

**EMISIONES DE MERCURIO POR USO DE LAS LÁMPARAS  
FLUORESCENTES COMPACTAS Y POR GENERACIÓN DE  
ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE COMBUSTIBLES FÓSILES**

**MERCURY EMISSIONS BY USE OF COMPACT FLUORESCENT  
LAMPS AND BY GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY BASED  
ON FOSSIL FUELS**

*Leadina Sánchez Barboza, Mgs.*

Magíster en Ingeniería Química (Venezuela).  
Docente de la Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

[lsanchezb@ups.edu.ec](mailto:lsanchezb@ups.edu.ec)

*María Gabriela Lucena Mogollón, Mgs.*

Magíster en Ingeniería Química (Venezuela).  
Docente en la Universidad Nacional Experimental Politécnica UNEXPO, VR-  
Barquisimeto, Venezuela.

[mglucena@unexpo.edu.ve](mailto:mglucena@unexpo.edu.ve)

*Carmen Vásquez Stanescu, PhD.*

Doctora en Ciencias Técnicas (Cuba).  
Docente en la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”,  
UNEXPO, VR-Barquisimeto, Venezuela.

[cvasquez@unexpo.edu.ve](mailto:cvasquez@unexpo.edu.ve)

**ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN**

Recibido: 7 de junio de 2017

Aceptado: 16 de agosto de 2017

## RESUMEN

Las lámparas fluorescentes compactas (LFC) son una alternativa eficiente de iluminación. Sin embargo, éstas contienen mercurio (Hg), metal que presenta efectos adversos a la salud y el ambiente. El objetivo de este trabajo fue comparar las emisiones de mercurio por el uso de las LFC y por la generación de energía eléctrica a base de combustibles fósiles en Argentina, Bolivia, Ecuador y Venezuela. Se construyeron indicadores a partir de datos publicados por el Banco Mundial y las instituciones nacionales del sector eléctrico de los países analizados, así como también de los factores de emisión de mercurio publicados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Los resultados muestran que Venezuela es el país con más LFC incorporadas en su territorio, Argentina es el país con más emisiones de mercurio al ambiente por generación térmica de energía y Ecuador es el país con más reducción de emisiones de mercurio por ahorro en generación térmica debido al uso de las LFC.

Palabras clave: LFC, combustibles fósiles, mercurio, emisiones.

## ABSTRACT

Compact fluorescent lamps (CFL) are an efficient alternative lighting. However, they contain mercury (Hg), metal having adverse effects on health and the environment. The objective of this study was to compare mercury emissions from the use of CFL and electric power generation based on fossil fuels in Argentina, Bolivia, Ecuador and Venezuela. Indicators were constructed from data published by the World Bank and national institutions in the electricity sector of the countries analyzed, and the emission factors mercury activity published by the United Nations Environment Programme. The results show that Venezuela is the country with most CFL incorporated in its territory, Argentina is the country with more emissions of mercury to the environment by thermal power generation and on Ecuador is the country with more reduction of mercury emissions by saving in thermal generation due to the use of CFL.

Keywords: CFL, fossil fuels, mercury, emissions.

## INTRODUCCIÓN

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) los niveles de mercurio en el medio ambiente han aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial. El UNEP sostiene que la fuente más importante de contaminación con mercurio son las emisiones al aire, sin embargo, se producen adicionalmente de diversas fuentes y van directamente al agua y a la tierra (UNEP, 2002).

Una vez liberado, el mercurio permanece en el medio ambiente, donde circula entre el aire, el agua, los sedimentos, el suelo y la biota en diversas formas y, posteriormente, este metal cambia de forma por la acción de microorganismos y se convierte en metilmercurio (la especie química más tóxica) lo cual representa un problema para la salud y el medio ambiente (UNEP, 2002). Este problema se agrava en los países en vías de desarrollo, ya que las emisiones son propensas a aumentar en determinadas zonas de África, Asia y Suramérica (UNEP, 2013).

Tan preocupante son las emisiones de mercurio que en octubre del 2013 se abre a la firma en la ciudad de Minamata (Japón) el Convenio Minamata sobre el Mercurio, el cual es un tratado mundial jurídicamente vinculante que prevé controlar y reducir una variedad de productos y procesos industriales en los que se utiliza o emite el mencionado metal, también se considera la extracción directa, la exportación e importación y almacenamiento del metal en condiciones seguras (UNEP, 2014), es decir, el convenio toma en cuenta las diversas fuentes de la emisiones del mercurio.

Las emisiones antropogénicas mundiales de mercurio se deben en mayor proporción a la minería artesanal y en pequeña escala (37%) y por la generación térmica de energía; en mayor parte por la combustión del carbón (24%) y en menor proporción por la quema de gas natural y petróleo (1%) (UNEP, 2014). Asimismo, otro factor a considerar en las emisiones de mercurio son los productos que contienen este metal añadido, como es el caso de las Lámparas Fluorescentes Compactas, interruptores, relés, pilas secas, termómetros, entre otros (Cain, Disch, Twaroski y Randy, 2007).

Las LFC se comienzan a comercializar como una alternativa para la iluminación eficiente, ya que consumen la quinta parte de la energía utilizada por las lámparas incandescentes (LI), por lo que reducen la demanda de energía eléctrica y contribuyen con la disminución

de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera proveniente de la quema de combustibles fósiles (Northeast Waste Management Officials' Association, NEWMOA, 2009). Sin embargo, las LFC pueden generar emisiones de mercurio al ambiente dependiendo de su manejo, recolección, almacenamiento, transporte y disposición final, lo cual constituye un riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente (UNEP, 2012).

La iluminación con LFC reduce el consumo energético, lo que a su vez permite disminuir las emisiones de mercurio a la atmósfera proveniente de la quema de combustibles fósiles en la generación de energía termoeléctrica. Especialmente cuando se usa carbón, ya que éste puede contener trazas de mercurio de 0,04-0,7 mg/kg, el cual es liberado al ambiente durante su combustión, mientras que el contenido de ese metal en el gas natural y otros hidrocarburos como diesel y fueloil es menor (NEWMOA, 2009).

Por otra parte, en aras de utilizar los recursos en forma sostenible y hacer un uso racional de la energía, a partir del año 2006 se llevan a cabo planes o programas de sustitución masiva de las LI por LFC en países de la región latinoamericana, como Argentina (2008), Bolivia (2008), Ecuador (2008) y Venezuela (2006). Sin embargo, más allá de los beneficios que estas lámparas traen para la reducción de las emisiones de carbono (por disminución de la demanda del uso de energía eléctrica) es necesario considerar su contenido de mercurio (Martínez, Ayrala y Zurbriggenc, 2012).

En este sentido, el presente trabajo tiene como propósito realizar un análisis comparativo entre las emisiones de mercurio producidas por la sustitución masiva de LFC y por la generación de energía eléctrica a base de combustibles fósiles de los países Argentina, Bolivia, Ecuador y Venezuela. Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron datos de páginas oficiales del sector energético de cada país y de la base de datos web de otras instituciones.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente trabajo es una investigación de tipo documental descriptiva, ya que está basada en la búsqueda, análisis, crítica e interpretación de información obtenida por otros investigadores, informes técnicos del Banco Mundial, documentos del UNEP y registros estadísticos de fuentes oficiales a nivel internacional (Arias, 2006, Universidad Pedagógica

Experimental Libertador, 2008). Para la realización del análisis comparativo entre la reducción del consumo de la energía eléctrica por iluminación y las emisiones de mercurio al ambiente por el uso de LFC se realiza lo siguiente:

- a. Búsqueda de la data oficial de planes de sustitución de LI por LFC de países que han desarrollado leyes y planes para impulsar la iluminación eficiente a fin de ahorrar energía eléctrica y reducir las emisiones de contaminantes. Se establece como premisa que los países a ser analizados tengan publicados el número de lámparas reemplazadas y el período de sustitución (*Tabla 1*).
- b. Búsqueda en la base de datos de Banco Mundial de las cifras de consumo eléctrico, consumo eléctrico residencial y población total de los países en estudio (*Tabla 1*).
- c. Búsqueda de la data oficial de la generación de energía termoeléctrica y del consumo de combustible asociado a esta generación para cada uno de los países en estudio (*Tabla 1*) (Ministerio de Energía y Minería (2008, 2009, 2010); Estado Plurinacional de Bolivia (2010); Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC (2012), Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (2013).

Tabla 1. Datos del sector eléctrico de países con planes de sustitución de LI por LFC.

<b>País</b>	<b>Argentina</b>	<b>Bolivia</b>	<b>Ecuador</b>	<b>Venezuela</b>
Período	2008-2010	2008-2009	2008-2010	2006-2012
Nº de LFC sustituidas/distribuidas <sup>a,b,c</sup>	25,000,000	8,500,000	16,038,600	156,845,182
Población total <sup>d</sup>	40,801,125	9,679,358	14,483,499	28,549,261
Nº de usuarios residenciales (por censos nacionales)	12,171,675 2010	3,134,613 2010	3,748,919 2010	8,230,140 2011
Energía consumida (TJ) <sup>d</sup>	2,159,199.19	241,072.58	374,401.50	1,876,885.91
Intensidad de energía en el sector residencial (GJ/vivienda) <sup>d</sup>	43.90	25.90	23.27	28.50
Generación de Energía Eléctrica	Hidroeléctrica (36%), Termoeléctrica (60%, Diesel, Carbón, Gas) Otros (3%)	Hidroeléctrica (41.35%), Termoeléctrica (58.65%) (gas natural, diesel oil y biomasa)	Hidroeléctrica (49.44%), Termoeléctrica (52.17%), Eólica (0.02%), Biomasa (0.75%), Importación (4.20%)	Hidroeléctrica (70%), Termoeléctrica (30%)

Generación de Energía Termoeléctrica (GWh/año) <sup>c</sup>	108,931.9	3,230.6	9,874.5	36,622.4
--	-----------	---------	---------	----------

---

Fuente:

<sup>a</sup> Argentina y Bolivia (Dilip et al, 2009).

<sup>b</sup> Ecuador. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador. Proyecto de Sustitución de focos ahorradores por Incandescentes.

<sup>c</sup> Venezuela. Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Anuario estadístico 2013 – Sector Eléctrico Venezolano.

<sup>d</sup> The World Bank. Sustainable Energy for All - World Data Bank.

d. Determinación de los siguientes indicadores:

- Ahorro energético en iluminación debida a la sustitución de LI por LFC (AE). Se realiza a partir de la diferencia de potencia ( $\Delta P$ ) debido al cambio de una luminaria incandescente de 60 W por una LFC de 15 W (promedio). De esta manera se tiene una diferencia de 45 W y el ahorro energético se puede calcular con la ecuación 1:

$$\text{AE (GWh)} = \frac{45W * 8000h * \#LFC \text{ sustituidas}}{1000000000} \quad [1]$$

Basado en 8000 h de vida útil que tienen las LFC como promedio (Sabogal, 2008).

- Emisiones de mercurio al ambiente proveniente de las LFC, considerando el escenario más desfavorable (sin reciclaje, ni recuperación del mercurio). Para esto se asume un contenido promedio de 5mg para las LFC sustituidas (Martínez et al, 2012).
- Emisiones de mercurio a la atmósfera debida al consumo de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica por país. Para esto se emplean los criterios empleados en el “*Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases*” mostrados en *Tabla 2*, herramienta desarrollada por el UNEP (UNEP, 2015). La cual está destinada a ayudar a los países a desarrollar un inventario nacional de emisiones de mercurio, a través de la identificación de las fuentes y su cuantificación. Los datos obtenidos con esta herramienta ayudan a establecer una visión global de la escala de las emisiones nacionalmente y también amplía el conocimiento sobre los usos y liberaciones de mercurio a nivel internacional.

- Reducción (R) de las emisiones de mercurio a la atmósfera por el ahorro en la generación térmica, la cual se realiza con la ecuación 2:

$$R(\text{kg}) = \text{AE}(\text{GWh}) * (\text{Fracción}_{\text{Gen.Térmica}})^* \frac{\text{Emisiones Hg por GT (kg/año)}}{\text{Generación Térmica}_{\text{promedio en el período}} (\text{GWh/año})} \quad [2]$$

Donde:

AE: Ahorro energético en iluminación debida a la sustitución de LI por LFC (GWh)

Fracción<sub>Gen.Térmica</sub>: Fracción de la energía eléctrica total generada por el país que es obtenida térmicamente.

Tabla 2. Factores de entrada de mercurio para el cálculo de las emisiones a la atmósfera por quema de combustibles fósiles

<b>Categoría de la fuente de emisión de mercurio</b>	<b>Factor de entrada de Hg del UNEP</b>
Combustión de carbón en plantas generadoras de energía eléctrica	0,15 g Hg/t
Combustión de crudo, diesel, fuel oil, destilados medios y livianos en plantas generadoras de energía eléctrica	20·10 <sup>-3</sup> g Hg/t
Combustión de Gas Natural	0,22·10 <sup>-6</sup> g Hg/m <sup>3</sup>
Combustión de Biomasa	0,03 g Hg/t

Fuente: UNEP (2015).

### RESULTADOS

Los indicadores calculados en este trabajo sobre las emisiones de mercurio por uso de LFC se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Estimaciones e indicadores de las emisiones de mercurio por uso de LFC.

<b>País</b>	<b>Argentina</b>	<b>Bolivia</b>	<b>Ecuador</b>	<b>Venezuela</b>
Período	2008-2010	2008-2009	2008-2010	2006-2012
Número de LFC sustituidas/año (promedio en el período)	8,333,333	4,250,000	5,346,200	22,406,455
Nº de LFC sustituidas per cápita	0.61	0.88	1.11	5.49
Nº de LFC sustituidas por usuarios residenciales	2.05	2.71	4.28	19.06
Energía consumida per cápita (GJ/habitante)	52.92	24.91	25.85	65.74
Ahorro de energía por iluminación con LFC (GWh)*	9,000.0	3,060.0	5,773.9	56,464.3

Ahorro de energía por iluminación con LFC* (KWh/per cápita)	220.58	316.14	398.65	1,977.78
Emisiones de Hg por LFC** (kg)	125.0	42.5	80.2	784.2
Emisiones de Hg por LFC** (mg/per cápita)	3.06	4.39	5.54	27.47
Emisiones de Hg por Generación Térmica de energía eléctrica (kg/año)	179.84	0.38	37.13	51.08
Reducción de Emisiones de Hg por ahorro en Generación Térmica* (Kg)	8.92	0.21	12.39	23.63
% Reducción de emisiones de Hg al aire por el ahorro en Generación Térmica	7.13%	0.50%	15.45%	3.01%

Notas: \*Basado en 8000 h de vida útil de las LFC. \*\*Considerando sin recuperación del mercurio contenido en las LFC.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Sustitución de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas y contenido de mercurio

En aras de utilizar los recursos en forma sostenible y hacer un uso racional de la energía, a partir del año 2006 se llevan a cabo planes o programas de sustitución masiva de las LI por LFC en países de la región latinoamericana, como Argentina (2008), Bolivia (2008), Ecuador (2008) y Venezuela (2006). En los países nombrados anteriormente y mediante planes de sus gobiernos se incorpora un gran número de LFC, así el gobierno argentino entre los años 2008-2010 sustituye unos 25,000,000 de LI (Dilip, Limaye, Sarkar y Singh, 2009), el gobierno boliviano unos 8,500,000 entre el 2008 y el 2009 (Dilip et al, 2009), el gobierno ecuatoriano unos 16,038,600 LI entre los años 2008-2010 (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador, s.f) y finalmente el gobierno venezolano entre los años 2006-2012 sustituyó unos 156,845,182 LI (Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica, s.f).

Durante la vigencia de los programas de eficiencia energética por iluminación en los países en estudio, el *promedio por año* de LFC sustituidas o distribuidas se muestra en la *Tabla 3* así, Argentina en 3 años, Bolivia en 2 años, Ecuador en 3 años y Venezuela en 7 años,



incorporaron a sus territorios promedios anuales de 8,333,333; 4,250,000; 5,346,200 y 22,406,455, respectivamente, unidades de luminarias, siendo Venezuela el país con más número de LFC sustituidas.

Se presenta una relación del número de LFC incorporadas en cada país, pero esta vez considerando la población promedio durante los años de vigencia de los planes o programas de eficiencia energética por iluminación, es decir, el número de LFC distribuidas per cápita (durante los años de duración de cada país). Tal y como lo muestra la *Figura 1*, este valor es más alto para Venezuela, pues su programa tuvo una duración de 7 años, mientras que Argentina y Ecuador solo 3 años y Bolivia sólo 2 años.

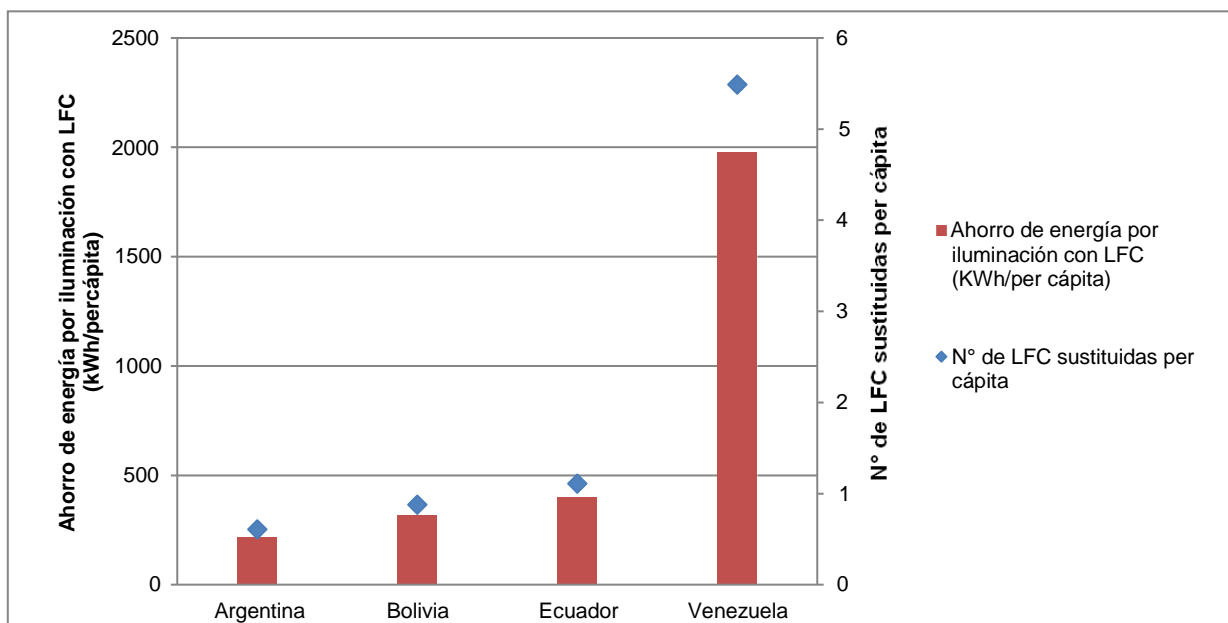


Figura 1. Número de LFC sustituidas y Ahorro de energía por iluminación con LFC per cápita.

Desde el punto de vista eléctrico, las LFC tienen una mayor eficacia lumínica, razón por la cual se produce un ahorro de energía considerable (Sabogal, 2008; Mantilla, Torreles y Ereu, 2009), pudiendo tener hasta 8000 horas de duración en comparación con las 1000 horas de las LI (Sabogal, 2008). Una comparación de las LI con las LFC (*Tabla 4*) fue realizada por Sabogal (2008), quien analiza una LI de 60 W y su equivalente LFC de 15 W. Esta información permite determinar el ahorro energético por iluminación con LFC para cada uno de los países del estudio, el cual es presentado en la *Figura 1*, observándose que

de los cuatro (4) países estudiados, Venezuela alcanzó el mayor ahorro energético con 1977.78 kWh/per cápita al implementar el plan de sustitución de las LI por las LFC, por la misma razón mencionada anteriormente.

Tabla 4. Comparación entre las LI y las LFC.

	LI	LFC	Comentario
Potencia (W)	60	15	Real consumida
Flujo luminoso (lm)	850	900	
Eficacia lumínica (lm/W)	14.2	60	
Vida media (h)	1000	8000	Estimada 3 h por día

Fuente: Sabogal (2008).

Sin embargo, más allá de los beneficios que estas lámparas traen para la reducción de las emisiones de carbono producto de la disminución del consumo de energía eléctrica, es necesario considerar su contenido de mercurio, el cual las califica como un desecho peligroso (Martínez et al., 2012).

Un estudio sobre la exposición de mercurio a través de las LFC fue realizado por Li y Jin (2011). En este trabajo se estudiaron las liberaciones de las LFC, y sus resultados mostraron que el contenido de mercurio oscilaba entre 0,1 a 3,6 mg y, que menos del 4% se podía separar de las lámparas. De las 8 LFC que probaron, algunas eran nuevas en el mercado y presentaban el nivel de mercurio más bajos que el nivel de regulación de 0,2 mg/L y por lo tanto las LFC no eran consideradas como desechos peligrosos. Sin embargo, el resultado que puede considerarse más resaltante se trata sobre la prueba de liberación de vapor de mercurio de las LFC, la cual reveló que una vez rotas las lámparas, estas liberan continuamente vapor de mercurio y la liberación puede durar más de 10 semanas. La cantidad total de vapor de mercurio liberado de una LFC rota excede 1,0 mg, que puede causar niveles de Hg en una habitación regular superiores al límite máximo de exposición humana, bajo condiciones de ventilación pobres.

Es evidente que existen ambigüedades en si las LFC pueden o no ser consideradas como desechos peligrosos, tal como se evidencia en las posiciones de Li y Jin (2011) y Martínez et al (2012) y la razón de esta discrepancia parece estar en la cantidad o concentración del

mercurio que se emite o no al ambiente. Tal vez deba comprenderse que la emisión de mercurio que genera una unidad de LFC no representa un problema, pero las emisiones de millones de luminarias se convierten en uno mundial, tanto para la salud como para el medio ambiente, ya que cuando el mercurio es emitido al ambiente, parte de este pasa a los cuerpos de agua, posteriormente es convertido por microorganismos en una especie química más tóxica; el metilmercurio, el cual se transfiere a los peces que posteriormente las personas ingieren (Raimann, Rodríguez, Chávez y Torrejón, 2014; León y Peñuela, 2011). Entonces he aquí la importancia de controlar las emisiones de mercurio por la producción, uso, recolección, disposición final y recuperación del metal presente en las LFC.

#### **Comparación de las emisiones de mercurio con la sustitución de las LI por LFC y por generación de energía eléctrica a base de combustibles fósiles**

Los planes de sustitución de las LI por las LFC en cada uno de los países se realizaron en períodos diferentes, sin embargo, se puede comparar considerando el número de lámparas reemplazadas, y el contenido promedio de 5mg de Hg/lámpara (Martínez et al, 2012). Tal y como se muestra en la *Tabla 3*, Argentina, Bolivia y Ecuador aportan menos de 6mg de Hg/cápita al final de la vida útil de las lámparas, mientras que Venezuela es el país que mayor cantidad de mercurio libera al ambiente luego del uso de estas lámparas con 27,4 mg Hg/cápita, debido al gran número de LFC distribuidas. Esto es considerando que las lámparas tienen como destino final los vertederos municipales, debido a que en la presente investigación no se encontraron datos oficiales del porcentaje de reciclaje de este tipo de lámparas en los países en estudio.

Por otra parte, el país con mayores emisiones de Hg a la atmósfera producto de la quema de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica resultó ser Argentina con 179,84 kg/año, debido a que el 60% de la energía generada es termoeléctrica y fundamentalmente a base de carbón (*Figura 2*). Además, es el único de los cuatro (4) países analizados que emplea este combustible para generar electricidad.

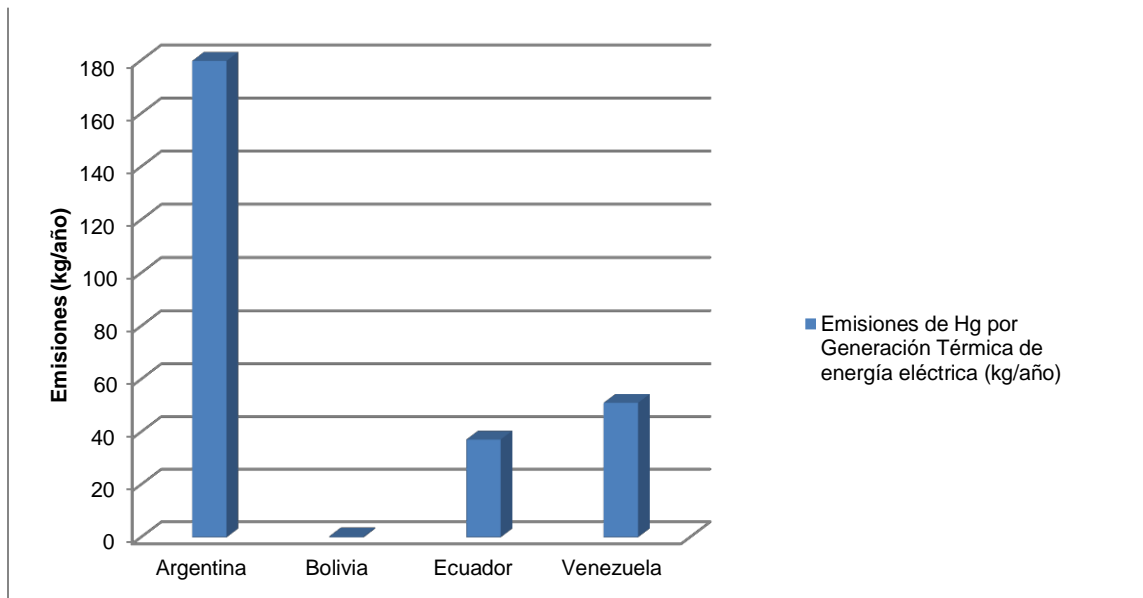


Figura 2. Emisiones de Hg por Generación Térmica de energía eléctrica.

Al calcular la reducción de las emisiones de mercurio a la atmósfera debida al ahorro energético por generación termoeléctrica (ecuación 2), se pudo evidenciar que la liberación de mercurio al ambiente se incrementa para los cuatro (4) países con la sustitución de las LI por las LFC, ya que como se puede observar en la *Figura 3*, la reducción es mucho menor a las emisiones de mercurio de las LFC al final de su vida útil, sin el debido reciclaje y tratamiento para recuperación del mercurio.

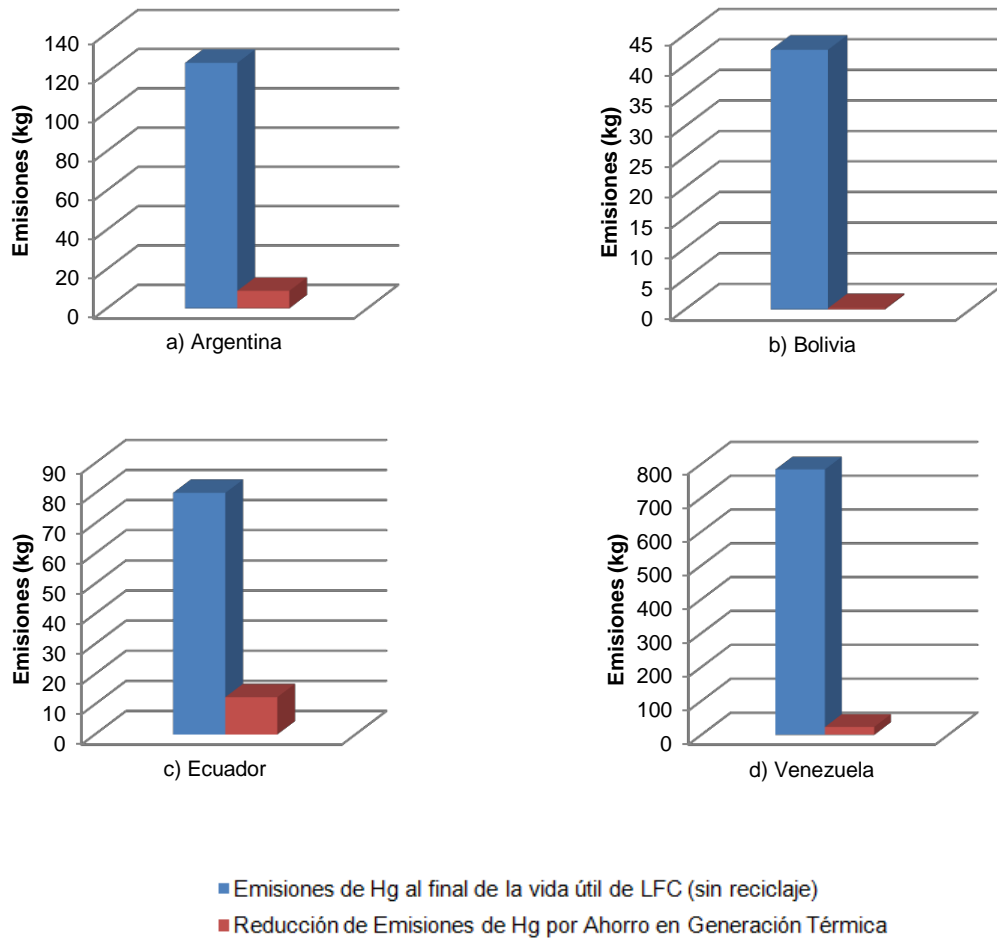


Figura 3. a)-d). Comparación de emisiones de Hg al final de la vida útil de LFC (sin reciclaje) y la reducción de emisiones de Hg por ahorro en generación térmica.

Lo anterior es afirmado por el Departamento de Protección Ambiental del estado de Maine en EEUU, el cual advierte que, si no se recicla adecuadamente el mercurio, el uso de LFC (en comparación con las LI) puede ocasionar una contribución positiva a la cantidad de mercurio liberada al medio ambiente (NEWMOA, 2009). Asimismo, asevera que en los EEUU las plantas termoeléctricas que consumen carbón generan más de la mitad de la electricidad, lo que constituye el 40 por ciento de las emisiones de mercurio en el país, pero que los combustibles para la generación de electricidad varían mucho según el estado y la región (NEWMOA, 2009).

De los países analizados, Ecuador es el país con la reducción más alta de emisiones de mercurio por ahorro en generación térmica debido al uso de las LFC, tal y como puede observarse en la *Figura 3-c*), la que corresponde a un 15,45%, mientras que Argentina reduce en 7,13%, lo cual se debe a que el 60% de la generación de energía eléctrica es por la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, Venezuela a pesar de ser el país que más las LI sustituyó por LFC, logra reducir tan sólo en un 3%, lo cual se debe fundamentalmente a que su generación térmica de energía es 30% y no quema carbón en ninguna de sus plantas (*Tabla 3*).

De lo anteriormente planteado, se evidencia como que el uso masivo de LFC es un problema ambiental, debido al incremento o aporte a las emisiones de mercurio al ambiente. Por lo cual es necesario crear una estructura legal y organizativa para la gestión de las LFC usadas, así como también campañas de concientización de los ciudadanos (Martínez et al, 2012). Tomando como referencia los planes de gestión ambiental de las LFC gastadas que tienen los EE. UU y países de la Comunidad Europea, quienes incluyen a todos los actores involucrados, especialmente los productores de las lámparas y a la sociedad en general (UNEP, 2012).

Del análisis realizado se proyecta que los países o Estados deben analizar los elementos a favor y en contra de cada una de las políticas públicas destinadas al sector eléctrico, ya que la generación y el consumo de electricidad a pesar de crear bienestar y desarrollo a la sociedad, tienen el potencial para generar contaminación por emisiones de mercurio debido a la quema de carbón (generación térmica) o por el uso de LFC, así como también por las emisiones de gases de efecto invernadero durante el consumo de la energía. De tal manera que los países deben establecer políticas acertadas y además evaluar en términos de eficiencia las políticas, a fin de proveer a sus ciudadanos calidad de vida sin comprometer el planeta y sus recursos.

## **CONCLUSIONES**

De los países analizados, Venezuela fue el país con más LFC incorporadas a su territorio con 156,845,182, le siguió Argentina con 25,000,000 unidades, luego Ecuador con 16,038,600 bombillos y finalmente Bolivia con 8,500,000 luminarias. La diferencia entre un país y otro se debe las políticas internas y la diferencia de los años de vigencia de plan de eficiencia energética por iluminación.

En Argentina, Bolivia, Ecuador y Venezuela, en promedio y por persona se incorporaron 0.61; 0.88; 1.11 y 5.49 luminarias, respectivamente. Es evidente que este valor para Venezuela sea mucho más alto, pues su programa tuvo una duración de 7 años, mientras que Argentina y Ecuador sólo 3 años, y Bolivia sólo 2 años.

De los cuatro países analizados Venezuela es el país con mayores emisiones de mercurio al ambiente al finalizar la vida útil de las LFC distribuidas, mientras que Argentina es el país con mayores emisiones de mercurio debida a la generación de energía eléctrica a base de combustibles fósiles.

La liberación de mercurio al ambiente se incrementa para los cuatro países analizados con la sustitución de las LI por las LFC, sin el debido reciclaje y tratamiento para recuperación del mercurio de las LFC gastadas. Sin una estructura legal y organizativa para la gestión de las LFC usadas, los planes de sustitución masiva de LI por LFC generan un problema ambiental por el incremento de las emisiones de mercurio al medio ambiente.

Los resultados son importantes para los países considerados y para otros en condiciones similares en términos de crear políticas ecoeficientes para la generación y consumo de energía eléctrica. También resulta necesario evaluar la eficiencia de las políticas desde perspectivas públicas y privadas, lo cual es una investigación en curso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación*. Quinta Edición. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. Pp. 21-29.

Cain, A., Disch, S., Twaroski, C., Reindl, J. y Randy, C. (2007). Case Substance Flow Analysis of Mercury Intentionally Used in Products in the United States. *Journal of Industrial Ecology*. 11(3), 61-75.

Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). *Estadísticas del Sector eléctrico ecuatoriano- Folleto Multianual. Consumo de combustible de las empresas de generación eléctrica en el período 2002-2011*, 2012. Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Folleto-Multianual-2002-2011.pdf>.

- Dilip R. Limaye, D. Sarkar, A. y Singh, J. (2009). *Large-Scale Residential Energy Efficiency Programs Based on Compact Fluorescent Lamps (CFLs)*. The World Bank - Energy Sector Management Assistance Program. Pp. 1-63. Recuperado de <https://www.esmap.org/CFLToolkit>
- Estado Plurinacional de Bolivia. *Anuario Estadístico de la Industria Eléctrica en Bolivia 2008-2009*. Autoridad de Fiscalización y Control Social de Electricidad, 2010. La Paz, Bolivia. Recuperado de <http://www.ae.gob.bo/aewebmobile/main?mid=1&cid=80>.
- León, D. y Peñuela, G. (2011). Trascendencia del metilmercurio en el ambiente, la alimentación y la salud humana. *Revista Producción + Limpia*. 6 (2), 108-116.
- Li, Y. y Jin, L. (2011). Environmental Release of Mercury from Broken Compact Fluorescent Lamps. *Environmental Engineering Science*. 28 (10), 687-69.
- Mantilla, O., Torreles, W. y Ereu, M. (2009). *Impacto del uso de lámparas fluorescentes compactas en la calidad y ahorro de la energía eléctrica*. II Congreso Venezolano de Redes y Energía Eléctrica. 2009. Recuperado de [http://www.cnv-cigre.org.ve/congreso\\_2009/page2/page28/page33/files/C1-216.pdf](http://www.cnv-cigre.org.ve/congreso_2009/page2/page28/page33/files/C1-216.pdf)
- Martínez, N., Ayrala, M. y Zurbriggenc, N. (2012). *Lineamientos para la gestión integral de lámparas con contenido de mercurio como residuo peligroso en la República Argentina*. VII Congreso de Medio Ambiente AUGM. 22 al 24 de mayo de 2012. UNLP. Argentina
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de Ecuador. Proyecto de Sustitución de focos ahorradores por Incandescentes - Ahorro Energético *Eficiencia Energética Sector Residencia*, s.f. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-residencial/>
- Ministerio de Energía y Minería (2008). *Informe Estadístico Anual del Sector Eléctrico. Generación, Potencia y Combustibles, 2008*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3225>
- Ministerio de Energía y Minería (2009). *Informe Estadístico Anual del Sector Eléctrico. Generación, Potencia y Combustibles, 2009*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3368>



Ministerio de Energía y Minería (2010). *Informe Estadístico Anual del Sector Eléctrico. Generación, Potencia y Combustibles, 2010*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3451>

Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica. Anuario estadístico 2013 – Sector Eléctrico Venezolano, 2013. Caracas, Venezuela. Recuperado de <http://www.mppee.gob.ve/anuario-estadistico/>

Northeast Waste Management Officials' Association (NEWMOA). (2009). *Review of Compact Fluorescent Lamp Recycling Initiatives in the U.S. & Internationally*. Pp. 1-24. Recuperado de <http://www.newmoa.org/prevention/mercury/OMSlamprecycle/CFLRecyclingReport.pdf>

Raimann, X., Rodríguez, L., Chávez, P. y Torrejón C. (2014). Mercurio en pescados y su importancia en la salud. *Revista Médica de Chile*. Vol. 142, 1174-1180.

Sabogal, E. (2008). Alcances de la sustitución de luminarias incandescentes por fluorescentes compactas. *Revista de Tecnología - Journal of Technology*. 7 (2), 93-102. Recuperado de [http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista\\_tecnologia/volumen7\\_numero2/alcances\\_sustitucion\\_luminarias\\_incandescentes7-2.pdf](http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen7_numero2/alcances_sustitucion_luminarias_incandescentes7-2.pdf)

United Nations Environment Programme (UNEP). (2002). *Evaluación Mundial sobre el Mercurio*. bVersión en español publicada en 2005. Ginebra, Suiza. Recuperado de <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/Documents/Publication/s/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf>

United Nations Environment Programme (UNEP). (2012). *Instrumental para la Transición Global a la Iluminación Eficiente*. Recuperado de [https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/en\\_lighten\\_spanish\\_complete\\_1.pdf](https://www.thegef.org/sites/default/files/publications/en_lighten_spanish_complete_1.pdf)

United Nations Environment Programme (UNEP). (2013). *Los estudios del PNUMA aprecian un incremento de las emisiones de mercurio en los países en desarrollo*. Recuperado de <http://www.unep.org/newscentre/Default.aspx?DocumentID=2702&ArticleID=9366&l=es>

United Nations Environment Programme (UNEP). (2014). *El convenio de Minamata sobre el Mercurio y su implementación en la región de América Latina y el Caribe*.

Montevideo, Uruguay. Recuperado de [http://www.pnuma.org/sustanciasdaninas/publicaciones/informe\\_Minamata\\_LAC\\_ES\\_FINAL.pdf](http://www.pnuma.org/sustanciasdaninas/publicaciones/informe_Minamata_LAC_ES_FINAL.pdf)

United Nations Environment Programme (UNEP). (2015). *Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases*. Recuperado de <http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingMaterialToolkits/MercuryToolkit/tabid/4566/language/en-US/Default.aspx>

Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). (2008). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestrías y Tesis Doctorales*. Cuarta Edición. Fondo Editorial de Universidad Pedagógica Experimental Libertador (FEDUPEL). Caracas, Venezuela. Pp. 20.

World Data Bank (Sin Fecha). *Sustainable Energy for All - World Data Bank*. Recuperado de <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=sustainable-energy-for-all#>.