

---

# **El reciclado de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (*RAEE*) como opción de reducción de emisiones de GEI**

**Angel Gutman**

**Fundación Torcuato Di Tella  
(FTDT)**

Buenos Aires, Argentina

Abril 2015

# Objetivo

---

Analizar y cuantificar preliminarmente la contribución a la reducción de emisiones de GEI que aportaría la instalación en la Argentina de una planta de reciclado de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) que trate adecuadamente los desechos tecnológicos generados en el país.

La metodología de cálculo se puede aplicar a cualquier otro país, cambiando los datos de volumen y segregación por equipos de los RAEE generados.

# Contenidos

---

1. Qué son los RAEE
2. Cómo se clasifican
3. Daños ambientales provocados por una gestión incorrecta
4. Potencial de reducción de emisiones del reciclado de RAEE
5. Etapas del reciclado de RAEE
6. Estimación del potencial de reducción de emisiones de GEI del reciclado de RAEE en la Argentina

# 1. Qué son los RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos )

---

Son equipos, dispositivos o partes de ellos que:

- Llegaron al fin de su vida útil;
- Se transformaron en obsoletos por la introducción en el mercado de nuevas tecnologías.

## 2. Cómo se clasifican los RAEE

- “Línea Blanca”: heladeras, lavarropas, secarropas, lavavajillas, acondicionadores de aire, hornos y cocinas eléctricas, etc.
- “Línea Gris”: equipamiento informático (computadoras, impresoras, mouse) y de telecomunicaciones (incluye teléfonos).
- “Línea Marrón”: televisores, DVD, equipos de audio, cámaras digitales, filmadoras, etc.
- “Varios”: pilas y acumuladores, lámparas de descarga y halógenas, equipos de electromedicina, juguetes, etc.



### 3. Daños ambientales provocados por una gestión incorrecta

- Los RAEE contienen componentes tóxicos (cadmio, plomo, mercurio, berilio, estroncio, cromo, fósforo, antimonio y compuestos fluorados y bromados), que no debieran ser depositados en basurales ni en rellenos sanitarios;
- La quema de residuos al aire libre o en hornos que liberan los gases de combustión sin tratamiento previo genera emisiones de  $\text{CO}_2$ ;
- También se producen emisiones de gases fluorados por rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a los basurales.



## 4. Potencial de reducción de emisiones del reciclado de RAEE

---

- Con un tratamiento adecuado se puede recuperar entre el 60% y el 80% de los RAEE.
- Reciclar componentes permite ahorrar energía en el proceso de extracción de minerales (**“minería de superficie”**).

Las plantas de reciclado de RAEE están alineadas con los Objetivos de Desarrollo del Milenio de Naciones Unidas (garantizar la sustentabilidad del medio ambiente).

## 4. Potencial de reducción de emisiones del reciclado de RAEE (cont.)

---

El procesamiento de RAEE en plantas de tratamiento “*ad hoc*” reduce emisiones de GEI a través de 3 canales:

1. Elimina la emisión de CO<sub>2</sub>e generado al incinerar a cielo abierto los RAEE;
2. Elimina el riesgo de emisión de gases fluorados por rotura accidental de los equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a basurales;
3. Permite recuperar minerales y otros materiales, reduciendo la energía utilizada en los procesos mineros de extracción primaria.



## 5. Etapas del reciclado de RAEE




1. **Recolección y clasificación:** Esta primera fase genera 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 con el fin de separar elementos, eliminar las propiedades nocivas y finalmente obtener un residuo menos peligroso;



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



**EL RECICLADO DE RAEE ES UNA NECESIDAD  
SOCIAL PERO TAMBIÉN UNA OPORTUNIDAD  
DE NEGOCIOS**

---

## **6. Estimación del potencial de reducción de emisiones de GEI del reciclado de RAEE en la Argentina**

# Datos generales

---

- De acuerdo a Greenpeace, en la Argentina cada habitante genera alrededor de 3 kg de residuos tecnológicos por año (unas 120.000 toneladas de RAEE anuales a nivel país).
- Se calcula que alrededor del 50% de estos residuos están arrumbados en oficinas, hogares, entes públicos o depósitos; un 40% se descarga en basurales y rellenos y sólo un 10% ingresa en algún esquema formal de gestión de residuos.
- Por la concentración de población, hábitos de consumo y poder adquisitivo, la mayoría de los RAEE se generan en la ciudades de Buenos Aires, Córdoba, Rosario y Mendoza.

# Tabla 1

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

Equipo	Unidades en desuso 2009	Total Tn 2009	Unidades en desuso 2010	Total Tn 2010	Unidades en desuso 2011	Total Tn 2011
Laptop	150.000	450	340.000	1.020	530.000	1.540
PC escritorio	1.250.000	15.000	1.550.000	18.600	1.750.000	21.000
Monitores	1.250.000	12.500	1.600.000	16.000	2.000.000	20.000
Teléfonos celulares	10.000.000	1.000	11.000.000	1.100	12.000.000	1.200
Receptores de TV	1.150.000	31.050	1.250.000	32.500	1.400.000	35.000

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

# Potencial de reducción de emisiones de GEI por reciclado de RAEE en la Argentina

## Estimaciones preliminares

---

### Metodología

1. Estimación del CO<sub>2</sub>e generado por la incineración a cielo abierto de RAEE.
2. Estimación de las emisiones de gases fluorados liberados por la rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a basurales.
3. Estimación de emisiones de CO<sub>2</sub>e que se evitarían si se reemplazara la minería extractiva tradicional por la minería de superficie para la obtención de materias primas.

---

## **6.1 Estimación del CO<sub>2</sub>e generado por la incineración a cielo abierto de RAEE**

## Tabla 2

### Equipos de Fabricación Nacional (2005-2009)

	Lavarropas	Secarropas	Heladera	Aire acond. hogar	Aire acond. 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	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



# Tabla 3

## Toneladas anuales de RAEE desechadas (segregadas por tipo de Equipo)

Equipo	Cant. 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 acond. Hogar	819.462	35	26.682
Aire acond. 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

# Tabla 4

## Materiales contenidos en los RAEE (en % del peso del equipo)

	Metales Ferrosos (acero, latón, níquel)	Metales no Ferrosos (aluminio, cobre, plomo, oro, plata)	Vidrio	Plásticos	Gases Refrigerantes	Hormigón	Varios
PC de escritorio (CPU, teclado, impresoras)	27	25		28			20
Laptop	20	29	19	23			9
Monitores	21	28	18	23			10
Tel. 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 acond. hogar	50	15		22	12,5		0,5
Aire acond. aut.	50	15		18	16		1

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Journal of the World Resource Foundation, Anfel, 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)

## Tabla 5

### Emisiones de CO<sub>2</sub>e por tn de residuo incinerado

Material	Kilogramos de CO <sub>2</sub> e por tonelada de residuo incinerado
Plásticos	276
Vidrio	8
Metales Ferrosos	30
Metales no Ferrosos	100

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

# Tabla 6

## Emisiones anuales de CO2e por incineración de RAEE en la Argentina

Material	Emisión anual de CO2e generado al incinerar RAEE (en tn)
Plásticos	12.013
Vidrio	179
Metales Ferrosos	2.044
Metales no Ferrosos	2.366
<b>TOTAL</b>	<b>16.603</b>

Fuente: Elaboración propia

---

## **6.2 Estimación de las emisiones de gases fluorados liberados por la rotura accidental de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a basurales**

# Consideraciones generales

---

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

## Tabla 7

### Potencial de Calentamiento Global (PCG) de los refrigerantes más utilizados

Refrigerante	Fórmula Química	PCG
R-23	$\text{CHF}_3$	11700
R-32	$\text{CH}_2\text{F}_2$	650
R-125	$\text{CF}_3\text{CHF}_2$	2800
<b>R-134A</b>	<b><math>\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}</math></b>	<b>1300</b>
R-143A	$\text{CH}_3\text{CF}_3$	3800
R-152A	$\text{CH}_3\text{CHF}_2$	140
R-152A	$\text{CHF}_2\text{CH}_3$	140

Fuente: IPCC (2007)

**Tabla 8**  
**Emisiones anuales de CO<sub>2</sub>e por la liberación de gases refrigerantes**

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad anual de refrigerante liberado (Tn)</b>	<b>Potencial de Calentamiento Global del R-134A</b>	<b>CO<sub>2</sub>e generado por emisión de gas refrigerante (tn anuales)</b>
Heladera	176	1300	228.800
Aire acond. hogar	2049	1300	2.663.700
Aire acond. automóvil	252	1300	327.600
<b>Total</b>			<b>3.220.100</b>

Fuente: Elaboración propia



---

## **6.3 Estimación de emisiones de CO<sub>2</sub>e que se evitarían si se reemplazara la minería extractiva tradicional por la minería de superficie para la obtención de materias primas**

## Tabla 9

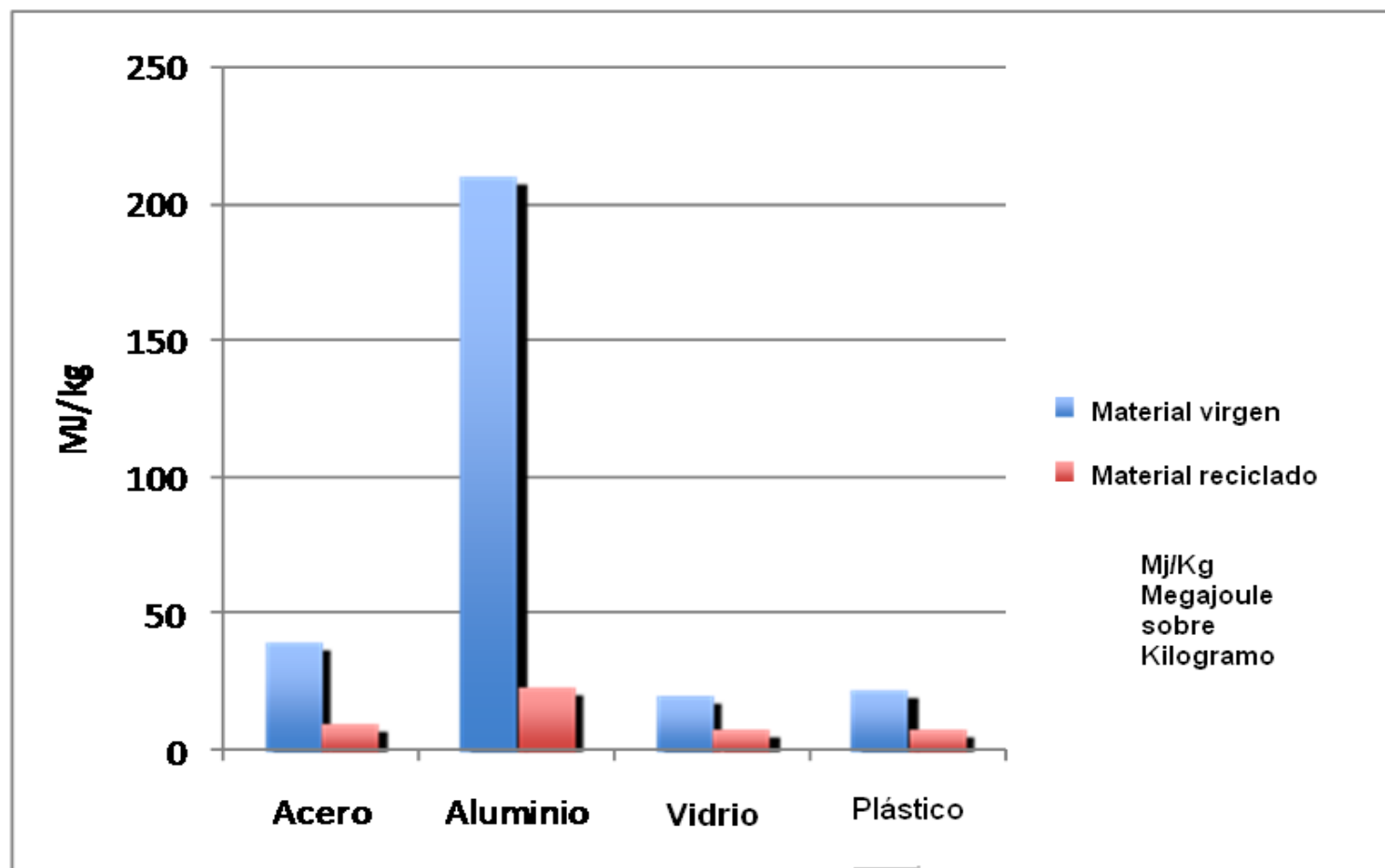
**Emisiones de CO<sub>2</sub>e que se evitarían con el reemplazo de la minería tradicional por la minería de superficie para la obtención de materias primas**

<b>Metal</b>	<b>Toneladas de CO<sub>2</sub>e emitidas por cada tonelada de mineral extraído de minas</b>
Cobre	3,4
Cobalto	7,6
Estaño	16,1
Indio	142
Plata	144
Oro	16.991
Paladio	9.380
Platino	13.954
Rutenio	13.953

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

# Gráfico 1

## Comparación del consumo de energía utilizando material virgen y material reciclado



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

# Factor de emisión considerado

---

**Factor de emisión de la red eléctrica para la Argentina:  
0,420 kg CO<sub>2</sub>/kWh**

Fuente: Sáenz (2007): “Determinación y Aplicación Factor de Emisión CO<sub>2</sub> de la Red Argentina”, Sec. de Ambiente y Desarrollo Sustentable-JICA, Junio 2007

# Tabla 10

## Ahorro energético

Material	Ahorro energético al utilizar material reciclado	Ahorro energético anual
Acero	27 Mj= 7,5 kW/h por kg	177.472,5 MW/h
Aluminio	190 Mj= 52,8 kW/h por kg	3.597.369,6 MW/h
Vidrio	14 Mj = 3,9 kW/h por kg	169.747,5 MW/h
Plástico	15 Mj=4,15 kW/h por kg	93.217,3 MW/h

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

Fuente: Elaboración propia

## Tabla 11

### Emisiones anuales de CO<sub>2</sub>e evitadas si se extrajeran materiales mediante el reciclado de RAEE

Material	Toneladas anuales de CO <sub>2</sub> e que se dejaría de emitir
Acero	74.538,45
Aluminio	1.510.895,23
Vidrio	71.293,95
Plásticos	39.151,26
<b>TOTAL</b>	<b>1.695.878,89</b>

Fuente: Elaboración propia



# Resultados

## Emisiones totales anuales evitadas si se reciclara el 100% de los RAEE generados en la Argentina

1. Tn de CO <sub>2e</sub> anuales generadas por la incineración de RAEE a cielo abierto	16.603
2. Tn de CO <sub>2e</sub> anuales generadas por la emisión de gases fluorados liberados accidentalmente por rotura de equipos de refrigeración y aire acondicionado arrojados a basurales	3.222.100
3. Tn de CO <sub>2e</sub> evitadas por reemplazar la minería tradicional por minería de superficie	1.695.879
<b>Total de emisiones anuales evitadas por reciclado de RAEE (en tn de CO<sub>2e</sub>)</b>	<b>4.934.582</b>

Fuente: Elaboración propia



# Conclusiones

---

- El reciclado de RAEE es una opción de reducción de emisiones de GEI relevante de explorar en mayor profundidad, tanto por su potencial de mitigación como por sus co-beneficios de desarrollo socio-económicos y ambientales (generación de empleo, reducción de la contaminación local).
- Puede constituir, además, una opción de negocios, por el importante valor comercial que poseen los materiales que se pueden recuperar a través del reciclado.

---

**Muchas gracias**

**Contacto:**

**Angel Gutman**

**[angelgutman@arnet.com.ar](mailto:angelgutman@arnet.com.ar)**