

El reciclado de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) como opción de mitigación

Angel Gutman
Julio 2014

Contenidos

Síntesis ejecutiva.....	2
1. Introducción.....	4
2. La generación de RAEE en la Argentina.....	5
3. Reducción de emisiones de GEI asociadas al reciclado de RAEE.....	5
4. La experiencia internacional.....	7
5. Potencial de mitigación del reciclado de RAEE en la Argentina: estimaciones preliminares.....	7
5.1 Ahorro de emisiones por evitar incineración a cielo abierto de RAEE.....	7
5.2 Ahorro de emisiones por evitar la rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a basurales.....	10
5.3 Ahorro de emisiones por obtener materias primas mediante “minería de superficie” en reemplazo de minería tradicional.....	12
Conclusiones.....	15
Bibliografía.....	18

Síntesis ejecutiva

El presente documento analiza y realiza una estimación preliminar del potencial de mitigación del reciclado de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en la Argentina.

Los RAEE son los equipos y dispositivos que utilizan alguna forma de suministro de energía eléctrica y que llegaron al fin de su vida útil o bien que, por la introducción de nuevas tecnologías en el mercado, se transformaron en obsoletos.

Las principales fuentes de emisiones de GEI provenientes del tratamiento inadecuado de RAEE son esencialmente dos:

1. Emisiones de CO₂ por incineración de RAEE a cielo abierto;
2. Emisiones de gases fluorados por rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a basurales.

Adicionalmente, existen emisiones asociadas a los procesos de extracción de minerales y metales vírgenes que podrían evitarse si se recuperan materiales de los RAEE mediante procesos de reciclado (proceso conocido como “minería de superficie”).

Los principales co-beneficios asociados al reciclado de RAEE incluyen:

- Solución a un grave y creciente problema de salud pública y contaminación ambiental;
- Creación de fuentes de trabajo;
- Estimulación a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de reciclado a nivel nacional;
- Fomento a la asociación público-privada, ya que la experiencia internacional demuestra que la propiedad de las plantas de tratamiento de RAEE puede ser pública, privada o bien mixta y que, en ciertas circunstancias, el reciclado puede ser rentable.

Sin embargo, la principal barrera que enfrenta el reciclado de RAEE radica en que los procesos de recuperación de los materiales contenidos en ellos requieren una inversión económica considerable e implican costos de operación y mantenimiento que no siempre son cubiertos con la venta de los elementos recuperados. Estimaciones preliminares propias indican que una planta de tratamiento de RAEE con capacidad de procesar 10.000 toneladas anuales demanda una inversión inicial aproximada de € 8.000.000.

A nivel internacional existen plantas de reciclado de RAEE en Suecia, Japón, Estados Unidos y otros pocos países de Europa Occidental. Estas plantas son en su mayoría de propiedad privada, si bien en algunos casos se trata de empresas públicas (generalmente, municipales). La construcción y operatoria de estas plantas suele ser financiada mediante fondos especiales a los que aportan fabricantes, importadores y/o consumidores, de acuerdo a las diversas legislaciones vigentes que especifican las responsabilidades relativas y la distribución de costos.

En la Argentina, no existe ninguna planta de tratamiento de RAEE; sólo algunas empresas que efectúan la disposición final de pilas y baterías y algunas otras que están habilitadas por la SAyDS

para exportar plaquetas electrónicas en desuso a plantas de tratamiento localizadas en el exterior. Tampoco existe legislación específica sobre la gestión de RAEE. Sin embargo, han sido presentados en la Cámara de Senadores proyectos de ley que introducen el concepto de “responsabilidad extendida individual del productor” refiriéndose al fabricante o importador, proponiendo fijar una tasa anticipada de gestión de RAEE de pago obligatorio. Estos proyectos, no obstante, han perdido estado parlamentario debido a que no fueron tratados dentro de los plazos legales necesarios.

Las Directrices del IPCC para la elaboración de Comunicaciones Nacionales a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático no incluyen de manera explícita la generación de GEI producida por la gestión inadecuada (o, directamente, la falta de gestión) de RAEE.

En este marco, este documento desarrolla una metodología propia y, mediante el establecimiento de varios supuestos, realiza una estimación de mínima sobre el potencial de mitigación de RAEE en el país (por no contar con datos fiables no se incluyen en el cálculo equipos de electromedicina, electrónica industrial, juguetes electrónicos, lámparas de bajo consumo ni equipos de refrigeración y aire acondicionado de uso industrial).

Los resultados de las estimaciones arrojan que si se reciclara el 100% de los RAEE generados anualmente en el país podría lograrse un ahorro anual de emisiones de aproximadamente 5 Mt CO₂. El resumen de los cálculos se presenta en la siguiente tabla.

Síntesis de resultados:

Ahorro anual de emisiones por reciclar RAEE en Argentina

Fuente del ahorro	Ahorro de emisiones (en t CO ₂ e)
Ahorro de emisiones por incineración evitada de RAEE a cielo abierto (Sección 5.1)	16.603
Emisiones evitadas de gases fluorados por rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados en basurales (Sección 5.2)	3.222.100
Emisiones evitadas por reemplazar minería tradicional por “minería de superficie” (Sección 5.3)	1.695.879
TOTAL	4.934.582

Si bien estas estimaciones constituyen un primer paso importante, son necesarios cálculos más precisos si se deseara avanzar en la realización de un estudio de prefactibilidad para instalar una planta de tratamiento de RAEE en el país. Al final del documento se detallan los elementos sobre los cuales es preciso profundizar el análisis.

1. Introducción

Este documento analiza y realiza una cuantificación preliminar de la contribución a la reducción de emisiones de GEI que aportaría la instalación de una planta de reciclado de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en la Argentina.

Los RAEE son los equipos y dispositivos que utilizan alguna forma de suministro de energía eléctrica y que llegaron al fin de su vida útil o bien que, por la introducción de nuevas tecnologías en el mercado, se transformaron en obsoletos.

Los RAEE se clasifican en:

- *Línea Blanca*: Heladeras, lavarropas, secarropas, lavavajillas, hornos, cocinas, etc.;
- *Línea Gris*: Teléfonos celulares, equipamiento informático (computadoras, impresoras, mouses, etc.) y equipos de telecomunicaciones;
- *Línea Marrón*: Televisores, equipos de audio y DVD, cámaras digitales, filmadoras, etc.;
- *Varios*: Pilas y baterías, lámparas de descarga y tubos fluorescentes, equipos de electromedicina.

Aproximadamente, 50% del peso de los aparatos eléctricos y electrónicos está constituido por metales, principalmente acero, aluminio, cobre, plomo y metales preciosos. 25% del peso, en promedio, está constituido por plásticos mientras que el restante 25% corresponde a vidrios. Los teléfonos celulares y las baterías contienen, además, pequeñas cantidades de metales no convencionales de elevado valor económico, como por ejemplo el coltan (columbita - tantalita).

Cuando estos aparatos se desechan, sus residuos contienen componentes tóxicos tales como cadmio, plomo, mercurio, berilio, estroncio, cromo, fósforo, antimonio y compuestos bromados o fluorados que no debieran ser depositados en basurales ni en rellenos sanitarios.

Por su parte, la quema de residuos al aire libre y la fusión descontrolada en hornos (es decir, venteo sin tratamiento previo de gases provenientes de la combustión de desechos sólidos) generan importantes emisiones de GEI, principalmente CO₂ (generado al incinerar a cielo abierto desechos con alto contenido de carbono, como por ejemplo los plásticos) y gases fluorados (por rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a los basurales).

Las Directrices del IPCC para la elaboración de Comunicaciones Nacionales a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático no incluyen de manera explícita la generación de GEI producida por la gestión inadecuada (o, directamente, la falta de gestión) de RAEE, sino que lo contemplan sólo indirectamente dentro de los subsectores Residuos sólidos urbanos y Procesos industriales de obtención de materias primas.

A continuación, la Sección 2 explica la problemática de la generación de RAEE en la Argentina. Luego, la Sección 3 describe cuáles son las principales fuentes de emisión de GEI provenientes del tratamiento inadecuado de RAEE y los impactos positivos que el reciclado puede tener sobre las mismas. Posteriormente, la Sección 4 describe brevemente la experiencia internacional. La Sección 5 presenta los resultados de las estimaciones preliminares del potencial de mitigación del reciclado de RAEE en la Argentina. Finalmente, se presentan algunos comentarios finales.

2. La generación de RAEE en la Argentina

En la Argentina, de acuerdo a datos de Greenpeace (2012), cada habitante genera alrededor de 3 kg de basura tecnológica por año, lo que representa 120.000 tn de RAEE anuales. Se calcula que alrededor del 50% de estos residuos están arrumbados en oficinas, hogares, entes públicos o depósitos; más del 40% se descarga en basurales y rellenos sanitarios y sólo un 10% ingresa en algún esquema formal de gestión de residuos.

La tendencia a la baja de los precios de los productos electrónicos junto con la evolución tecnológica inducen año a año un volumen creciente de residuos tecnológicos, como muestra la siguiente tabla.

Tabla 1
Evolución de la generación de RAEE en Argentina
(2009-2011)

Equipo	2009		2010		2011	
	Unidades en desuso	Total kg	Unidades en desuso	Total kg	Unidades en desuso	Total kg
Laptop	150.000	450.000	340.000	1.020.000	530.000	1.540.000
PC escritorio	1.250.000	15.000.000	1.550.000	18.600.000	1.750.000	21.000.000
Monitores	1.250.000	12.500.000	1.600.000	16.000.000	2.000.000	20.000.000
Teléfonos celulares	10.000.000	1.000.000	11.000.000	1.100.000	12.000.000	1.200.000
Receptores de TV	1.150.000	31.050.000	1.250.000	32.500.000	1.400.000	35.000.000

Fuente: Elaboración propia en base a estadísticas de la Cámara Argentina de Máquinas de Oficina, Comerciales y Afines (CAMOCA)

A la fecha, no existe en el país ninguna planta de tratamiento de RAEE. Sólo existen algunas empresas que efectúan la disposición final de pilas y baterías y algunas otras que están habilitadas por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) para exportar plaquetas electrónicas en desuso a plantas de tratamiento localizadas en el exterior.

Si bien la Argentina no cuenta aún con una legislación específica sobre la gestión de RAEE, cabe mencionar que han sido presentados en la Cámara de Senadores proyectos de ley que introducen el concepto de “responsabilidad extendida individual del productor” refiriéndose al fabricante o importador, proponiendo fijar una tasa anticipada de gestión de RAEE de pago obligatorio. Sin embargo, estos proyectos han perdido estado parlamentario debido a que no fueron tratados dentro de los plazos legales necesarios.

3. Reducción de emisiones de GEI asociadas al reciclado de RAEE

Las principales fuentes de emisión de GEI provenientes del tratamiento inadecuado de RAEE son esencialmente dos:

3. Emisiones de CO₂ por incineración de RAEE a cielo abierto;
4. Emisiones de gases fluorados por rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a basurales;

Adicionalmente, existen emisiones asociadas a los procesos mineros de extracción de minerales y metales vírgenes que podrían evitarse si se recuperaran materiales de los RAEE mediante procesos de reciclado (proceso conocido como “minería de superficie”).

Las emisiones producidas por la gestión inadecuada de los RAEE pueden reducirse mediante un adecuado proceso de reciclado que consta de tres etapas diferenciadas:

1° - *Recolección y clasificación*: Cada tipo de RAEE produce diferentes niveles y tipos de emisiones y contaminación, posee diferente potencial de recuperación de materiales y requiere distinta logística de transporte. Esta primera fase puede generar una importante cantidad de puestos de trabajo para personas con baja calificación profesional.

2° - *Tratamiento físico-químico*: Se realiza en plantas de tratamiento donde se modifican las características físicas o bien la composición química de los residuos de manera de separar elementos, eliminar las propiedades nocivas de éstos y, finalmente, obtener un residuo menos peligroso. La diversidad de equipos y dispositivos que conforman los RAEE implica que para su tratamiento se debe disponer de diferentes tipos de *know-how* de recuperación y tecnologías adecuadas, lo cual brinda la posibilidad de generar una amplia red de investigación y desarrollo de métodos y procedimientos de reciclado en articulación con la planta de tratamiento.

3° *Disposición Final*: Los residuos irreductibles se disponen en rellenos de seguridad o son inmovilizados mediante procedimientos de cementación o ceramización.

Durante el proceso de reciclado puede recuperarse, en promedio, entre el 60% y el 80% de los materiales contenidos en cada tipo de equipo.

Las directrices del “Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación” (1989) establecen normas estrictas para el transporte de los RAEE a través de las fronteras nacionales, fomentando la instalación de plantas de reciclado locales.

La principal barrera para la instalación de plantas de reciclado de RAEE radica en que los procesos de recuperación de los materiales contenidos requieren una inversión económica considerable e implican costos de operación y mantenimiento que no siempre son cubiertos con la venta de los elementos recuperados. Estimaciones preliminares realizadas por el autor indican que una planta de tratamiento de RAEE con capacidad de procesar 10.000 toneladas anuales demanda una inversión inicial aproximada de € 8.000.000.

Si bien es previsible que en un futuro no muy lejano los costos se reduzcan debido al aumento en la eficiencia de los procesos y los precios de los materiales recuperados se incrementen debido al

agotamiento de los recursos naturales¹, lo cierto es que hoy por hoy es preciso subsidiar el reciclado de RAEE.

4. La experiencia internacional

Actualmente, existen plantas de reciclado de RAEE en Suecia, Japón, Estados Unidos y otros pocos países de Europa Occidental. Estas plantas son en su mayoría de propiedad privada, si bien en algunos casos se trata de empresas públicas (generalmente, municipales).

La construcción y operatoria de estas plantas suele ser financiada mediante fondos especiales a los que aportan fabricantes, importadores y/o consumidores, de acuerdo a las diversas legislaciones vigentes que especifican las responsabilidades relativas y la distribución de costos. Por ejemplo, en Japón la ley establece que, como mínimo, debe reciclarse el 50% de los televisores, equipos de aire acondicionado, lavadoras y refrigeradores producidos en el país. Los compradores contribuyen pagando €36 extra por cada equipo nuevo que adquieren. En España, a cada celular se le carga unos 5 centavos de euro para cubrir parte de los costos del reciclado.

5. Potencial de mitigación del reciclado de RAEE en la Argentina: estimaciones preliminares

5.1 Ahorro de emisiones por evitar incineración a cielo abierto de RAEE

El cálculo de la cantidad anual de CO_{2e} que podría ahorrarse como consecuencia de evitar la incineración de RAEE a cielo abierto se realizó en base a la siguiente metodología.

En primer lugar, se estimó el volumen anual de RAEE generados en el país desagregados por tipo de equipo. Debido a la escasa información disponible, se promediaron los valores en kg para los años 2009, 2010 y 2011 de acuerdo a estadísticas de la Cámara Argentina de Máquinas de Oficina, Comerciales y Afines (CAMOCA) (Tabla 1).

Para los equipos no incluidos en la Tabla 1 se tomaron estadísticas del Ministerio de Industria (Serie Producción Física) y se promedió la producción de los años 2005 a 2009. Para estimar el peso individual de cada tipo de equipo se extrapolaron especificaciones de Manuales Técnicos de fabricantes de equipos. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2
Fabricación nacional de equipos electrónicos en el quinquenio 2005-2009
(unidades y peso por unidad)

¹ Existen estimaciones que indican que el indio (usado en los LCD que componen las pantallas planas) tiene reservas calculadas en sólo 10 años; el antimonio (utilizado en materiales aislantes), en 15 años y el terbio (usado en tubos fluorescentes), en 10 años.

	Lavarropas	Secarropas	Heladeras	Aires Acondicionado	Aires Acondicionado p/ coche	Lámparas
2005	696.646	405.495	352.461	394.996	193.983	97.400.000
2006	774.496	468.998	423.181	751.901	288.174	96.000.000
2007	968.513	577.118	645.502	1.005.852	369.247	100.100.000
2008	764.831	522.436	451.126	1.373.662	405.526	87.600.000
2009	908.303	305.799	641.943	570.897	314.853	75.600.000
Promedio Anual (unidades)	822.558	455.969	502.843	819.462	314.357	91.340.000
Peso por Unidad (en kg)	50	25	45	20	5	0,1

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio de Industria y de diversos fabricantes nacionales

No se incluyeron en el cálculo, debido a que no se encontraron datos fiables, equipos de electromedicina, electrónica industrial, juguetes electrónicos, lámparas de bajo consumo y refrigeración industrial.

Con los datos de la Tabla 1 (promedio de equipos fuera de uso en el trienio 2009-2011) y de la Tabla 2 (promedio de producción nacional de equipos del quinquenio 2005-2009), se confeccionó la Tabla 3 (toneladas anuales de RAEE generadas en Argentina por tipo de equipo), suponiendo que la totalidad de los equipos fabricados en 2005-2009 están obsoletos o bien próximos a la obsolescencia.

Tabla 3
Toneladas anuales de RAEE generadas en Argentina por tipo de equipo

EQUIPO	CANTIDAD ANUAL ESTIMADA DE UNIDADES EN DESUSO	PESO PROMEDIO POR UNIDAD (kg)	PESO TOTAL (tn)
Laptop	340.000	2,9	986
PC escritorio	1.516.000	10	15.160
Monitores	1.617.000	10	16.170
Teléfonos celulares	11.000.000	0,1	1.100
Receptores de TV	1.266.000	25	31.650
Lámparas	91.340.000	0,1	9.134
Lavarropas	822.558	50	41.127
Secarropas	455.969	25	11.399

Heladeras domésticas	502.843	45	22.627
Aire Acondicionado	819.462	35	26.682
Aire Acondicionado para Automóvil	314.357	5	1.571

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio de Industria y de la Cámara Argentina de Máquinas de Oficina, Comerciales y Afines

A continuación, se segregaron los distintos tipos de materiales contenidos en los RAEE. Los resultados se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 4
Materiales contenidos en los RAEE (en % del peso del equipo)

	Metales Ferrosos (acero, latón, níquel)	Metales no Ferrosos (aluminio, cobre, plomo)	Vidrio	Plásticos	Gases Refrigerantes	Hormigón	Varios
PC de escritorio (mix de CPU, teclado, mouse e impresora)	27	25		28			20
Laptop	20	29	19	23			9
Monitores	21	28	18	23			10
Teléfonos Celulares		25	16	56			3
Receptores de TV	20	15	30	25			10
Lámparas	4,5	5,9	86,4	1,4			1,8
Heladeras	50	7	1	40	0,8		1,2
Lavarropas	54	7	3	17		12	7
Secarropas	54	7	3	17		12	7
Aire Acondicionado	50	15		22	12,5		0,5
Aire Acondicionado de Automóviles	50	15		18	16		1

Fuente: Elaboración propia en base a datos de *Journal of the World Resource Foundation*, Anfel (Asociación Fabricantes Electrodomésticos Línea Blanca- España), Association for Electric Home Appliances of Japon, Instituto Fraunhofer para la Fiabilidad y la Microintegración, Microelectronic and Computer Technology Corporation (MCC) y la Agencia Ambiental de EEUU (EPA)

Con los datos de las Tabla 4 (composición de los RAEE) y 3 (toneladas anuales de equipos en desuso) se confeccionó la Tabla 5 (toneladas anuales de los principales materiales contenidos en los RAEE). Se supuso para el cálculo que el total de estos materiales no se procesa adecuadamente y se incinera a cielo abierto en vertederos comunes.

Tabla 5
Toneladas anuales de los principales materiales contenidos en los RAEE que se supone son incineradas a cielo abierto

Materiales provenientes de RAEE	Toneladas anuales incineradas a cielo abierto
Metales no Ferrosos	23.663
Metales Ferrosos	68.132
Plásticos	43.525
Vidrios	22.462

Fuente: Elaboración propia

Por último, se estimó, para los materiales más significativos contenidos en los RAEE, la cantidad de CO_{2e} emitido por tonelada de residuo incinerado en base a Hogg (2006) (Tabla 6).

Tabla 6
Emisiones de CO₂ por tn de residuo incinerado

MATERIAL	kg de CO_{2e} emitidos por tn de residuo incinerado
Plásticos	276
Vidrio	8
Metales Ferrosos	30
Metales no Ferrosos	100

Fuente: Elaboración propia en base a Hogg (2006)

Finalmente, a partir de las Tablas 5 (toneladas anuales de materiales incinerados a cielo abierto) y 6 (kg de CO_{2e} emitidos por tonelada de residuo incinerado) se obtuvo un cálculo de las toneladas anuales de CO_{2e} que son emitidas al incinerar a cielo abierto RAEE en la Argentina (Tabla 7).

Tabla 7
Emisiones anuales de CO_{2e} por incineración de RAEE en la Argentina

MATERIAL	Toneladas anuales de CO_{2e} generados al incinerar RAEE
Plásticos	12.013
Vidrio	179
Metales Ferrosos	2.044
Metales no Ferrosos	2.366
TOTAL	16.603

Fuente: Estimación propia

5.2 Ahorro de emisiones por evitar la rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a basurales

Los hidrofluorocarbonos (HFC) son sustancias químicas sintéticas compuestas por hidrógeno, flúor y carbono. Desde la década de 1990 son intensamente utilizados en el sector industrial como refrigerantes, en reemplazo de los clorofluorocarbonos (CFC) y los hidroclorofluorocarbonos (HCFC) que agotan la capa de ozono.

En los compuestos HFC los átomos de flúor no catalizan la destrucción del ozono pero, como es sabido, han sido identificados en el Protocolo de Kioto como uno de los seis gases antropogénicos que intensifican el efecto invernadero.

Los HFC tienen ciclos de vida de distinta duración, desde poco más de un año hasta 270 años, y diferentes Potenciales de Calentamiento Global (GWP por sus siglas en inglés)². Por ejemplo, uno

² El GWP es un indicador que define el efecto de calentamiento a lo largo del tiempo (la medida más usada es cien años) que produce una liberación instantánea de 1kg de un GEI en comparación con el causado por el CO₂. Tiene en cuenta la capacidad de cada gas de intensificar el efecto invernadero así como su tiempo de

de los gases más utilizados en los equipos de refrigeración y aire acondicionado de uso doméstico y en el automóvil, el compuesto conocido como HFC-134^a (tetrafluoroetano), permanece activo en la atmósfera durante 14 años y tiene un potencial de calentamiento global de 1.300.

La siguiente Tabla muestra el GWP de los gases fluorados más utilizados como refrigerantes en los equipos eléctricos y electrónicos.

Tabla 8
Potencial de Calentamiento Global de los refrigerantes más utilizados

Refrigerante	Fórmula	Potencial de Calentamiento Global
R-23	CHF ₃	11700
R-32	CH ₂ F ₂	650
R-125	CF ₃ CHF ₂	2800
R-134 ^a	CF ₃ CH ₂ F	1300
R-143 ^a	CH ₃ CF ₃	3800
R-152 ^a	CH ₃ CHF ₂	140
R-152 ^a	CHF ₂ CH ₃	140

Fuente: IPCC (2007)

El cálculo de CO_{2e} emitido como consecuencia de la rotura accidental de los compresores y/o de los conductos de los equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a los basurales se realizó en base a los siguientes supuestos:

1. El 100% de los equipos utiliza el gas refrigerante HFC-134^a;
2. El 100% de los equipos de refrigeración y aire acondicionado fuera de uso son arrojados a los basurales y se dañan, liberando el total del gas refrigerante que contienen.

No se incluyó en el cálculo, debido a que no se encontraron datos fiables, equipos de refrigeración y aire acondicionado de uso industrial.

Con los datos de las Tablas 4 (materiales contenidos en los RAEE, en % del peso del equipo) y 3 (peso promedio por equipo y cantidad anual estimada de unidades en desuso) se calculó la cantidad de gas refrigerante que se libera anualmente en los basurales en el país (Tabla 9).

Tabla 9
Cantidad anual de gases refrigerantes liberados en basurales en la Argentina

EQUIPO	% de refrigerante en el peso total de cada equipo	Cantidad de refrigerante por equipo (kg)	Cantidad anual de equipos arrojados a basurales	Cantidad anual de refrigerante liberado en basurales (tn)
Heladera	0,8	0,35	502.843	176
Aire Acondicionado	12,5	2,50	819.462	2049
Aire	16	0,80	314.357	252

persistencia en la atmósfera.

Acondicionado de Automovil				
----------------------------	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia en base a manuales de fabricantes y a estadísticas de la Cámara Argentina de Máquinas de Oficina, Comerciales y Afines (CAMOCA)

Finalmente, a partir de las Tabla 8 (Potenciales de Calentamiento Global) y 9 (Cantidad anual de refrigerante liberado en basurales) se obtuvo una estimación de las toneladas anuales de CO_{2e} generadas por la emisión de gases fluorados al producirse la rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a vertederos (Tabla 10).

Tabla 10
Emisiones anuales de CO_{2e} debido a la liberación de gases fluorados en vertederos

EQUIPO	Cantidad anual de refrigerante R-134^a liberado (tn)	Potencial de Calentamiento Global del R-134^a	Toneladas anuales de CO_{2e} generadas por emisión de gases refrigerantes
Heladera	176	1300	228.800
Aire Acondicionado	2049	1300	2.663.700
Aire Acondicionado de Automovil	252	1300	327.600
TOTAL			3.220.100

Como puede observarse, es más significativa la cantidad de CO_{2e} generado por la liberación de gases fluorados que el producido por la quema a cielo abierto de RAEE.

5.3 Ahorro de emisiones por obtener materias primas mediante "minería de superficie" en reemplazo de minería tradicional

En el presente, la fuente principal de suministro de metales y materias primas para fabricar materiales como vidrio y plástico es la producción primaria (extracción de materia virgen de la Naturaleza) y, en un volumen mucho menor, la producción secundaria (reciclado o "minería de superficie").

Como es sabido, el impacto ambiental (consumo de agua, contaminación de napas subterráneas, etc.) y de emisiones de GEI involucrados en los procesos de extracción mineros es alto. Por ejemplo, para extraer una tonelada de oro, paladio o platino se generan aproximadamente 10.000 toneladas de CO₂, mientras que para obtener una tonelada de cobre se emiten 3,4 toneladas de CO₂.

La Tabla 11 a continuación muestra las cantidades de CO₂ que se emiten en la producción primaria de algunos de los metales más utilizados en las industrias eléctrica y electrónica.

Tabla 11
Toneladas de CO₂ emitidas por tonelada de mineral extraído de minas

METAL	Toneladas de CO₂ emitidas por tonelada de mineral extraído

Cobre	3,4
Cobalto	7,6
Estaño	16,1
Indio	142
Plata	144
Oro	16991
Paladio	9380
Platino	13954
Rutenio	13953

Fuente: Swiss Center for Life Cycle Inventories, con datos de Ecoinvent Data v2.0. - 2006

La Tabla 12 a continuación muestra las aplicaciones más frecuentes de estos metales en la fabricación de equipos eléctricos y electrónicos.

Tabla 12
Principales aplicaciones de metales en las industrias eléctrica y electrónica

Metal	Principales aplicaciones en las industrias eléctricas y electrónicas
Cobre	Cables, alambres, conectores
Plata	Contactos, interruptores, soldaduras
Oro	Contactos, circuitos integrados
Paladio	Capacitores multicapa, conectores
Platino	Discos duros, termocuplas, pilas de combustible
Rutenio	Discos duros, pantallas de plasma
Estaño	Soldaduras
Cobalto	Electromedicina
Antimonio	Retardante de llama, pantallas de tubos de rayos catódicos
Bismuto	Soldaduras, capacitores, disipadores de calor
Selenio	Acopladores opto-electrónicos, celdas solares
Indio	Pantallas LCD, semiconductores

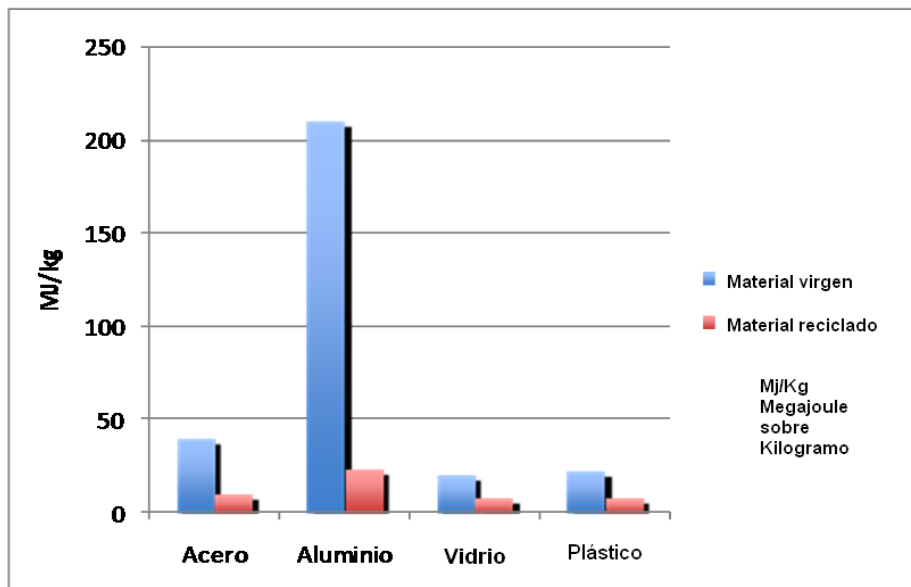
Fuente: Elaboración propia

Como ya se mencionó, uno de los mayores beneficios de la gestión adecuada de RAEE es la recuperación de materiales. Los materiales recuperados pueden sustituir materias primas que, de otra manera, hubieran sido extraídas mediante procesos tradicionales, emitiendo considerables volúmenes de GEI.

Si bien los procesos de recuperación de materiales a partir del reciclado de RAEE también producen emisiones de GEI, éstas son notablemente inferiores a aquéllas generadas en la producción primaria debido al ahorro de energía que se logra al reducir las actividades de extracción.

El siguiente gráfico muestra la comparación de consumo de energía para la obtención de acero, aluminio, vidrio y plástico partiendo de material virgen y de material reciclado.

Gráfico 1
Comparación del consumo de energía utilizando material virgen y material reciclado



Fuente: Oeko-Institu e.V. (Institut für angewandte Ökologie)

Nota: 1 kW h (kilovatio·hora) = $3,6 \times 10^6$ Joule

El Gráfico 1 muestra que el reciclado de aluminio ahorra el 95% de la energía que habría sido consumida en la producción de aluminio a partir del mineral virgen. Por su parte, se consume 70% menos de energía al reciclar acero, 78% menos al reciclar vidrio y 79% menos al reciclar plásticos.

Utilizando un factor de emisión³ de 0,42 kg CO_{2e}/Kwh (SAyDS-JICA, 2007), se estimó el ahorro anual de emisiones de CO_{2e} que se lograría al reemplazar producción minera primaria por “minería de superficie” (producción secundaria a partir del reciclado de RAEE) en base a la metodología que se describe a continuación.

En primer lugar, a partir del Gráfico 1 se estimó el ahorro de energía que se logra al producir aluminio, acero, vidrio y plástico utilizando material reciclado en lugar de material virgen, asumiendo que la totalidad de los metales ferrosos contenidos en los RAEE es acero y que la totalidad de los metales no ferrosos es aluminio. Se obtuvieron los siguientes valores:

Ahorro de energía por reciclado:

- Aluminio: 190 Mj = 52,8 Kwh por Kg
- Acero: 27 Mj = 7,5 Kwh por Kg
- Vidrio: 14 Mj = 3,9 Kwh por Kg
- Plástico: 15 Mj = 4,15 Kwh por Kg

En segundo lugar, se multiplicó este ahorro energético por la cantidad (kg) de cada material contenido en los RAEE, estimado en la Tabla 5. Se obtuvo así una estimación del ahorro energético que se lograría si se produjeran los volúmenes de materiales de la Tabla 5 a partir de la recuperación de RAEE (reciclado):

³ Los factores de emisión indican, en este caso, cuántos kg de CO_{2e} se liberan a la atmósfera al producir 1 kWh de electricidad, lo que depende del tipo de generación eléctrica (térmica, hidroeléctrica, geotérmica, eólica, solar, biomasa, nuclear, etc.) y de la eficiencia de la planta generadora.

- Aluminio: 3.597.369,6 Mwh
- Acero: 177.472,5 Mwh
- Vidrio: 169.747,5 Mwh
- Plástico: 93.217,3 Mwh

Finalmente, se multiplicó este ahorro energético anual por el factor de emisión de 0,42 kg CO₂e/Kwh (SAyDS-JICA, 2007). De esta forma, se obtuvo como resultado la cantidad de CO₂e que se dejaría de emitir si se reemplazara producción primaria de acero, aluminio, vidrio y plásticos por recuperación de materiales a partir del reciclado de RAEE (Tabla 13).

Tabla 13
Emisiones anuales evitadas de CO₂e si se reciclan RAEE

MATERIAL	Toneladas anuales de CO ₂ e que se dejan de emitir
Acero	74.538,45
Aluminio	1.510.895,23
Vidrio	71.293,95
Plásticos	39.151,26
TOTAL	1.695.878,89

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Este documento buscó realizar una estimación preliminar del potencial de reducción de emisiones de GEI del reciclado de RAEE en la Argentina.

Tomando una serie de supuestos, los resultados de las estimaciones arrojan que si se reciclara el 100% de los RAEE generados anualmente en el país podría lograrse un ahorro anual de emisiones de aproximadamente 5 Mt CO₂. El resumen de los cálculos se presenta en la Tabla 14 a continuación.

Tabla 14
Síntesis de resultados:
Ahorro de emisiones por reciclar RAEE en Argentina

Fuente del ahorro	Ahorro de emisiones (en t CO ₂ e)
Ahorro de emisiones por incineración evitada de RAEE a cielo abierto (Sección 5.1)	16.603
Emisiones evitadas de gases fluorados por rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado en basurales (Sección 5.2)	3.222.100
Emisiones evitadas por reemplazar minería tradicional por “minería de superficie” (Sección 5.3)	1.695.879
TOTAL	4.934.583 CO₂e

Fuente: Elaboración propia

Los principales co-beneficios asociados al reciclado de RAEE incluyen:

- Solución a un grave y creciente problema de salud pública y contaminación ambiental;
- Creación de fuentes de trabajo;
- Estimulación a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías de reciclado a nivel nacional;
- Fomento a la asociación público-privada, ya que la experiencia internacional demuestra que la propiedad de las plantas de tratamiento puede ser pública, privada o bien mixta y que, en ciertas circunstancias, el reciclado de RAEE puede ser rentable.

No obstante, la principal barrera que enfrenta el reciclado de RAEE en el presente es su baja rentabilidad, dados los altos costos actuales de inversión y operativos y las relativamente bajas ganancias esperadas por la venta del material recuperado. La sanción de una normativa que imponga responsabilidades y costos sobre generadores y consumidores parece, *a priori*, un primer paso fundamental para generar los incentivos necesarios que permitan avanzar en el proceso de desarrollo de una planta de reciclado de RAEE. El hecho de que haya existido un proyecto de ley a nivel nacional sobre la temática constituye es un factor positivo, pues muestra el interés de algunos actores de la sociedad por impulsar iniciativas de este tipo.

A nivel analítico, es preciso obtener estimaciones más precisas a fin de realizar un estudio de prefactibilidad a nivel país para instalar una planta de tratamiento de RAEE que incluya

fundamentalmente electrodomésticos (heladeras, lavarropas, equipos de video y audio, etc), lámparas halógenas, tubos fluorescentes y plaquetas electrónicas. Para ello, sería necesario desarrollar las siguientes acciones:

- Cuantificar el volumen anual de cada tipo de RAEE generado en la Argentina;
- Determinar qué elementos componen cada tipo de RAEE y en qué porcentaje;
- Identificar a los proveedores de tecnología y *know how* necesarios para el tratamiento de cada tipo de RAEE;
- Identificar espacios físicos para la eventual instalación de la planta así como los permisos requeridos;
- Determinar la matriz de rinde de cada elemento reciclado por kg de RAEE;
- Determinar la matriz de costos operativos de cada elemento reciclado;
- Determinar la cantidad de emisiones de CO₂ que se evitan por tn de elemento recuperado a partir de los RAEE, incluyendo un esquema de medición, reporte y verificación (MRV);
- Analizar precios de venta y mercados potenciales de cada elemento reciclado;
- Definir procedimientos para la disposición final de los residuos no reciclables;
- Determinar la logística y los costos de la recolección y clasificación de RAEE;
- Determinar la cantidad y calificación del personal necesario para las etapas de recolección, clasificación, tratamiento y disposición final de los RAEE;
- Realizar un procedimiento de valuación contingente de los RAEE (cuanto estarían dispuestos a pagar los consumidores para evitar un deterioro de la calidad ambiental);
- Evaluar el costo de inversión para la planta de tratamiento según diferentes volúmenes a procesar así como sus respectivos costos de operación y mantenimiento (estimaciones preliminares propias indicarían que instalar una planta de tratamiento de RAEE con capacidad de procesar 10.000 toneladas anuales demanda una inversión inicial aproximada de € 8.000.000);
- Determinar los eventuales impactos ambientales de la instalación de la planta y realizar el balance respecto a las ventajas ambientales del tratamiento;
- Realizar una evaluación financiera, económica, institucional, social y de riesgo del proyecto, incluyendo la identificación de barreras y grupos que se opondrían eventualmente a la instalación de la planta, los eventuales cambios que sería necesario introducir en el marco legal y normativo y las estrategias comunicacionales que sería necesario desarrollar para obtener licencia social de las comunidades involucradas.

Estas acciones permitirían evaluar la factibilidad técnica, socioeconómica y ambiental de instalar una planta de tratamiento de RAEE en el país y sentarían las bases para estandarizar una metodología de análisis aplicable a países emergentes de características similares a la Argentina.

Bibliografía

Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación (1989)

Fundación Bariloche (2008): "Proyecciones Anuales de Emisión de GEI destacando en el análisis los años 2010, 2020 y 2030"

Greenpeace (2012): "Minería y Basura Electrónica"

Hogg, D. (2006): "A Changing Climate for Energy from Waste?" Final Report for Friends of the Earth Europe

IPCC (2007): "Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge, Cambridge University Press

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (2013): Evaluación de necesidades tecnológicas ante el cambio climático: Informe final sobre tecnologías para la mitigación

SAyDS-JICA (2007): "Determinación y Aplicación - Factor de Emisión CO₂ de la Red Argentina", Sec. de Ambiente y Desarrollo Sustentable-JICA, Junio 2007

Smith, A.; Brown, K.; Ogilvie, S.; Rushton, K. y J. Bates (2001): "Waste management options and climate change", Final report to the European Commission, DG Environment