

Avances hacia una estrategia nacional de manejo de los residuos electrónicos

Floria Roa Gutiérrez ¹

Con el objetivo de establecer una estrategia para el manejo de los residuos electrónicos, un grupo interinstitucional y multidisciplinario integrado al sector privado, académico, gubernamental y social, ha trabajado en establecer una estrategia nacional para el manejo ambiental y sostenible de los residuos electrónicos.

Palabras clave

Residuos electrónicos, residuos sólidos, sistema ambiental de manejo.

Resumen

Con el objetivo de establecer una estrategia para el manejo de los residuos electrónicos, un grupo interinstitucional y multidisciplinario integrado al sector privado, académico, gubernamental y social, ha trabajado en establecer una estrategia nacional para el manejo ambiental y sostenible de los residuos electrónicos. Dicha estrategia surge mediante la consulta con todos los actores en el campo de los electrónicos (productores, importadores, distribuidores, talleres de reparación, centros de acopio de materiales, ministerios de Salud y Ambiente, entre otros).

En un estudio diagnóstico (1) realizado durante el año 2004 se estimó que Costa Rica acumuló para el año 2005 aproximadamente 12 000 toneladas de equipo electrónico. La cifra es aún conservadora ya que resulta únicamente de las compras registradas en aduanas a partir del año 1996. Por lo tanto, el equipo de cómputo adquirido antes de la

fecha mencionada no ha sido incluido. Conociendo la problemática alrededor de los desechos sólidos en Costa Rica, donde casi la única alternativa existente son los rellenos sanitarios y botaderos a cielo abierto, la problemática se agrava ya que solamente unos pocos presentan tecnologías apropiadas para los desechos domésticos. Sin embargo, no existen en el país facilidades que puedan dar tratamiento a otros residuos que, por su composición y cantidad de sustancias tóxicas, deben ser tratados de forma separada, para asegurar no solo la no contaminación de suelos y aguas superficiales y mantos acuíferos, sino también la recuperación de materiales como metales y plástico que pueden contribuir a reducir el costo de tratamiento ambiental.

Por lo anterior, la estrategia propuesta incluye en forma integral los componentes legal, económico, institucional, técnico-ambiental y sociocultural. Se discutirán las funciones de cada uno en particular.

Adicionalmente, se presentarán los resultados de uno de los dos experimentos piloto realizados a la fecha, cuyos resultados permiten una estimación preliminar de los costos de tratamiento ambientales.

1. Ph.D. Escuela de Química. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: froa@itcr.ac.cr.

Introducción

Los residuos electrónicos y eléctricos [conocidos internacionalmente como RAEE, siglas en español para residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, o WEEE, siglas en inglés de Waste from Electric and Electronic Equipment](2) han captado la atención de ambientalistas a nivel mundial desde hace más de una década. La problemática involucra

equipos de composición muy compleja que incluyen tanto materiales tóxicos como también materiales inertes, pero con valor comercial significativo (véase cuadro 1). En ambos casos, se pretende su recuperación y/o reciclaje, de modo que se reduzca el impacto ambiental y, al mismo tiempo, se mejore la eficiencia en el uso de los materiales.

Cuadro 1

Composición de una computadora personal y eficiencia del proceso de reciclaje de materiales, basado en un peso típico de 28 kg (3)

| Nombre | Contenido porcentual (peso/peso) | Peso del material (kg) | Eficiencia del proceso de reciclaje (%) | Uso/localización |
|------------|----------------------------------|------------------------|---|---|
| Plásticos* | 22,9907 | 6,4 | 20 | Incluye compuestos orgánicos |
| Plomo | 6,2988 | 1,8 | 5 | Protector de radiación en monitor (CRT), soldadura, tarjeta impresa (PWB) |
| Aluminio | 14,1723 | 3,9 | 80 | Estructura, conectores, CRT y PWB |
| Germanio | 0,0016 | <0,05 | 0 | Semiconductores y PWB |
| Galio | 0,0013 | <0,05 | 0 | Semiconductores y PWB |
| Hierro | 20,4712 | 5,6 | 80 | Estructura, acero(magnetividad), monitor, PWB |
| Estaño | 1,0078 | 0,28 | 70 | Uniones metálicas, PWB, CRT |
| Cobre | 6,9287 | 1,9 | 90 | Conductividad, CRT, tarjeta impresa y conectores |
| Bario | 0,0315 | <0,05 | 0 | Tubo al vacío, CRT |
| Níquel | 0,8503 | 0,23 | 80 | Estructura, acero (magnetividad), CRT, PWB |
| Zinc | 2,2046 | 0,6 | 60 | Batería, emisor de color/ PWB, CRT |
| Tantalio | 0,0157 | <0,05 | 0 | Capacitores / PWB, fuente de poder |
| Indio | 0,0016 | <0,05 | 60 | Transistores, rectificadores/ PWB |
| Vanadio | 0,0002 | <0,05 | 0 | Emisor de rojo, CRT |
| Terbio | <0 | <0 | 0 | Activador de verde, |
| Berilio | 0,0157 | <0,05 | 0 | Conductividad térmica/PWB, conectores |
| Oro | 0,0016 | <0,05 | 99 | Conectividad, conductividad/PWB, conectores |
| Europio | 0,0002 | <0,05 | 0 | Activador de fósforo/PWB |
| Titanio | 0,0157 | <0,05 | 0 | Pigmento, agente de aleación/aluminio |
| Rutenio | 0,0016 | <0,05 | 80 | Circuito resistivo/tajeta impresa |
| Cobalto | 0,0157 | <0,05 | 85 | Estructura, magnetividad/acero, CRT,PWB |
| Paladio | 0,0003 | <0,05 | | Conectividad, conductividad/PWB |
| Manganeso | 0,0315 | <0,05 | 0 | Estructural, magnetividad (acero), CRT, PWB |
| Plata | 0,0189 | <0,05 | 98 | Conductividad/PWB, conectores |

Continúa

Continuación

| Nombre | Contenido porcentual (peso/peso) | Peso del material (kg) | Eficiencia del proceso de reciclaje (%) | Uso/localización |
|-----------|----------------------------------|------------------------|---|--|
| Antimonio | 0,0094 | <0,05 | 0 | Diodos, PWB, CRT |
| Bismuto | 0,0063 | <0,05 | 0 | Agente humedecedor en película gruesa |
| Cromo | 0,0063 | <0,05 | 0 | Decorativo, endurecedor de acero |
| Cadmio | 0,0094 | <0,05 | 0 | Batería, emisor de azul-verde, PWB, CRT |
| Selenio | 0,0016 | 0,00096 | 70 | Rectificadores/PWB |
| Niobio | 0,0002 | <0,05 | 0 | Aleación de soldadura |
| Itrio | 0,0002 | <0,05 | 0 | Emisor de rojo/CRT |
| Rodio | - | - | 50% | Conductor de película gruesa/PWB |
| Platino | - | - | 95 | Conductor de película gruesa/PWB |
| Mercurio | 0,0022 | <0,05 | 0 | Baterías. Interruptores, PWB |
| Arsénico | 0,0013 | <0,05 | 0 | Agentes en transistores /PWB |
| Silica | 24,8803 | 6,8 | 0 | Vidrio, componentes en estado sólido, CRT, PWB |

*Plástico contiene retardantes de llama y muchos otros aditivos y estabilizadores que no se incluyen en la lista.

Adaptado de Silicon Valley Toxics Coalition

Aunque internacionalmente este tipo de residuos incluye tanto la línea gris (equipo de cómputo, accesorios y equipo de comunicaciones), la línea marrón (principalmente equipos de entretenimiento) y la línea blanca (electrodomésticos), se concentró en la línea gris por cuanto los períodos de vida útil son menores y presentan una tendencia a disminuir con los avances tecnológicos (véase cuadro 2). Lo anterior implica que

son descartados con mayor frecuencia y, por lo tanto, generan mayor volumen de residuos.

Tendencias a nivel mundial

Se hace necesario presentar algunas tendencias generales de lo que ocurre actualmente en países de diferente desarrollo, con el objetivo de ubicar la situación de Costa Rica.

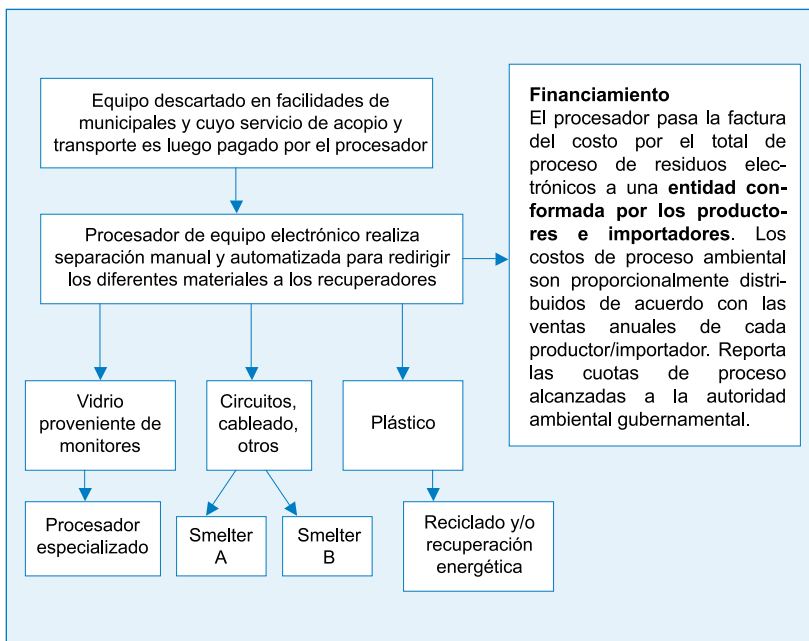
Cuadro 2

Tiempos de vida útil de algunos equipos eléctricos y electrónicos (4)

| Equipo | Tiempo de vida útil(años) | Línea |
|---|---------------------------|--------|
| Refrigeradora | 25 | blanca |
| Televisor de tubos de rayos catódicos (CRT) | 20 | marrón |
| Televisor de LCD | 15 | marrón |
| Computadora | 4 | gris |

Países de alto desarrollo económico

Países desarrollados son principalmente aquellos que han demostrado un compromiso ambiental en sus actividades y han establecido sistemas de manejo de desechos electrónicos basados en la responsabilidad del productor. Holanda, por ejemplo, mantiene la recolección continua de desechos especiales por separado. Los residuos electrónicos son enviados a un procesador que separa los materiales en forma bastante automatizada y luego dirige los diferentes procesadores para la respectiva recuperación de materiales, principalmente metales tanto pesados como preciosos. El siguiente esquema presenta un diagrama del sistema holandés.



Como se observa en el esquema, el sistema es financiado por una cuota invisible al consumidor y asume los costos de residuo electrónico histórico (equipo vendido en fecha anterior a que se estableciera el sistema y que, por lo tanto, no ha pagado ninguna cuota por costo de proceso ambiental); adicionalmente incluye

equipo huérfano (equipo proveniente de un fabricante que ha desaparecido del mercado) y el equipo proveniente de productores que no se han asociado a la entidad de los productores independientes (free riders). Sin embargo, la entidad de productores/importadores hace esfuerzos por aumentar el número de asociados o disminuir los productores/importadores independientes.

Las tecnologías involucradas en la recuperación de metales y vidrio representan grandes inversiones, lo que es característico de países con tradición metalúrgica y donde se han desarrollado y/o adaptado tecnologías mineras a la microminería.

Países en desarrollo

Por el contrario, en países en desarrollo, no se cuenta con un manejo separado de los residuos electrónicos. En el caso de Costa Rica, muchos equipos electrónicos se encuentran en bodegas de instituciones así como también, a nivel del usuario individual, en almacenes en las viviendas. Esta costumbre de almacenar el equipo electrónico que ha llegado al final de su vida útil o está obsoleto parece obedecer a una práctica cultural, en que los usuarios no lo consideran un desecho y más bien piensan en venderlo o donarlo. Lo anterior ha representado una ventaja temporal para poder desarrollar una estrategia de manejo ambiental. Sin embargo, cada día es más común observar en lotes baldíos desechos electrónicos.

En países con economías muy deprimidas y donde las garantías sociales son pocas o inexistentes, sobre todo aquellas relacionadas con las condiciones mínimas de seguridad para el trabajador, la recuperación de metales a partir de residuos de equipo electrónico descartado se ha realizado con técnicas como calentamiento o combustión a cielo abierto, lo que ha generado problemas de salud tanto para quienes realizan la actividad, como para

En Costa Rica, la recuperación de metales mediante combustión se ha dado como una actividad individual y clandestina de algún reciclador, pero no como una actividad económica importante.

la comunidad cercana. Adicionalmente se han contaminado suelos, aire y agua por la generación de dioxinas y furanos. Diferentes grupos ambientalistas han denunciado lo anterior y critican el trasiego de dichos residuos desde países desarrollados a países en desarrollo, debido a que se transfiere el problema ambiental a países que no cuentan con la tecnología para el tratamiento. Desafortunadamente, muchas de estas exportaciones son encubiertas con el argumento de que no se trata de desechos, sino de bienes que tienen un valor económico.

En Costa Rica, la recuperación de metales mediante combustión se ha dado como una actividad individual y clandestina de algún reciclador, pero no como una actividad económica importante.

Propuesta

La propuesta para una estrategia para el manejo de RAEE comprende acciones en los siguientes componentes:

Legal

Se ha logrado la inclusión de los RAEE en un decreto ejecutivo listo para aprobación que establece el *reglamento de creación de un sistema nacional para el manejo de residuos especiales*.

Para establecer las responsabilidades de los diferentes actores, se propone un

Nivel institucional

El **MINAE** establecerá las metas de recolección y tratamiento, así como las normas técnicas y ambientales por cumplir. Será el ente rector y monitoreará el sistema de manejo para garantizar el tratamiento responsable de los residuos electrónicos. Los residuos electrónicos saldrán de la corriente de los desechos domésticos para llevar un tratamiento separado.

Los productores/importadores/distribuidores deberán formar una **unidad gestora** que coordinará todas las

actividades del manejo ambiental de los RAEE. La unidad gestora será responsable de hacer una propuesta de plan de manejo ante MINAE que refleje el cumplimiento de las metas.

Las municipalidades deben incorporar en los sistemas de gestión de desechos, recolección y acopio, en coordinación con la unidad gestora.

Las **universidades y centros de investigación** deben desarrollar nuevas tecnologías para el tratamiento ambiental de los RAEE.

Técnico/operativo/ambiental

Montaje de una empresa que brinde el servicio de desensamblado en los siguientes materiales principales:

1. Monitores (TRC tubos de rayos catódicos)
2. Tarjetas de circuitos electrónicos
3. Cableado
4. Plástico
5. Cobre
6. Aluminio
7. Metales ferrosos (chatarra)

Con lo anterior se pretende la eficiencia de las operaciones, sobre todo aquellas que implican transporte internacional de materiales y volumen (véanse resultados de la experiencia piloto realizada).

Sociedad civil

Se debe sensibilizar a la sociedad para su participación en el sistema de modo que se garantice su sostenibilidad. El usuario debe conocer los peligros ambientales involucrados en un mal manejo de los residuos electrónicos al final de su vida útil. Adicionalmente debe conocer las prácticas de uso del equipo que tiendan a aumentar el tiempo de vida útil de un equipo electrónico como los requisitos de corriente de aire para evitar su sobrecalentamiento.

Resultados de la experiencia piloto

Se realizó una experiencia de desensamblaje de equipo electrónico descartado proveniente del Instituto Tecnológico de Costa Rica. El siguiente cuadro muestra el total de los equipos que se incluyeron en el proceso. El proceso fue realizado en las instalaciones del Centro de Transformación y Transferencia de Materiales (CTTM) ubicado en el Parque Industrial de Cartago. Este centro,

desarrollado por la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica, cuenta con experiencia en el manejo de desechos industriales, aunque no específicamente de residuos electrónicos.

Recolección

Esta experiencia careció de los componentes de campaña pública para el evento de recolección por cuanto todo el equipo procesado provenía del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Cuadro 3

Equipo procesado

| Equipos | CPU | Monitores | Teclados | Impresoras | Scanner | UPS |
|----------|------|-----------|----------|------------|---------|-----|
| Subtotal | 737 | 858 | 267 | 295 | 4 | 8 |
| Total | 2169 | | | | | |

Esta experiencia careció de los componentes de campaña pública para el evento de recolección por cuanto todo el equipo procesado provenía del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Carga y transporte

El transporte del equipo se realizó en un vehículo de carga de 3,5 ton., lo que requirió cuatro viajes (fletes). El vehículo contó con cubierta de lona, y el equipo fue cargado manualmente y acomodado para lograr la mayor seguridad y eficiencia en el uso del espacio. Cada operación de transporte movilizó entre 350 y 400 equipos. Al llegar al CTTM, el equipo fue descargado

en cajas de cartón, aproximadamente de 1 metro cúbico (gailors) sobre tarimas, y transferido al área de desensamblado.

Desensamblado

La labor de desensamblaje fue realizada por tres operadores con experiencia en el manejo de herramientas comunes como desatornillador eléctrico. Los tiempos de desensamblado se muestran en el siguiente cuadro. La experiencia requirió de cerca

Cuadro 4

Tiempos promedio para el desensamblaje de equipo electrónico

| Desensamblaje | Tiempo por unidad (min) |
|------------------------------|-------------------------|
| CPU | 14 |
| Monitor | 15,4 |
| Teclado | 2,87 |
| Embalaje de monitores/gailor | 0,5 |
| Limpieza de área de trabajo | 0,5 |

de 6 semanas de trabajo no consecutivas por causas ajenas al proceso.

El área requerida para el proceso define al menos tres áreas diferentes: el área de acopio de material de entrada (equipo electrónico a desensamblar), área de trabajo equipada con tres mesas de trabajo y área de material procesado (véase cuadro 5). Los materiales comercializados localmente se vendieron a recicladores en bultos aproximadamente de 1 tonelada.

Cuadro 5

Áreas de proceso

| Infraestructura | Unidades de área (m ²) |
|-------------------------------|------------------------------------|
| Área para material de entrada | 10 |
| Área de trabajo | 15 |
| Área de material de salida | 20 |
| Total | 45 |

Los materiales comercializados localmente se vendieron a recicladores en bultos aproximadamente de 1 tonelada.

Tratamiento y transporte internacional

Debido a que no existe en el país una industria específica para el tratamiento de los TRC (tubos de rayos catódicos), los circuitos y el cableado, se procedió a la contratación del servicio a nivel internacional. Se contrató a una empresa de logística holandesa que brinda el servicio de revisión de material y redirección a los diferentes procesadores en Europa. Adicionalmente, debido a que los materiales incluían sustancias peligrosas, se procesó el permiso de transporte transfronterizo de materiales peligrosos de acuerdo con el Convenio de Basilea, del que Costa Rica es firmante.

Con lo anterior, se realizó una estimación de los costos de proceso para una computadora, los cuales se desglosan en el cuadro 6.

Las figura 1 muestra en forma gráfica la participación de los diferentes rubros en el costo de proceso de una computadora.

Cuadro 6

Estimación de costos por computadora

| Rubros | Descripción | Costos |
|--------------------------------|--|----------|
| Acopio | Servicio de acopio de equipo electrónico en una bodega, un operario a cargo en el supuesto de acopio de 35 computadoras mensuales; incluye margen de ganancia de 30%. | -\$6,37 |
| Proceso | Proceso de desensamblaje, incluye mano de obra y cargas sociales, alquiler de espacio para el proceso y margen de ganancia del 30%. | -\$4,30 |
| Embalaje | Materiales de embalaje, cajas de cartón corrugado reciclados (gailors), sacas. | -\$0,13 |
| Comercialización local | Venta de materiales para ser reciclados, incluye cobre, aluminio, chatarra y plástico. | \$0,46 |
| Exportación | Incluye los costos del servicio de logística del material en Europa, el permiso de transporte de Basilea, el transporte marítimo y los costos de tratamiento de los monitores y el cableado. | -\$7,91 |
| Comercialización internacional | Retorno por la recuperación de metales en el proceso de los circuitos. | \$1,23 |
| Total | | -\$17,02 |

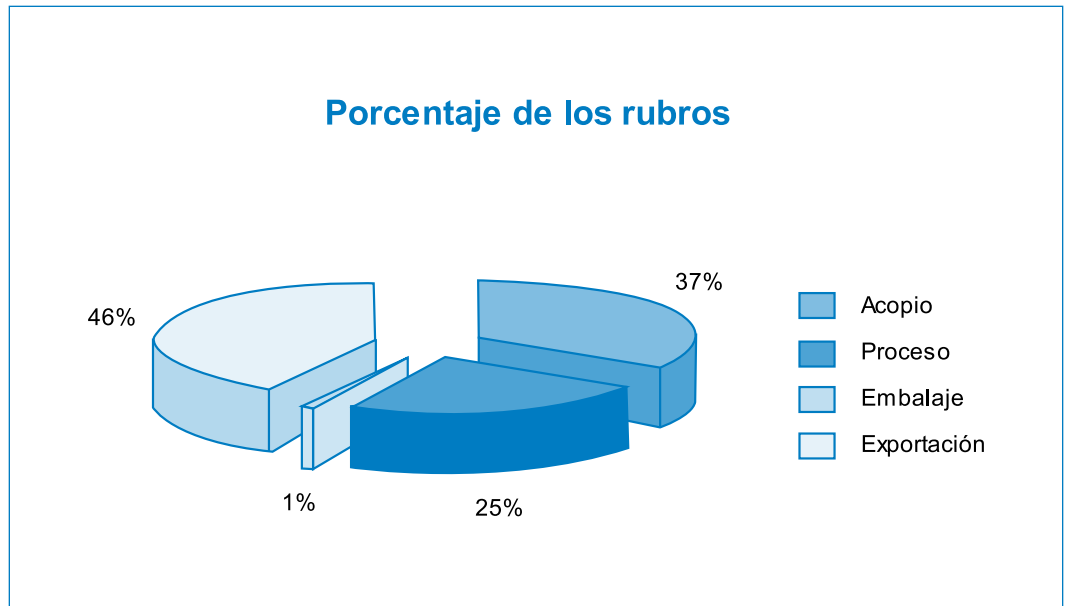


Figura 1. Contribución de los diferentes rubros en los costos de proceso de una computadora.

Siendo esta la primera experiencia en un sistema de manejo según los principios de responsabilidad extendida al productor, y el que contamina paga, en un futuro se establecerá el modelo para la implementación de las otras líneas de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Conclusiones

De los resultados presentados se puede concluir que el procesamiento del equipo electrónico tiene un costo aproximado de 17 USD. El rubro mayor es el proceso de exportación; se demuestra que el proceso de desensamblaje disminuye el costo total ya que permite una mayor eficiencia del espacio dentro del contenedor de exportación, tomando en cuenta que los costos de exportación fueron distribuidos a los materiales provenientes de 850 computadoras (algún material no pudo incluirse en el contenedor de 40 pies). Sin embargo, en el mismo contenedor solamente se hubieran podido exportar aproximadamente 260 computadoras, lo que aumentaría el costo de exportación aproximadamente a \$25 (\$7,91 desensamblando) y la cuota de proceso total podría aumentar a \$35 en cifras, aproximadamente.

Otro rubro importante es el de acopio, por lo que es necesario que el centro de acopio combine el acopio de residuo

electrónico con otros. Alternativamente, se podrían realizar eventos de recolección con frecuencias determinadas de forma que no requiera el proceso de acopio y que las empresas con grandes volúmenes de residuos electrónicos los trasladen directamente al sitio de desensamblaje.

De realizar el desensamblado en Costa Rica, hay beneficios sociales ya que representa una fuente de empleo. Sin embargo, es necesario realizar un estudio de factibilidad económica de forma que se estimen los puntos de equilibrio, ya que el residuo electrónico descartado por año se estabilizará una vez que se hayan procesado los residuos históricos acumulados.

Siendo esta la primera experiencia en un sistema de manejo según los principios de responsabilidad extendida al productor, y el que contamina paga, en un futuro se establecerá el modelo para la implementación de las otras líneas de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

Agradecimientos

Se agradece la participación del personal de la bodega de aprovisionamiento del Instituto Tecnológico de Costa Rica y del CTTM en el Parque Industrial de Cartago. Se agradece a la Comisión Ambiental Institucional la gestión para la consecución de fondos aportados por la Vicerrectoría de Administración para la experiencia piloto. Un reconocimiento al Lic. Juan Carlos Salas Jiménez por sus aportes durante el proceso de desensamblaje y comercialización de materiales a nivel local.

Bibliografía

Diagnóstico de la situación del manejo integrado y sostenible de los desechos electrónicos. ACEPESA-ITCR-CICR-MINAE, Costa Rica, Agosto, 2003.

Comunidad Autónoma del País Vasco. "Monografía sobre aparatos eléctricos y electrónicos", 2002.

<http://www.svtc.org/cleancc/pubs/ppc-ttv1.pdf>

Ogilvie, S.M. AEA Technology, WEEE & Hazardous Waste: A report produced for DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs), England, 2004.