

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CICLO DE VIDA DE LAS LÁMPARAS INCANDESCENTES Y LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES DE USO DOMÉSTICO

Msc. Jorge Rodríguez D. *jrodriguez@unimet.edu.ve* Universidad Metropolitana, Caracas. Venezuela

RESUMEN

La finalidad de este trabajo de investigación fue realizar un análisis del Ciclo de Vida de los bombillos incandescentes y fluorescentes y comparar los resultados. En primer lugar se realizó un análisis de inventario con la finalidad de recopilar toda la información necesaria para realizar el análisis. Esto incluye materia prima de cada bombillo y su procedencia, procesos en la etapa de producción, distribución a los puntos de venta, uso y finalmente su retiro. Luego se compararon los ciclos de vida de los bombillos incandescentes y fluorescentes con la finalidad de determinar su impacto ambiental, enfatizando en su fase de retiro. Se utilizaron los datos suministrados por los programas SimaPro y Eco-It con los indicadores ECO-Efficiency 99 en ambos casos. Luego se cargaron los datos a una página en Excel para calcular los impactos en cada fase. A partir de los resultados obtenidos se puede afirmar que el uso de los bombillos fluorescentes genera un menor impacto ambiental que usar bombillos incandescentes, sin embargo, esto no implica que el uso de los bombillos fluorescentes no revista complejidades que no se han divulgado correctamente. En consecuencia se ha tomado una decisión acertada al promover el uso masivo de estos dispositivos cuando se ve desde la perspectiva del ahorro energético y su consiguiente reducción del daño ambiental que produce generar la electricidad remanente mediante la quema de combustibles fósiles.

PALABRAS CLAVES

BOMBILLOS, CICLO DE VIDA, IMPACTO AMBIENTAL, COMPARACIÓN, FASES

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CICLO DE VIDA DE LAS LÁMPARAS INCANDESCENTES Y LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES DE USO DOMÉSTICO

Msc. Jorge Rodríguez D. jrodriguez@unimet.edu.ve Universidad Metropolitana, Caracas. Venezuela.

INTRODUCCIÓN

Una importante cantidad de los desechos que inciden negativamente en el medio ambiente no provienen de grandes industrias sino de desechos generados en los centros poblados como resultado de uso generalizado de pequeñas cantidades de productos de consumo masivo. Cada vez más las políticas ambientales están dedicando esfuerzos a regular la fabricación, uso y deposición de productos de consumo masivo con el objeto de reducir su impacto ambiental. En 1995, por ejemplo, con el propósito de encauzar a través de regulaciones ambientales los desechos que son generados por un gran número de negocios y particulares en relativamente pequeñas cantidades individuales, la EPA (*Environmental Protection Agency*) elaboró la norma conocida como “Reglamento por Desechos Universales” (Universal Waste Rule) y fue diseñada para reducir la cantidad de desechos peligrosos en los municipios. “Desechos Universales” son productos comúnmente lanzados a la basura por los habitantes y los negocios pequeños (como baterías, bombillos y demás). Dado que quienes manipulan estos desechos universales deben cumplir menores y menos estrictas normas para el almacenamiento, transporte y recolección, la EPA propone que estos deban cumplir normas más estrictas para las fases de reciclaje, almacenamiento y deposición. [1]. Después de la aparición de esta norma, muchas de las lámparas (bombillos) usados comúnmente en hogares, oficinas y comercios han empezado a ser tratados como desechos peligrosos debido a que contienen frecuentemente Mercurio y en algunos casos Plomo. La decisión de clasificar a los bombillos (especialmente a los fluorescentes y a las lámparas de descarga de vapor de Mercurio) como desechos peligrosos está basada en los comentarios recibidos a la propuesta EPA de 1994 para el manejo de ese tipo de lámparas y en su estudio de 1997 sobre el contenido de mercurio en las lámparas desechadas [2]. Los bombillos de luz fluorescentes que ahorran energía podrían causar problemas de salud a aquellas personas que sufren eccemas y otras afecciones de la piel. Los científicos recomendaron a los consumidores extremar los cuidados al deshacerse de los bombillos que se hayan fundido o roto, para evitar la contaminación con el mercurio venenoso que contienen pues puede causar problemas a las personas de piel sensible a la luz, mucha de la cual no puede pasar largo tiempo en lugares iluminados con lámparas fluorescentes, como hospitales y fábricas [3]. Los efectos del mercurio contenido en las bombillas fluorescentes condujeron al Ministerio del Medio Ambiente de Gran Bretaña a sugerir a los consumidores que, si se rompe un bombillo fluorescente se evacue la habitación durante 15 minutos como mínimo. Además, no debe de usarse una aspiradora para recoger los restos y hay que evita inhalar el polvo. Dichas autoridades medioambientales recomiendan el uso de guantes para recoger los pedazos, que luego deberían llevarse en una bolsa de plástico al lugar destinado para el reciclaje. Toda esta situación se debe a que un bombillo fluorescente (CFL) tiene entre 4 y 8 miligramos de

mercurio, cantidad que de por sí es muy pequeña. Sin embargo, el peligro estriba en su acumulación en el cuerpo, y especialmente en el cerebro por exposición repetida a ese metal.

OBJETIVOS

La finalidad de este artículo es realizar un análisis del Ciclo de Vida de los bombillos incandescentes y fluorescentes y comparar los resultados.

- **Análisis de inventario:** Recopilar toda la información necesaria para realizar el análisis. Esto incluye materia prima de cada bombillo y su procedencia, procesos en la etapa de producción, distribución a los puntos de venta, uso y finalmente su retiro.
- **Definición del objetivo y alcance:** Comparar los ciclos de vida de los bombillos incandescentes y fluorescentes con la finalidad de determinar su impacto ambiental, enfatizando en su fase de retiro.
- **Evaluación de impacto:** Se utilizarán los datos suministrados por los programas SimaPro y Eco-It con los indicadores ECO-Efficiency 99 en ambos casos. Luego se cargarán los datos a una página en Excel para calcular los impactos en cada fase.
- **Interpretación de resultados:** Se plantearán las conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos.

MARCO TEÓRICO

Comparación del Ciclo de Vida de los Bombillos

La estrategia de reducción de consumo eléctrico se ha enfocado en los ya comprobados beneficios derivados del menor consumo de energía de los bombillos fluorescentes comparados con sus equivalentes en luminosidad con tecnología incandescente. Sin embargo, no hay evidencias de que se haya analizado el efecto ambiental que el desecho de tales bombillas pueda traer, partiendo del hecho de que las incandescentes no tienen mercurio y por lo tanto no lo liberan al ser arrojadas a los sistemas de recolección, reciclaje y desecho de basura.

El Análisis de Ciclo de Vida

El análisis del ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés) es una técnica para evaluar aspectos ambientales asociados con un producto durante su ciclo de vida. Las aplicaciones más importantes son:

1. Análisis de la contribución de estados de ciclos de vida a la carga ambiental general, usualmente con el objetivo de dar trato preferente al mejoramiento de productos o procesos.
2. Comparación entre productos.

Estudio Comparativo

Es conocido que el bombillo incandescente es mucho menos eficiente que el fluorescente en su etapa de uso debido a que la mayoría de la energía (aproximadamente un 90%) se disipa en calor. Por otro lado, el bombillo fluorescente transforma la mayor cantidad de energía en luz ionizando el vapor de mercurio en su interior cuando circula una corriente eléctrica. El vapor de mercurio genera luz ultravioleta, desviando su longitud de onda (frecuencia) a luz visible dentro del espectro por el gas de argón en su contenido. Estos bombillos son

mucho más eficientes en su fase de uso (Lumen por Watt) que los incandescentes, sin embargo, el promedio de 5 miligramos de mercurio en su interior causa los efectos ambientales mencionados anteriormente en su fase de retiro o deposición. En el presente trabajo se pretende analizar las mencionadas fases ciclos de vida para comparar su impacto ambiental con la intención de validar la eficiencia ambiental de los bombillos fluorescentes sobre los incandescentes no solo en la fase de uso. Para ello se realizará el estudio en un período de 5 años, donde las emisiones de mercurio por la quema de carbón de un bombillo incandescente de 100 Watts equivalen a 10 mg de mercurio en su etapa de uso; y el total de las emisiones para un bombillo fluorescente de equivalente luminancia de 24 Watts es de 2,4 mg de mercurio más los 4 a 8 mg de mercurio que contiene en su interior.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

FASE MATERIA PRIMA

Bombillo Incandescente

PESO (g)	MATERIAL	PROCEDENCIA mm.pp. (km)	Impacto Unit. mm.pp. (mPt/Kg)	Impacto mm.pp. (mPt)	Imp. Unit. transporte (mPt/tKm)	Imp. transporte (mPt)	TOTAL (mPt)
10	Vidrio	60	49	0.49	3.5	0.0021	0.4921
0.08	Tungsteno	160	927	0.07416	3.5	0.0000448	0.0742048
0.02	nickel-iron	450	5200	0.104	3.5	0.0000315	0.1040315
0.01	Gas de argon	160	7.8	0.000078	3.5	0.0000056	0.0000836
0.01	nitrogeno	160	12	0.00012	3.5	0.0000056	0.0001256
8	aluminio	450	60	0.48	3.5	0.0126	0.4926
0.005	silica	160	60	0.0003	3.5	0.0000028	0.0003028

TOTALES (mPt):

1.148658

0.0147903

1.1634483

Bombillo Fluorescente

PESO (g)	MATERIAL	PROCEDENCIA mm.pp. (km)	Impacto Unit. mm.pp. (mPt/Kg)	Impacto mm.pp. (mPt)	Imp. Unit. transporte (mPt/tKm)	Imp. transporte (mPt)	TOTAL (mPt)
0.005	Vapor de Mercurio	800	165500	0.8275	3.5	0.000014	0.827514
18	Vidrio	60	49	0.882	3.5	0.00378	0.88578
0.015	Gas de Argón	160	7.8	0.000117	3.5	0.0000084	0.0001254
8	Aluminio	450	60	0.48	3.5	0.0126	0.4926
50	Cerámica	30	28	1.4	3.5	0.00525	1.40525
0.015	nickel-iron	450	5200	0.078	3.5	2.3625E-05	0.07802363
0.003	silica	160	60	0.00018	3.5	0.00000168	0.00018168

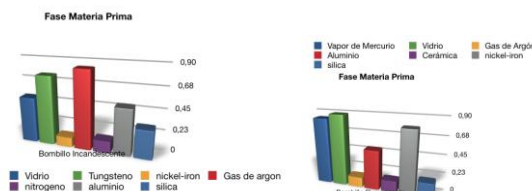
TOTALES (mPt):

3.667797

0.02167771

3.68947471

Podemos observar que el impacto del bombillo fluorescente, en esta fase, es 317% mayor que el impacto del bombillo incandescente debido mayormente a la contribución del Vapor de Mercurio y a unos valores mayores de mPt de Niquel-Hierro y Vidrio.



FASE PRODUCCIÓN

Bombillo Incandescente

Valor	Unidad	PROCESO DE FABRICACIÓN	Impacto Unit. producción. (mPt/Unidad)	Impacto producción. (mPt)
5	cm	Bending Aluminium	0.00004	0.0000002
22	gr	Pressing	23	0.506
2	puntos	Spot welding-Aluminuim	2.7	0.0054
5	kWh	Electricidad BV Europa	26	0.13

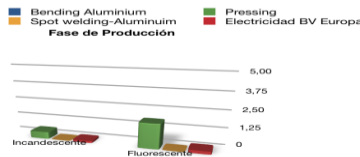
Total mPt 0.6414002

Bombillo Fluorescente

Valor	Unidad	PROCESO DE FABRICACIÓN	Impacto Unit. producción. (mPt/Unidad)	Impacto producción. (mPt)
5	cm	Bending Aluminium	0.00004	0.000002
78	gr	Pressing	23	1.794
2	puntos	Spot welding-Aluminium	2.7	0.0054
8	kWh	Electricidad BV Europa	26	0.208

Total mPt 2.0074002

En la fase de producción, de nuevo el bombillo fluorescente tiene un mayor impacto, 1,36 mPt más que su contraparte incandescente, lo que representa una diferencia de 313%. Como puede observarse en la gráfica siguiente, el más elaborado proceso de fabricación de los bombillos fluorescentes (en particular en la etapa de prensado) es la razón de la diferencia.



FASE DISTRIBUCIÓN

Bombillo Incandescente

PESO (g)	PROCEDENCIA FABRICANTE	Impacto Unit. producción. (mPt/tkm)	Impacto producción. (mPt)
22	160	3.25	0.01144

Bombillo Fluorescente

PESO (g)	PROCEDENCIA FABRICANTE	Impacto Unit. producción. (mPt/tkm)	Impacto producción. (mPt)
78	310	3.25	0.078585

En esta fase, ambas contribuciones totales son relativamente pequeñas y similares entre sí, aunque una vez más el bombillo fluorescente tiene un impacto mayor.

FASE DE USO

Incandescente

100 W tungsten incandescent (220 V) 13 Lm/Watt 1300 Lúmenes

Período 5 años	mPt/kWh	Horas al año 4 h/día	5 años
Bombillo Incadenscente 100 watts 1300 Lúmenes	0.67	1460	730

Flourescente

24 W compact fluorescent (220 V) 60 Lm/Watt 1440 Lúmenes

Período 5 años	mPt/kWh	Horas al año 4 h/día	5 años
Bombillo Flourescente 24 watts 1440 Lúmenes	0.67	1460	175.2

FASE DE USO

Bombillo Incandescente

(Bombillo de 1300 lúmenes encendido promedio 4 horas diarias por 5 años)

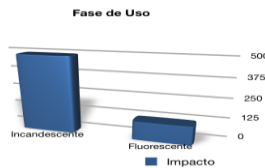
Valor	Unidad	Impacto Unit. Uso. (mPt/Unidad)	Impacto Uso. (mPt)
730	kWh	0.67	489.1

Bombillo Fluorescente

(Bombillo de 1440 lúmenes encendido promedio 4 horas diarias por 5 años)

Valor	Unidad	Impacto Unit. Uso. (mPt/Unidad)	Impacto Uso. (mPt)
175.2	kWh	0.67	117.384

En esta fase, es donde se marca claramente la diferencia que hace al bombillo fluorescente más eficiente desde la perspectiva energética y con ella, desde la perspectiva ambiental. Puede verse que el bombillo incandescente, más que cuadruplica (416%) el impacto ambiental de su similar fluorescente, básicamente por la cantidad de energía eléctrica necesaria para energizarlo y lograr una cantidad similar de iluminación. Por otra parte, el orden de magnitudes de las contribuciones de esta fase respecto a las demás fases del Ciclo de Vida, hacen al bombillo fluorescente mucho más ecoeficiente.



FASE DE RETIRO

Material	Peso gr.	VERTEDERO	INCINERADO	RECYCLADO	Impacto Unit. Vertedero (mPt/Kg)	Impacto Vertedero	Impacto Unit. Incinerado (mPt/Kg)	Impacto Incinerado	Impacto Unit. Reciclado (mPt/Kg)	Impacto Reciclado	TOTAL (mPt)
Vidrio	10	0	70%	30%	X	0	3,8	0,036	7,2	-0,0216	0,005
Impulsores	0,08	100%	0	0	907	0,07256	X	0	X	0	0,07438
nickel-cian	0,02	100%	0	0	5200	0,104	X	0	X	0	0,104
Gas de argon	0,01	100%	0	0	7,8	0,00078	X	0	X	0	0,00078
mercurio	0,01	100%	0	0	12	0,00012	X	0	X	0	0,00012
aluminio	8	0	0	100%	X	0	X	0	-4,5	-0,036	-0,036
silica	0,005	100%	0	0	80	0,0008	X	0	X	0	0,0008
TOTAL (mPt):											0,147658

Bombillo Incandescente

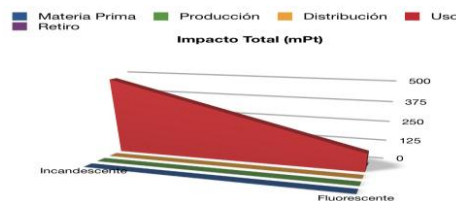
Material	Peso gr.	VERTEDERO	INCINERADO	MUNICIPAL	RECYCLADO	Impacto Unit. Vertedero (mPt/Kg)	Impacto Vertedero	Impacto Unit. Incinerado (mPt/Kg)	Impacto Incinerado	Impacto Unit. Municipal (mPt/Kg)	Impacto Municipal	Impacto Unit. Reciclado (mPt/Kg)	Impacto Reciclado	TOTAL (mPt)
Vapor de Mercurio	0,005	100%	0	0	0	165500	0,8275	X	0	X	0	X	0	0,8275
Vidrio	18	0	70%	0	30%	X	0	3,8	0,0476	X	0	-7,2	-0,0288	0,009
Gas de Argon	0,015	100%	0	0	0	7,8	0,00017	X	0	X	0	X	0	0,00017
Aluminio	8	0	0	100%	0	X	0	X	0	X	0	-4,5	-0,036	-0,036
Ceramica	18	0	0	100%	0	X	0	X	0	20	1,4	X	0	1,4
nickel-cian	0,015	100%	0	0	0	5200	0,078	X	0	X	0	X	0	0,078
silica	0,003	100%	0	0	0	80	0,0008	X	0	X	0	X	0	0,0008
TOTAL (mPt):														2,278797

Bombillo Fluorescente

En la gráfica puede observarse que el impacto total del bombillo fluorescente vuelve a ser mayor que el incandescente, al superarlo en 2,13 mPt (1540%). Nuevamente el impacto lo produce, en un 36% la presencia del Vapor de Mercurio.



	mPt	mPt
	Incandescente	Flourescente
Materia Prima	1.1634483	3.689474705
Producción	0.6414002	2.0074002
Distribución	0.01144	0.078585
Uso	489.1	117.384
Retiro	0.147658	2.278797
TOTALES	Total mPt	491.0639465
		125.4382569



El impacto total de las demás fases del ciclo de vida de los bombillos no se aproxima al causado en su fase de uso, donde los mismos se destinan a la iluminación mediante el consumo de energía eléctrica. En esta fase, el impacto de los bombillos incandescente es notablemente superior por lo que podemos determinar que de

acuerdo a este estudio, se verifica la considerablemente mayor ecoeficiencia de los denominados bombillos ahorradores.

DISCUSIÓN

A continuación, la verificación de los resultados obtenidos mediante el software ECO-IT®.

Bombillo incandescente

Life cycle	Production	Use	Disposal
Name: Bombillo Incandescente Date: 23/11/2012 Author: Jorge Rodriguez			
Description: Ciclo de vida de un Bombillo Incandescente de 100 W 1300 lumenes. Uso 5 años. 4 horas diarias en Europa			
Life cycle: 19 Pt			
Production: 0.14 Pt			
Use: 19 Pt			
Disposal: -0.00011 Pt			

Item	Amount	Unit	Number	Pt
Bombillo	1	p	1	0.14
Float glass uncoated	10	g	1	0.00049
Aluminum 100% Rec.	8	g	1	0.00048
Argon	0.02	g	1	1.9E-7
Nickel enriched	0.02	g	1	0.0001
Truck 19t	190	kgkm	1	0.0054
Elect. LV Europe	5	kWh	1	0.13
Spot welding aluminum	2	p	1	0.0054
Silicate (inertglass)	5	mg	1	3E-7
Bonding aluminum	5	cm	1	2.4E-6
Plating	22	g	1	0.00051
N2	0.01	g	1	1.2E-7

Bombillo Fluorescente

Life cycle	Production	Use	Disposal
Name: Bombillo Fluorescente Date: 23/11/2012 Author: Jorge Rodriguez			
Description: Ciclo de Vida de un Bombillo Fluorescente 2x W 1440 Lumenes. Uso 5 años. 4 horas diarias en Europa			
Life cycle: 4.8 Pt			
Production: 0.24 Pt			
Use: 4.8 Pt			
Disposal: 0 Pt			

Item	Amount	Unit	Number	Pt
Bombillo Fluorescente	1	p	1	0.24
Aluminum 100% Rec.	8	g	1	0.00048
Nickel enriched	2	g	1	0.0001
Ceramic	50	g	1	0.0004
Float glass uncoated	10	g	1	0.00048
Argon	15	mg	1	1.3E-7
Silicate (inertglass)	3	mg	1	1.9E-7
Truck LV Europe	8	kWh	1	0.23
Truck 19t	310	kgkm	1	0.0091
Bonding aluminum	5	cm	1	2.4E-6
Spot welding aluminum	2	p	1	0.0054
Plating	78	g	1	0.0008

Usando el método del Ecoindicador-99 Puede observarse que en el total de Ciclo de Vida, el bombillo incandescente tiene un impacto de 19 puntos, versus 4,8 puntos del bombillo fluorescente. Esto ratifica los resultados obtenidos mediante Simapro®.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo se puede afirmar que el uso de los bombillos fluorescentes genera un menor impacto ambiental que usar bombillos incandescentes, sin embargo, esto no implica que el uso de los bombillos fluorescentes no revista complejidades que no se han divulgado correctamente. Se ha tomado una decisión acertada al promover el uso masivo de estos dispositivos cuando se ve desde la perspectiva del ahorro energético y su consiguiente reducción del daño ambiental que produce generar la electricidad remanente mediante la quema de combustibles fósiles. En tal sentido, es conveniente reflexionar en cómo reducir el impacto que bombillos “ahorradores” tendrán cuando llegue su fase de desecho. 52 millones de estos bombillos representan aproximadamente 416 kilogramos de mercurio que deberán ser debidamente tratados. En función de lo anterior, se recomienda lo siguiente:

1. Profundizar en el análisis del Ciclo de Vida, aumentando su precisión mediante el uso de data más exacta y adaptada a las características del caso venezolano.
2. Divulgar los resultados del estudio a las autoridades ambientales venezolanas, con el objeto de promover una normativa que regule la fase de desecho de estos dispositivos.
3. Proponer la inclusión de jornadas de prevención e información que acompañen las rutinas de entrega y reemplazo de los bombillos incandescentes por fluorescentes, orientadas a educar sobre las formas correctas y seguras de desechar los bombillos ahorradores.

BIBLIOGRAFÍA

[1] EPA Federal Register. Hazardous Waste Management Systems. 1995. *Environmental Protection Agency*

[2] http://www.worldnetdaily.com/news/article.asp?ARTICLE_ID=59554

[3] http://www.uknetpark.net/id_news.php?id=177