

## ANÁLISIS ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DEL REEMPLAZO DE LÁMPARAS INCANDESCENTES POR LÁMPARAS DE BAJO CONSUMO EN ARGENTINA

**Jorge R. Parente, Andrea A. Bosani, Luis N. Leanza**

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Delta (UTN FRD)

Centro de Investigación y Desarrollo en Energía y Ambiente (CIDEA)

San Martín 1171 – CP 2804 - Campana – Buenos Aires – Argentina

Tel. 54-03489-420249/420400/422018 – Fax 54-03489-437617

e-mail: [parentej@frd.utn.edu.ar](mailto:parentej@frd.utn.edu.ar) / [leanzal@frd.utn.edu.ar](mailto:leanzal@frd.utn.edu.ar)

**RESUMEN:** Como consecuencia de la legislación nacional que prohíbe la venta de lámparas incandescentes, los habitantes de nuestro país solo pueden adquirir lámparas fluorescentes compactas en su reemplazo. Esto nos ha motivado a realizar el presente trabajo cuyo objetivo es establecer una comparación desde el punto de vista energético y ambiental desarrollando un estudio fundamentado en el último censo nacional. Si bien se obtiene un importante ahorro energético y en consecuencia una menor emisión de dióxido de carbono, esto genera un problema ambiental debido al contenido de mercurio de las CFL, ya que cuando las mismas agotan su vida útil y se desechan pueden contaminar 25,38 litros de agua por cada kilogramo de dióxido de carbono ahorrado. La conclusión principal es que esta normativa debe ser acompañada de alternativas sustentables para desecharlas adecuadamente ya que de lo contrario estaremos reemplazando un problema ambiental por otro, o sea, efecto invernadero por contaminación de recursos naturales.

**Palabras clave:** lámparas fluorescentes compactas – dióxido de carbono – mercurio - contaminación de agua

### INTRODUCCION

Si bien las lámparas incandescentes deben ser reemplazadas en beneficio del medio ambiente, en cuanto a la disminución de la emisión de dióxido de carbono, principal gas responsable del efecto invernadero y el cambio climático, cuando las mismas agotan su vida útil pasan a ser residuos inofensivos.

Por otra parte las lámparas de bajo consumo o lámparas fluorescentes compactas, debido a su contenido de aproximadamente 5 mg de mercurio, pasan a ser residuos especiales o peligrosos cuando se agota su vida útil, o sea cuando deben ser descartadas y arrojadas como desechos en vertederos destinados a residuos sólidos urbanos.

Los residuos peligrosos o especiales según el Programa de Medio Ambiente de la ONU del año 1985 son residuos (sólidos, barros, líquidos y gases contenidos) diferentes a los radiactivos (e infecciosos) los cuales por razón de su actividad química o tóxica, corrosiva, u otras características, cause o pueda causar peligro para la salud o el medio ambiente, sea solo o cuando toma contacto con otro residuo (Domínguez, 2005).

Para conocer los problemas de salud asociados a la presencia de residuos peligrosos se debe establecer una relación causa-efecto entre contaminación y efectos sobre la salud por lo que se hace necesario estudiar las rutas de exposición.

Según la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades del Departamento de Salud Pública de los Estados Unidos ATSDR (INET-GTZ, 2003) la ruta de exposición se compone de cinco elementos: fuentes de contaminación, medios de transporte de contaminantes, puntos de exposición, vías de exposición y población receptora.

Entre los contaminantes peligrosos de reconocida toxicidad que se podrían encontrar en los lugares de disposición final de residuos sólidos podemos distinguir plaguicidas, disolventes, residuos infecciosos y metales. Entre estos últimos podemos distinguir fundamentalmente arsénico, berilio, cadmio, cromo, antimonio, bario, plomo, mercurio, plata y talio, los cuales son metales prioritarios en la lista de la EPA (LaGrega et al., 1996).

A la hora del descarte, las lámparas fluorescentes deben ser gestionadas como residuos peligrosos debido a su contenido en mercurio. Los materiales de las lámparas se encuentran dentro de un sistema cerrado, por lo cual su uso adecuado no representa riesgos o impactos sobre el medio ambiente o la salud. Dichos materiales entran en contacto con el medio ambiente solo en caso de rotura o destrucción, siendo el principal riesgo la liberación del mercurio.

El mercurio ocasiona una amplia gama de efectos sistémicos en los seres humanos (riñones, hígado, estómago, intestino, pulmones y una especial sensibilidad del sistema nervioso), aunque varían con la forma química. Los microorganismos convierten el mercurio inorgánico en metilmercurio, una forma química muy tóxica, persistente y bioacumulable, y que además se absorbe fácilmente en el tracto gastrointestinal humano (US EPA, 1999). También actúa como un agente inhibidor de la actividad enzimática y puede provocar la aparición de malformaciones fetales. Asimismo es tóxico para las aves de

rapiña y otras variedades de la fauna salvaje. También es responsable de lesiones foliares en las plantas y de reducir su crecimiento (Seoáñez Calvo, 1997).

Las lámparas fluorescentes residuales deben ser consideradas en función de las leyes que regulan los residuos especiales (Ley 11720, 1995) o residuos peligrosos (Ley 24051, 1992). Específicamente el metal pesado mercurio es considerado por la Ley de residuos especiales como desechos que tengan como constituyente este metal y deben ser controlados. Se especifica lo indicado en el anexo I de la Ley de Residuos Especiales 11720, como Y) 29. Mercurio. Compuestos de Mercurio.

## OBJETIVOS

Realizar un estudio comparativo de consumos y potencial ahorro energético por el reemplazo total de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas (CFL) en la República Argentina.

En función del análisis energético determinar la disminución de emisión de dióxido de carbono.

Analizar las lámparas fluorescentes compactas como residuos peligrosos a fin de proteger la salud humana y el ambiente de los peligros que implica la disposición final de las mismas.

Determinar un indicador que relacione la cantidad de agua potable que puede ser potencialmente contaminada en función del dióxido de carbono ahorrado.

Realizar recomendaciones de tratamiento de las CFL considerando su peligrosidad cuando las mismas se convierten en residuos.

## DESARROLLO Y RESULTADOS

El 28 de enero de 2010 se reglamentó una ley nacional (Ley 26473, 2009) a través del decreto 2060/2010 que prohíbe en todo el territorio de la República Argentina la venta de lámparas incandescentes, a partir del 1 de enero de 2011, aconsejando se las reemplace por lámparas CFL.

El fin de ésta ley es lograr una mayor eficiencia energética reduciendo el consumo eléctrico y como consecuencia la emisión de gases de efecto invernadero.

En función de la comparación indicada en la Tabla 1 se realizarán los análisis energético y ambiental. Se ha tomado en consideración los valores indicados en el embalaje de una lámpara de bajo consumo de procedencia china de 20 watt blanco frío.

Rubro	Lámpara CFL	Lámpara Incandescente
Rendimiento (lm/watt)	60	12
Vida útil (horas)	8000	1000

Tabla 1 – Comparación de lámparas compactas fluorescentes y lámparas incandescentes

### Análisis energético

Conforme a la Tabla 1, por ejemplo, una lámpara incandescente de 75 W equivale a una lámpara CFL de 15 W considerando el rendimiento de flujo luminoso de ambas. El consumo de energía eléctrica durante la vida útil de una lámpara CFL, teniendo en cuenta que se necesitan 8 lámparas incandescentes para alcanzar la vida útil de la lámpara de bajo consumo, se puede observar en la Tabla 2.

Rubro	Lámpara CFL	Lámpara Incandescente
Consumo Energía eléctrica (kWh)	120	600

Tabla 2 – Consumo de energía eléctrica durante la vida útil de una lámpara CFL

Para efectuar un análisis del plan de reemplazo de lámparas a escala doméstica planteamos como hipótesis de trabajo una vivienda para familia tipo conformada por tres personas, considerando los datos del censo efectuado en el año 2010, que arrojó las siguientes cifras: 14.297.149 viviendas y 40.091.359 habitantes.

La vivienda cuenta con estar cocina, comedor, baño, y dos dormitorios, iluminados en su totalidad por lámparas incandescentes de 100 watts de potencia.

A partir de un consumo no eficiente se analiza y compara la alternativa de reemplazo total de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas considerando el flujo luminoso requerido.

Para cada ambiente se estableció el flujo luminoso de acuerdo a los requerimientos establecidos en la Ley Nacional de Higiene y Seguridad en el trabajo (Ley 19587, 1972) y su decreto reglamentario 351/1979 donde en su capítulo 12 de iluminación y color, anexo V, la Tabla 3 fija valores de intensidad mínima de iluminación (lux) para vivienda.

Vivienda	Iluminación General (lux)	Iluminación Localizada (lux)
Baño	100	200
Dormitorio	200	200
Cocina comedor	200	-----

Tabla 3 – Intensidad Mínima de Iluminación (Basada en Norma IRAM-AADL J 20-06)

Para cada local se estableció el flujo luminoso logrado con las lámparas incandescentes y su consumo “no eficiente”. Se puede observar en la Tabla 4 el consumo energético base con lámparas incandescentes.

Vivienda	Superficie (m <sup>2</sup> )	Cantidad de lámparas	Potencia (watts)	Total (watts)	Uso diario (horas)	Consumo total diario (Wh)	Consumo total mensual (kWh)
Cocina comedor	6	2	100	200	4	800	24
Baño	6	1	100	100	2	200	6
Dormitorio	12	2	100	200	3	600	18
Dormitorio	12	2	100	200	3	600	18
Totales				700		2200	66

Tabla 4 – Consumo Energético Base con lámparas incandescentes

En la Tabla 5 se observa la iluminación requerida en lux y lumen total de acuerdo a la superficie adoptada en cada estar de la vivienda. También se observa la cantidad de lámparas CFL (20W) necesarias para satisfacer el cumplimiento legal lo que totaliza 11 lámparas por vivienda.

Vivienda	Superficie (m <sup>2</sup> )	Iluminación General (lux)	Iluminación Localizada (lux)	Total (lumen)	Cantidad de lámparas CFL (20W)
Cocina comedor	6	200	-----	1200	1
Baño	6	100	200	1800	2
Dormitorio	12	200	200	4800	4
Dormitorio	12	200	200	4800	4

Tabla 5 – Iluminación requerida – Cantidad lámparas CFL (20W) necesarias

En la Tabla 6 se observa un detalle de reemplazos por estar donde se aprecia el consumo total diario obtenido de la potencia total y su uso. También el mismo consumo se refleja en forma mensual.

Vivienda	Potencia Total (watts)	Uso diario (horas)	Consumo total diario (Wh)	Consumo total mensual (kWh)
Cocina comedor	20	4	80	2,4
Baño	40	2	80	2,4
Dormitorio	80	3	240	7,2
Dormitorio	80	3	240	7,2
Totales			640	19,2

Tabla 6 – Detalle de reemplazos por estar y consumos

La comparación de consumos y el potencial ahorro energético mensual por el reemplazo total de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas (CFL) por vivienda se ilustra en la Tabla 7.

Vivienda	Consumo total mensual lámparas incandescentes (kWh)	Consumo total mensual lámparas CFL (kWh)	Ahorro energético mensual por local (kWh)
Cocina comedor	24	2,4	21,6
Baño	6	2,4	3,6
Dormitorio	18	7,2	10,8
Dormitorio	18	7,2	10,8
Ahorro energético mensual por vivienda KWh			46,8

Tabla 7 – Comparación de consumos y potencial ahorro energético por su reemplazo

El ahorro energético para todo el país por el reemplazo de la totalidad de lámparas incandescentes se observa en la Tabla 8, lo cual resulta en 8.029.279 MWh/año. Este potencial ahorro implica una menor cantidad de emisión de dióxido de carbono a la atmósfera al consumir menor cantidad de combustibles.

Ahorro energético total país (MWh)	Viviendas	Ahorro energético por vivienda (kWh/mes)	Ahorro energético total viviendas (MWh/mes)	Ahorro energético total viviendas (MWh/año)
	14.297.149	46,8	669.106,573	8.029.279

Tabla 8 – Ahorro energético por reemplazo de la totalidad lámpara incandescentes

#### Análisis ambiental

El aspecto favorable del uso de lámparas fluorescentes en reemplazo de las incandescentes es la importante reducción en la emisión de dióxido de carbono.

Consultada la página oficial de la Secretaría de Energía de la República Argentina se adopta un factor de emisión de 0,547 ton CO<sub>2</sub>/MWh. El factor de emisión representa la cantidad de dióxido de carbono que se genera por MWh de electricidad producida para la Red de Energía Eléctrica. Se utiliza para estimar las reducciones de emisiones que logran las actividades de proyecto del sector energético, encuadradas en el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL).

Considerando el factor de emisión expuesto y el ahorro energético producido por la sustitución del total de las lámparas incandescentes de 8.029.279 MWh/año significa una reducción de 4.392.015 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

La Secretaría de Energía ha realizado un cronograma de reemplazo, con los siguientes resultados esperados: Año 2008: 5 millones de lámparas, Año 2009: 10 millones de lámparas y Año 2010: 10 millones de lámparas. Según datos del Programa Nacional de Uso Racional de Energía Eléctrica (PRONUREE) hasta el momento se han reemplazado más de 24 millones de lámparas incandescentes por otras tantas de bajo consumo en 2170 localidades de todo el país en el marco de una acción que implementó el Gobierno en forma gratuita y que aún continúa. Se puede apreciar que aún falta reemplazar aproximadamente 135 millones de lámparas para que nuestro país sea eficiente energéticamente en un cien por ciento.

Por cada vivienda correspondería entregar 11 lámparas CFL de 20W para satisfacer los requerimientos legales, es decir para cubrir el total de la población se necesitarían 157.268.639 lámparas.

Teniendo en cuenta la reducción de 4.392.015 toneladas de CO<sub>2</sub> al año y la cantidad total de lámparas a reemplazar, observamos que cada vez que un particular instala una bombilla de bajo consumo se ahorra la emisión de 27 kg de CO<sub>2</sub> a la atmósfera al año. Esta cantidad de CO<sub>2</sub> es la misma que absorben dos árboles (específicamente cedros) durante todo un año.

Adoptando una media de uso diario de 3 horas (ver Tabla 6) y considerando que la vida útil es de 8000 horas (ver Tabla 1) resulta entonces reemplazar una lámpara CFL cada 7,3 años, lo que significa haber ahorrado 197 kg de dióxido de carbono por cada lámpara desechada.

En cuanto al aspecto desfavorable de las CFL es la presencia de mercurio (5 mg/lámpara) que, si bien durante su vida útil no representa ningún riesgo, si lo es cuando son descartadas y arrojadas a los vertederos liberando el mercurio presente cuando las mismas se rompen pudiendo contaminar las aguas subterráneas por percolación. Considerando el estado actual de los vertederos en la República Argentina la probabilidad de rotura es del ciento por ciento.

Los criterios de calidad para agua potable (OMS, 1996) y las regulaciones internas primarias de los Estados Unidos (EPA, 2000) para el mercurio se pueden apreciar en la Tabla 9.

Metal	Guidelines for Drinking Water Quality OMS, 1996 (mg/L)	Regulaciones Internas Primarias EPA, 2000 (mg/L)
Mercurio	0,001	0,002

Tabla 9 – Criterios de calidad para el agua potable

Considerando el contenido de mercurio en una lámpara fluorescente la contaminación potencial del mismo para agua potable se observa en la Tabla 10.

Metal	Drinking Water – Guía OMS (Litros)	Regulaciones Internas Primarias EPA (Litros)
Mercurio	5000	2500

Tabla 10 – Contaminación potencial de agua potable por una lámpara CFL

Adoptando las especificaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1996) y la cantidad de dióxido de carbono ahorrado la relación resultante es de 5000 litros de agua potable potencialmente contaminada cuando se ahorran 197 kg de dióxido de carbono o sea 25,38 litros de agua por kilogramo de dióxido de carbono.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La ley 26473 a través del decreto 2060/2010, que resuelve la prohibición que en todo el territorio de la República Argentina, se fundamenta en lograr una mayor eficiencia energética, reduciendo el consumo eléctrico y la emisión de gases de efecto invernadero.

El ahorro energético por el reemplazo de la totalidad de lámparas incandescentes en todas las viviendas del país se observa en la Tabla 8, significando 8.029.279 MWh/año y una reducción de 4.392.015 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales; esta reducción en dióxido de carbono es bajo la hipótesis que toda la generación de energía eléctrica es a partir de combustibles fósiles, sin tener en cuenta la generación por energías alternativas.

Pese a sus indudables ventajas en duración, ahorro económico y energético, la presencia de mercurio presenta problemas, previendo que, millones de lámparas CFL con una media de 5 mg en su interior, serán desechadas incorrectamente y podrían entrar en contacto con personas y animales por inhalación o ingestión, pudiendo contaminar 25,38 litros de agua por cada kg de dióxido de carbono ahorrado.

Por otra parte, a esta contaminación se agrega a la gran contaminación generada por los tradicionales tubos fluorescentes residuales (Leanza y Parente, 2009) los cuales contienen en su interior siete veces más cantidad de mercurio que las lámparas de bajo consumo.

La reducción del contenido de mercurio parece estar acotada debido a que, según los fabricantes, un nivel de mercurio insuficiente resultaría en un prematuro agotamiento de una lámpara fluorescente.

Por otra parte, una vez que la lámpara se convierta en residuo, los poseedores deberán saber qué actitud se espera de ellos: condiciones de manipuleo y almacenamiento ante eventual rotura, devolución a puntos de recuperación o centros de venta, etc. Se pueden tomar precauciones domésticas para evitar el envenenamiento por el uso de estos dispositivos y para los tubos fluorescentes que se descartan como si se tratara de tubos de vidrio y no como materiales peligrosos.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA, recomienda con respecto a la rotura: ventilar y abandonar el sector por al menos 15 minutos, recoger los fragmentos de vidrio, polvo y restos de mercurio, depositarlos en una bolsa de plástico, limpiar el área con toallas desechables de papel mojado y colocarlas en la bolsa plástica, sellar la bolsa y marcarla con la leyenda: SUSTANCIA PELIGROSA: CONTIENE MERCURIO Y VIDRIO, Lavar manos con agua y jabón, luego de recoger y deshacerse de la bolsa.

Con respecto a la experiencia local no se registran actividades de reciclaje y en el registro de operadores de residuos industriales figuran algunos pocos tratadores que aceptan lámparas ya que están autorizados a tratar la corriente de mercurio y sus compuestos (Y29), mediante el método de encapsulamiento y disposición final en relleno de seguridad.

En algunos países, como México, utilizan equipos trituradores de lámparas fluorescentes que pueden contaminar el ambiente si no son debidamente tratadas. Están constituidos por un contenedor sellado de acero de 200 litros, donde se Trituran lámparas y tubos fluorescentes utilizando una cadena de metal; al mismo tiempo que se realiza esta operación funciona un innovador sistema de aspersión que genera vacío utilizando filtros con carbón activado que garantizan el control de las emisiones a la atmósfera de vapor de mercurio.

En cada contenedor se pueden triturar tubos fluorescentes y CFL. Al concluir la operación se extiende a la empresa a la que se ha otorgado el servicio una constancia de manifestación ambiental que las mismas autoridades ecologistas avalan y se llevan a rellenos de seguridad o a mercados consumidores.

Las campañas educativas para la prevención, el control de la contaminación, y la minimización de los riesgos causados por la disposición inadecuada de este tipo de residuos, tanto como para la divulgación de los beneficios del reciclaje y de la reutilización del mercurio, resultan fundamentales para el alcance de las metas que se fijen, dentro de un programa, en términos de recuperación de lámparas.

Consideramos que para implementar el reemplazo de lámparas se tendría que haber trabajado en las necesidades de disponer de un sistema de recuperación de lámparas vencidas, reciclaje y tratamiento y estar considerado en la Ley 26473, ya que de lo contrario estaremos reemplazando un problema ambiental por otro, contaminación de recursos naturales por efecto invernadero.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Domínguez Oscar Roberto (2005) – Seminario sobre Gestión de Residuos Especiales - Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Delta – Buenos Aires - Argentina.
- INET-GTZ (2003) – Gestión de Residuos sólidos, Técnica, Salud, Ambiente, Competencia - Proyecto INET (Instituto Nacional de Educación Tecnológica) – GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH) – Colección Educar para el ambiente – Manual para el docente.
- LaGrega Michael D., Buckingham Phillip L. y Evans Jeffrey C. (1996) – Gestión de Residuos Tóxicos - pp. 876-877 - Mc Graw-Hill - Madrid - España.
- Leanza L. y Parente J. (2009) – Fundamentos para el tratamiento y disposición de tubos fluorescentes residuales – Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente – ISSN 0329-5184 - Volumen 13 – co. pp. 01.05 – 01.10
- Ley 11720 (1995) – De Residuos Especiales – De generación, manipulación, almacenamiento, transporte, tratamiento, y disposición final de residuos especiales en el territorio de la Provincia de Buenos Aires – Anexo I y Anexo II – 2 de noviembre de 1995 – Provincia de Buenos Aires.
- Ley 24051 (1992) – De Residuos Peligrosos – De generación, manipulación, transporte y tratamiento – Reglamentación de la Ley: Decreto 831 (03/05/1993) - Anexo I y Anexo II - 17 de enero de 1992 – Argentina.
- Ley 19587 (1972) – Nacional de Higiene y Seguridad en el trabajo - Capítulo 12 de iluminación y color, anexo V, Tabla 3.
- Ley 26473 (2009) – Importación y comercialización de lámparas incandescentes de uso residencial – 12 de enero de 2009 – Argentina.
- OMS, 1996 – Guidelines for Drinking Water Quality. Volume 2. Health criteria and other supporting information. 2ª Edición - Ginebra.
- Seoánez Calvo Mariano (1997) – Ingeniería Medioambiental Aplicada – Casos Prácticos – Colección Ingeniería del Medio Ambiente – pp. 58 - Ediciones Mundi Prensa – Madrid – España.
- US EPA (1999) – Hazardous waste management system; Modification of the hazardous waste program; Hazardous waste lamps; Final Rule. US EPA.

**ABSTRACT:** As a result of national legislation prohibiting the sale of incandescent lamps, the inhabitants of our country can only acquire compact fluorescent lamps to replace it. This has motivated us to make this work whose objective is to establish a comparison from the energetic and environmental point of view developing a study based on the last national census. While we obtain significant energy savings and therefore lower emissions of carbon dioxide, this creates an environmental problem due to the mercury content of CFLs, because when their lifespan is over and are disposed, they can contaminate 25,38 liters of water per kilogram of carbon dioxide saved. The main conclusion is that this norm should be accompanied by sustainable alternatives to dispose them appropriately because otherwise we will be replacing one environmental problem for another, greenhouse effect by contamination of natural resources.

**Keywords:** compact fluorescent lamps - carbon dioxide - mercury – water contamination