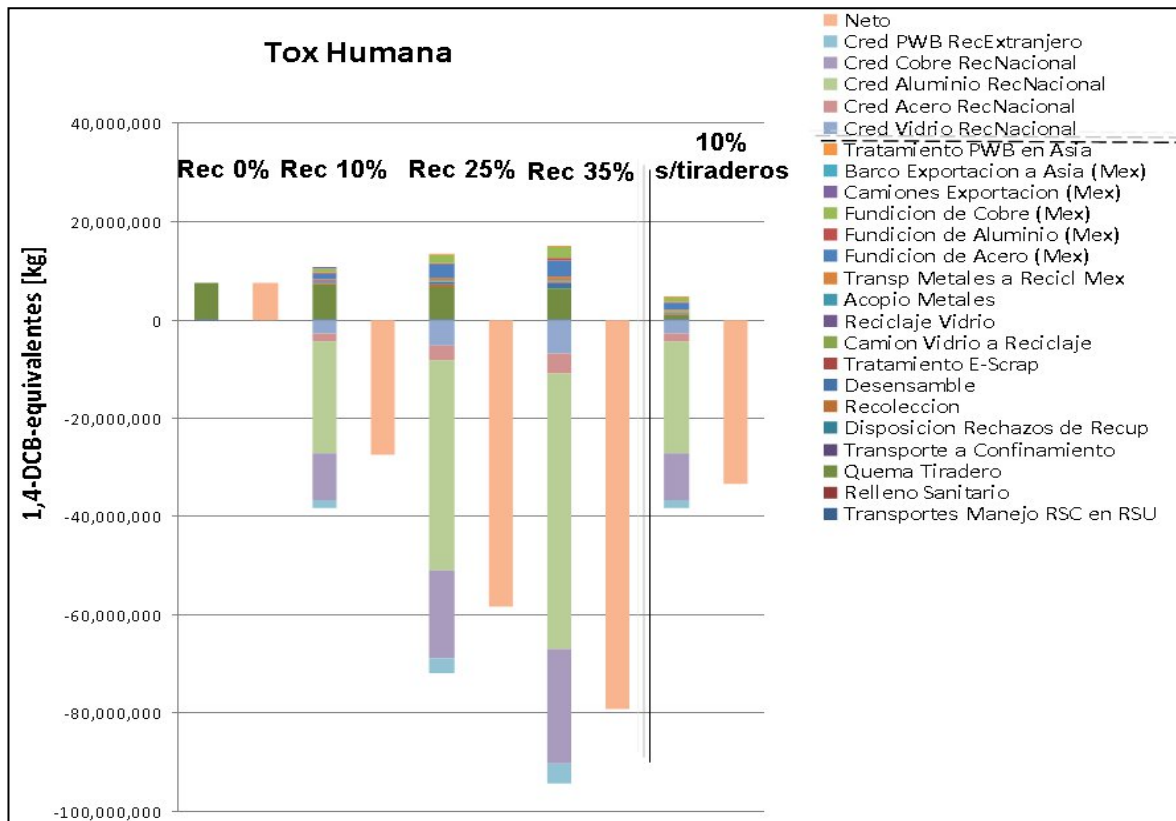
Los beneficios en el caso de la ecotoxicidad en cuerpos de agua y ecosistemas tienen un intervalo de 109% hasta 77% por la sustitución de materias primas por materiales reciclados. En el escenario sin ningún tipo de reciclaje se tiene un porcentaje de beneficio cero con un valor puntual de  $1.2 \times 10^{-22}$ , en el escenario actual de manejo de computadoras a final de vida se puede observar que el beneficio por las prácticas de reciclaje en comparación con el uso de materias primas vírgenes es de 109.8%, mientras que al aumentar el reciclaje al 25%, el beneficio es de 86.9%, con disminución, como en los casos de los factores anteriores, hasta 77.9% en el supuesto de un reciclaje a 35%. El escenario de prohibición efectiva del uso de tiraderos a cielo aumenta el beneficio a 106.9%.

**Toxicidad humana.** La toxicidad humana está relacionada, al igual que la ecotoxicidad, a los efectos adversos por el uso de sustancias químicas pero, en este caso, en seres humanos. Afectando el área de salud humana especialmente y como se puede ver en la figura 25., la actividad que más impacta es el uso de tiraderos a cielo abierto, que a su vez, tienen emisiones de contaminantes por la quema descontrolada de materiales y la liberación de sustancias como los PBDE's o la generación de Dioxina, producto de la combustión de plásticos y otros materiales en la columna de residuos. Los tiraderos a cielo abierto generan emisiones de metales pesados y sustancias orgánicas, que tienen, en muchos de los casos como destino u organismo receptor a los mamíferos entre ellos al ser humano.

Los compuestos tipo Dioxinas o PBDE pueden generarse o liberarse al ambiente desde varios procesos de combustión cuando están presentes compuestos donadores de cloro. Entre ellos están los procesos de incineración de desechos sólidos municipales y peligrosos; además, en los procesos metalúrgicos tales como la producción de acero, operaciones de fundición; combustión de carbón, madera, productos del petróleo para la



generación de energía o calor. Es por esto que los tiraderos a cielo abierto y las actividades de fundición representan los procesos de mayor toxicidad humana, con valores de 65% y 13%, respectivamente. Lo que refuerza la idea de evitar el uso de rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto en la disposición de computadoras a final de vida y mayores controles en los procesos de producción de metales.



**Figura 25 Impactos por ecotoxicidad ambiental de los procesos en el ciclo de vida de computadoras a final de vida.**

El mercurio (Hg) es uno de los compuestos que pueden incidir en la salud humana y se contempla dentro de los factores de toxicidad para organismos y seres humanos en los cálculos planteados en el ACV. El mercurio es uno de los contaminantes con mayores emisiones en las actividades y procesos relacionados con la industria de producción de metales, en procesos primarios aunque también en procesos de reciclaje. Haciendo un análisis de las emisiones de esta sustancia en los procesos de reciclaje modelados en el ACV de computadoras a final de vida, podemos encontrar que el proceso de fundición de acero tiene las mayores emisiones de Hg con valores promedio, en todos los escenarios por encima del 90%. Por lo cual se hace importante los controles para la supresión de liberación de mercurio en estas actividades, enfocándose en primera instancia en la industria metalúrgica.

El mercurio gaseoso emitido por los hornos (especialmente en los antiguos procesos de tratamiento), es depositado en los suelos que rodean a las instalaciones metalúrgicas como  $Hg^{2+}$ . Esto puede ocurrir por depositación directa de emisión de  $Hg^{2+}$  o por conversión de vapores de  $Hg^0$  a  $Hg^{2+}$ , proceso este último mediado por el ozono.

Una vez que el mercurio se encuentre liberado en el también existen reacciones fotolíticas con ayuda de los rayos UV emitidos por el sol, reacción estas reacciones transforman el  $Hg^{2+}$  a  $Hg^0$ , principalmente, en la superficie del suelo, contribuyendo de manera significativa a la emisión de mercurio gaseoso a la atmósfera. Por otra parte, aun cuando el mercurio en el suelo se ligue a una matriz orgánica (ácidos fúlvicos y/o húmicos), el elemento se verá sujeto a procesos de foto reducción, lo cual también contribuirá a la emisión de mercurio gaseoso a la atmósfera.

De todas las especies de mercurio conocidas, la más peligrosa es sin duda el metilmercurio ( $CH_3Hg$ ). Aunque la forma exacta en que se produce la metilación del mercurio se desconoce, se sabe que en el proceso intervienen bacterias que participan en el ciclo  $SO_4^{2-} - S^2-$ . Estas bacterias, que por lo tanto contendrán metilmercurio, son consumidas por otros organismos (fitoplancton) dentro de la cadena trófica y comienzan a bioacumularse y biomagnificarse hasta encontrarse en concentraciones riesgosas en peces y aves, presentando riesgos para mamíferos superiores, incluyendo a los seres humanos.

Se pueden observar beneficios por las prácticas de reciclaje en el caso del factor toxicidad humana, con valores desde 28% hasta 16% con la sustitución de materiales vírgenes por materiales reciclados. En el escenario sin ningún tipo de reciclaje se tiene un porcentaje de beneficio cero con un valor puntual de  $2.9 \times 10^{-22}$ , en el escenario actual de manejo de computadoras a final de vida se puede observar que el beneficio por las practicas de reciclaje en comparación con el uso de materias primas vírgenes es de 28.2%, mientras que al aumentar el reciclaje al 25%, el beneficio es de 18.9%, con disminución hasta 16.0% en el supuesto de un reciclaje a 35%. El escenario de prohibición efectiva del uso de tiraderos a cielo aumenta el beneficio a 12.3%.

**Agotamiento recursos abióticos.** Esta categoría de impacto es una de las más discutidas entre la comunidad científica internacional especializada en el ACV, por lo que existen diversos métodos disponibles y operacionales para el desarrollo de factores de caracterización y normalización. En el grupo de recursos abióticos se consideran los recursos naturales (incluidos los recursos energéticos) que pueden ser considerados como recursos “no vivos”. El agotamiento comprende el uso de los recursos abióticos tanto renovables como no renovables, y depende de las reservas existentes y de las tasas de extracción de un recurso en concreto, ofreciendo una indicación de la gravedad del agotamiento.

Se consideran recursos abióticos aquellos que rodean a los seres vivos y que junto con ellos conforman el ecosistema; los recursos abióticos son parte de la naturaleza. Incluyen todos los recursos “sin vida” que pueden ser explotados por el hombre entre ellos los recursos energéticos, que son del interés de esta comunicación. Se considera que categorías de impacto tales como calentamiento global y acidificación destacan por encima de agotamiento de recursos abióticos con más fuerza por los elementos subjetivos que las influyen. En el caso del agotamiento de recursos abióticos producidos por los procesos de reciclaje, es importante mencionar, primeramente, que es mucho más importante y ayuda en gran medida a justificar el reciclaje de computadoras a final de vida, la diferencia entre el uso de materiales de reciclaje que tienen un impacto infimo a diferencia de los recursos utilizados en los procesos de extracción y transformación de materias primas vírgenes, ya que el uso de recursos físicos como suelo o agua son mucho menores en el reciclaje que los utilizados en la minería, que llevan procesos de extracción en grandes extensiones de terreno con el uso de agua y pérdida de hábitats, por lo que es importante recalcar los beneficios que se presentan en el reciclaje para los recursos naturales y el ambiente.

Por otro lado, analizando los procesos de los distintos escenarios planteados se puede observar que los procesos de desensamble son los que presentan los mayores impactos con valores de impacto desde 23% hasta 30% en el escenario de 35% de reciclaje, seguido de los impactos por los procesos de fundición de acero, relleno sanitario y tiraderos a cielo abierto con valores promedio de 18%, 8% y 6% respectivamente.

Se pueden observar beneficios por las prácticas de reciclaje en el caso de los recursos abióticos utilizados son relativamente bajos aunque son valores positivos que siguen confirmando las bondades del reciclaje de computadoras a final de vida, con valores desde 4.9% hasta 1.9% con la sustitución de materiales vírgenes por materiales reciclados. En el escenario sin ningún tipo de reciclaje se tiene un porcentaje de beneficio cero con un valor puntual de  $4.9 \times 10^{-21}$ , en el escenario actual de manejo de computadoras a final de vida se puede observar que el beneficio por las practicas de reciclaje en comparación con el uso de materias primas vírgenes es de 2.5%, mientras que al aumentar el reciclaje al 25%, el beneficio es de 2.1%, con disminución hasta 1.9% en el supuesto de un reciclaje a 35%. El escenario de prohibición efectiva del uso de tiraderos a cielo aumenta el beneficio a 2.22%.

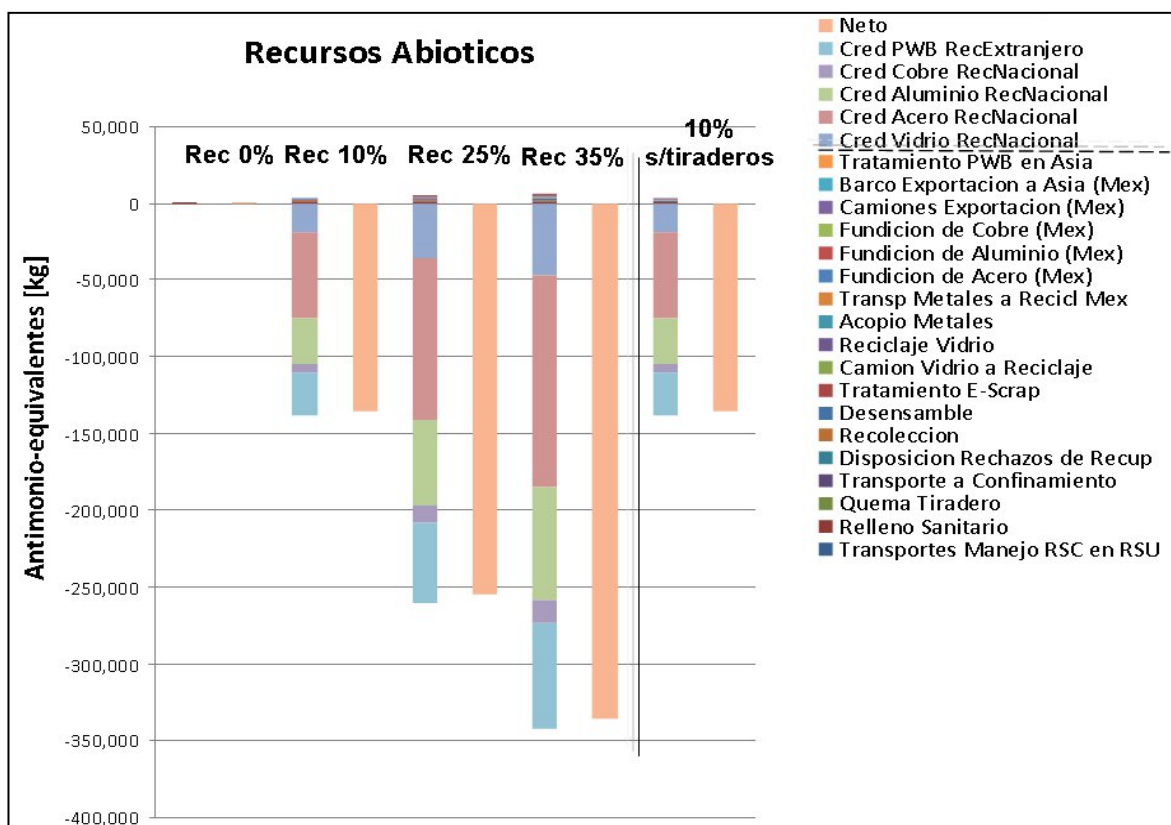


Figura 26 Impactos en recursos abióticos de los procesos en el ciclo de vida de computadoras a final de vida.

## 15) Implicaciones sociales y políticas de los escenarios

De acuerdo a lo encontrado en los resultados del Análisis de Ciclo de Vida, se puede ver que las áreas de oportunidad en las que deben centrarse los esfuerzos y que ayudaran, tanto a una mejor gestión como en la disminución de impactos de los residuos de computadoras a final de vida, los procesos que se vislumbran como áreas de oportunidad son: la recolección, el transporte de residuos de monitores, vidrio y metales, así como el proceso de fundición de acero y la disposición final en tiraderos y rellenos sanitarios (tanto de computadoras, como de plásticos desensamblados).

En los escenarios planteados se puede identificar la relación entre reciclaje y disminución de impactos por uso de materias primas, siendo que a mayor reciclaje existen mayores beneficios. El aumento del reciclaje debe estar acompañado de un aumento en la capacidad instalada, para con ello disminuir las distancias de traslado de materiales y/o computadoras a final de vida.

Una sistema de recolección mediante rutas establecidas y centros de acopio acondicionados con probables pre-procesos de desensamble ayuden al aumento de los volúmenes de recolección de computadoras a final de vida. Esto aunado a una mayor captación de computadoras de desecho en los sistemas de limpia municipal con algún tipo de convenio y/o incentivo para los trabajadores de limpia que permitan el traslado de estas computadoras a final de vida hasta los sistemas de recolección establecidos.

La industria metalúrgica debe ser regulada y debemos comunicarles los riesgos que conlleva la emisión de sustancias contaminantes al ambiente como es el mercurio, plomo o cadmio o los PBDE's. Por lo cual se hace importante trabajar con la industria en los probables puntos de mejora, de control de procesos y de control de emisiones.

El *Plan de Manejo* es el instrumento de gestión integral establecido en la legislación mexicana para fomentar un manejo adecuado de residuos de forma que se proteja al ambiente, y se incremente la valorización de materiales y el reciclaje de residuos sólidos y especiales. Este instrumento debe rescatar las conclusiones de este documento para instrumentar medidas y regulaciones, sean voluntarias o no, en los rubros estratégicos. Este instrumento debe describir el conjunto de acciones y procedimientos que faciliten el acopio, transporte y la disposición final de productos de consumo que al desecharse se convierten en residuos. Entre los principales objetivos de los planes de manejo se encuentran: fomentar la minimización de la generación de los residuos; promover la responsabilidad compartida de los productores, distribuidores y comercializadores; realizar la separación desde la fuente, la recolección y acopio de computadoras a final de vida, y fomentar el reuso y reciclaje de los residuos, con el objeto de reducir/suprimir el volumen de computadoras a final de vida que se disponen en rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto.

El plan debe establecer modalidades de manejo que respondan a las particularidades de las computadoras a final de vida y de los materiales o componentes que las constituyan. En casos particulares se tienen que atender a las necesidades específicas de ciertos generadores. Adicionalmente, deben establecer esquemas de manejo en los que aplique la corresponsabilidad de los distintos sectores involucrados, y alentar la innovación de procesos, métodos y tecnologías, para lograr un manejo ambientalmente adecuado, económicamente factible y socialmente aceptable.

Actualmente, el mercado de reciclaje de residuos electrónicos está desarticulado y básicamente se ha desarrollado por la oferta y la demanda de materiales. Como consecuencia, se cuenta con empresas con una gran variación en su desempeño ambiental: pocas cuentan con la infraestructura y desarrollan buenas prácticas ambientales en sus operaciones y pueden garantizar un manejo adecuado de los diversos componentes de las computadoras a final de vida, valorizables o no. Otro problema es que las empresas recicladoras transportan sus materiales a largas distancias, viajando, en algunas ocasiones, de extremo a extremo del país, lo que redundaría en costos económicos y costos ambientales con impactos importantes en el cambio climático, factores de agotamiento de ozono y toxicidad humana y ecológica.

Para incrementar el reciclaje se pueden seguir diversas alternativas de política pública como la implementación de la responsabilidad extendida del productor, o a través de incentivos económicos para los usuarios y el sector de recuperación y reciclaje de materiales. Estas alternativas tendrían diversos problemas para ser implantada a corto plazo en México debido a la oposición del sector industrial y a las modificaciones legales que se necesitarían.

El plan de manejo sería una alternativa con mayor factibilidad política y jurídica, debido a que el plan de manejo se encuentra definido en la ley, y se cuentan ya con lineamientos al respecto, la norma [NOM-161-SEMARNAT-2011, *Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo*] de reciente publicación, [01/02/2013] y que da los lineamientos básicos para su uso por empresas generadoras, municipios y grandes generadores, quienes tienen la obligación de instrumentar las medidas para el manejo adecuado de sus residuos electrónicos, entre los que se encontrarían las computadoras a final de vida.

La factibilidad política podría verse afectada en cierta manera por la renuencia del sector industrial ante nuevas actividades relacionadas con el manejo de residuos al final de su vida útil, sin embargo, ya existen casos de iniciativas voluntarias de planes de manejo que puedan servir como ejemplos para convencer al sector, por lo que se considera como de factibilidad media. Sobre el tiempo de implementación, se considera que a corto plazo puedan existir acciones concretas para esta alternativa ya que en una primera etapa se aprovecharía la infraestructura disponible para los diferentes actores. Con esta propuesta, se espera una reducción adicional del 10% en la cantidad actual de residuos enviada a rellenos sanitarios y un incremento de la misma proporción en el reciclaje de materiales. Asimismo, se fomentará al sector de reciclaje, siempre y cuando se implementen a su vez buenas prácticas, probablemente a través de un esquema de certificación, lo que llevará al incremento de recicladores. Se espera que existan costos de implementación para los actores, pero menores a los relacionados con otras alternativas. Para el caso de costos administrativos, esta opción significaría invertir una cantidad en personal que opere actividades de acopio, recolección, registro, entre otras (en los planos federal, estatal y municipal). Esta alternativa se podría aplicar a residuos históricos como a aquellos generados a partir de la implementación, ya que las acciones no estarían condicionadas a la venta del producto electrónico como en el caso del sistema depósito reembolso.

Para la implementación de esta alternativa, se propone elaborar un plan de manejo que considere primeramente la elaboración de un diagnóstico de la generación e infraestructura para el acopio, almacenamiento, transporte, reciclaje, tratamiento y disposición final de todo el país. Para tener más claro las actividades que debería tener la alianza público privada, se puede observar el Cuadro 10. Los siguientes requisitos para llevar a cabo el plan de manejo es contar con un sistema de control de procesos, determinar las implicaciones socio-económicas (entre ellas se deberá considerar favorecer la equidad en la participación de los pepenadores en el plan), establecimiento de un sistema de comunicación social y los mecanismos de evaluación y mejora.

**Cuadro 10. Descripción de las actividades para la alianza público-privada para el manejo integrado.**

<b>ACTOR</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Productores, distribuidores y comercializadores	Coordinación de los programas de retorno, el establecimiento de centros de acopio y financiamiento parcial del transporte de materiales.
Recicladores	Valorización adecuada de materiales y para el financiamiento parcial del transporte de materiales.
Gobierno federal	Coordinación general del programa y establecimiento de campañas de difusión y capacitación al público en general y para la evaluación del uso de una tasa anticipada de reciclaje de 1% del costo de aparatos nuevos para creación de infraestructura y costos de operación.
Gobiernos estatales y municipales	Apoyo en las actividades de acopio y gestión de residuos sólidos urbanos que no sean valorizables a través de los sistemas de limpia.
Grupos de la sociedad civil	Difusión de información al público en general.

Fuente: INE, 2011.

Al diseñar una cadena de distribución inversa, se buscará cubrir las necesidades de recolección de materiales de los centros de acopio en almacenes, tiendas comerciales y otros especialmente asignados. El usuario final será el encargado de trasladar el desecho desde su casa o instalación hasta el centro de acopio. Una necesidad básica para que funcione mejor el acopio es: "Todos recolectan todo". La opción más razonable de la logística de transporte desde los centros de acopio hacia los centros de manejo a final de vida.

Es importante implementar un foro de comunicación para mantener informada a la población y motivar la participación, esto ayudará a contar con un flujo de materiales adecuado para hacer el sistema de manejo viable. Se deberá contar con una campaña enfocada principalmente a las escuelas primarias y secundarias acerca del uso y desecho adecuados de los dispositivos electrónicos, así como a los diversos actores de la cadena de valorización.

## **16) Conclusiones**

Se evaluó el desempeño ambiental de posibles esquemas de aprovechamiento de computadoras al término de su vida útil estableciendo una de puntos críticos en la gestión ambiental para la toma de decisiones en el ámbito nacional y estatal.

Los escenarios planteados conllevan que a mayor reciclaje existen mayores beneficios, lo que implica una disminución importante de impactos por el uso de materias primas vírgenes, y además un esfuerzo en el aumento de la capacidad instalada para con ello disminuir las distancias de traslado de materiales y/o computadoras a final de vida.

Existe un importante volumen de computadoras a final de vida, 18,296.85 ton/año, que tienen como destino final los rellenos sanitarios (60%) y tiraderos a cielo abierto (40%), impactando en el Cambio Climático, el agotamiento de ozono y tiene efectos adversos relevantes al ambiente y la salud humana.

La recolección es otra de las actividades que están impactando en forma importante tanto los ambientes urbanos como los naturales, principalmente por el uso de hidrocarburos y los amplios recorridos para el traslado local de computadoras a final de vida, por lo que se propone planear mejores rutas de recolecta y sitios acondicionados de acopio (espacios públicos municipales) que permitan la cooptación de computadoras

eficientando los recursos energéticos utilizados. También es posible utilizar los sitios de acopio como espacios de pre-procesamiento para reducir el volumen de computadoras para eficientar el transporte hacia los sitios de reciclaje de materiales.

El transporte de residuos de monitores, vidrio y metales debe reducirse, ya que estas actividades están impactando el cambio climático del planeta, contribuye al agotamiento de la capa de ozono, contribuye en la acidificación de los ríos y lagos. Principalmente por que el transporte, actualmente esta recorriendo grandes distancias, muchas veces, de extremo a extremo del país, lo que significa distancias de 1,500 hasta 4,000 km solo para comenzar su reciclaje. Por lo que se propone el aumento de infraestructura, proponiendo, al menos en tres regiones (sur, centro y norte) en el país donde existan plantas de reciclaje y transformación de materiales.

Los plásticos son uno de los materiales que están disponiéndose en rellenos sanitarios y tiraderos sin ser aprovechados, por lo que se propone encontrar nichos de mercado y generar la investigación necesaria para el aprovechamiento de estos materiales, transformándolos en productos, además de encontrar los mejores tratamientos para los plásticos con sustancias orgánicas persistente como son los PBDE's y que, se ha probado en otras regiones, se están acumulando, principalmente en mamíferos incluyendo a los seres humanos cercanos a los sitios de disposición.

El desmantelamiento de computadoras a final de vida requiere de uso de energía y de procesos con grandes impactos al ambiente, por lo que se recomienda evaluar los procesos y ayudar a la industria del reciclaje para que logren tecnologías que tengan mejores rendimientos con aprovechamiento de recursos, entre ellos los energéticos y se pueda contribuir, a la disminución de costos de operación que servirán en el aumento de ganancias y por otro lado permitirá disminuir los impactos ambientales derivados de esta actividad.

Los beneficios por las prácticas de reciclaje en todos los casos modelados son positivos, lo que permite afirmar que las practicas de reciclaje de computadoras a final de vida es una actividad positiva que debe incentivarse y masificarse, ya que los beneficios no solo son ambientales sino también sociales y económicos, pueden incentivar la economía, generar ganancias para las empresas recicladoras y generar puestos de trabajo, además de evitar que sustancias como los PBDE o las Dioxinas sean liberadas con los costos ambientales y sociales inherentes. Solo en el caso de no hacer reciclaje, estos valores se vuelven nulos. La combinación de estas medidas puede generara mayores beneficios, siempre con la visión de que a mayor reciclaje, mayores beneficios conjuntos ambientales, económicos y sociales.

## 17) Referencias

- Diario Oficial de la Federación, 2007. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2003. Última modificación. México, 19 de junio.
- Environmental Protection Agency, 2010. <http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/>  
[http://www.epa.gov/nrmrl/std/sab/lca/lca\\_brief.htm](http://www.epa.gov/nrmrl/std/sab/lca/lca_brief.htm)
- European Commission (2005). Integrated Product Policy Pilot Project: Life Cycle Environmental Issues of Mobile Phones (NOKIA CORPORATION). [http://ec.europa.eu/environment/ipp/pdf/nokia\\_mobile\\_05\\_04.pdf](http://ec.europa.eu/environment/ipp/pdf/nokia_mobile_05_04.pdf)
- Frazzoli C, Ebere O, Dragone R, Mantovani A.,2010. Diagnostic health risk assessment of electronic waste on the general population in developing countries' scenarios. Environmental Impact Assessment Review; 30:388-399.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Estadística sobre la disponibilidad y el uso de las Tecnologías de Información y Comunicaciones, 2009. Página electrónica: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/encuestas/especiales/endutih/ENDUTIH\\_2009.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/encuestas/especiales/endutih/ENDUTIH_2009.pdf).
- Instituto Nacional de Ecología, 2006. Diagnóstico sobre la generación de residuos electrónicos en México. México: SEMARNAT.
- Instituto Nacional de Ecología, 2009. Diagnóstico regional de residuos electrónicos en dos ciudades de la frontera norte de México: Tijuana y Ciudad Juárez. México: SEMARNAT.
- Instituto Nacional de Ecología, 2010. Diagnóstico de la generación de residuos electrónicos en la Zona Metropolitana del Valle de México. México: SEMARNAT.
- Secretaría de Energía, 2010. Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025. SENER.
- UNEP, 2009. Recycling From E-Waste to Resources. Sustainable Innovation and Technology Transfer. Industrial Sector Studies.