

EVALUACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MAR DEL PLATA. ASPECTOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES

S. B. Jacob¹, J. L. Strack², J. C. Branda³, G. J. Murcia⁴ J. A. Suárez⁵
 Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Mar del Plata
 Juan B. Justo 4302 CP 7600 Mar del Plata FAX 0223- 4 810046 Tel: 0223 4816600
 Grupo LAT (lat@mdp.edu.ar)
 Email: sujacob@fi.mdp.edu.ar

Recibido 14/08/13, Aceptado 23/09/13

RESUMEN: Este trabajo es continuación del trabajo presentado en ASADES 2012 donde se analizó el consumo de energía eléctrica en el sector residencial de la ciudad de Mar del Plata a través de una encuesta y análisis de la facturación de electricidad. Esto permitió diagnosticar la situación y seleccionar las estrategias de ahorro más adecuadas. En este trabajo se realiza un análisis económico comparando la situación actual con una futura que supone reemplazar las lámparas actualmente utilizadas en las viviendas encuestadas por la tecnología LED, el impacto ambiental que representa desechar las lámparas utilizadas en una vivienda a la basura y cuál sería el beneficio si se las dispusiera adecuadamente, así como también el CO₂ que se evitaría enviar a la atmósfera.

Palabras clave: consumo, lámparas LFC y LED, cálculo económico, análisis ambiental, huella de carbono

INTRODUCCIÓN

La generación térmica con gas natural es la principal fuente de generación de electricidad de Argentina. La capacidad nominal instalada en 2010 era de 28.143 MW, de los cuales el 57% corresponde a generación térmica, el 35% a generación hidroeléctrica y el 6% a generación nuclear, mientras que menos del 0,1% corresponde a fuentes renovables (Cammesa, 2010). A partir de 2010, Argentina se convirtió en un fuertemente creciente importador neto de hidrocarburos (gasoil, fuel oil y gas natural), con tasas de crecimiento elevadas. En 2012 las importaciones fueron de 9500 millones de u\$s, y este año el país incrementaría su importación de energía colocando la compra en una cifra récord de 15 mil millones (Apud et al, 2013). En el corto plazo, el país necesita agregar cada año entre 800 y 1000 MW de nueva capacidad de generación instalada para hacer frente a la creciente demanda (Secretaría de Energía, 2012). Se estima que para el año 2020 el 31% del consumo energético en los países en vías de desarrollo se espera ocurra dentro de los sectores residencial, comercial y público por lo que reducir la ineficiencia de este sector merece ser considerado como una de las prioridades en cualquier agenda de política energética nacional (Price et al, 1998; Tanides, 2004).

El sector residencial argentino participa con el 33% sobre el total de energía eléctrica consumida en el país, ocupando el segundo lugar luego del industrial (36%). (Secretaría de Energía, 2009). A diferencia de lo que sucede a nivel nacional, el sector residencial en el Partido de General Pueyrredon, al cual pertenece la ciudad de Mar del Plata, es el de mayor consumo de electricidad alcanzando el 36,88%. Le sigue el comercial con 33,91% como se ve en la Fig. 2. De este análisis se desprende la importancia que tiene evaluar los consumos de energía eléctrica si consideramos que la Empresa Distribuidora de Energía Atlántica (EDEA) tiene el 89,47% de los usuarios en el sector residencial. (Fig. 1 y Tabla I) (Sec. de Energía, 2012).

La utilización racional de la energía implica una disminución de costos y un menor impacto negativo sobre el medio ambiente, sin alterar los niveles de bienestar económico y social.

	Total	Residencial	Comercial	Industrial	Serv. Sanita.	Alum. Público	Riego	Oficial	E. Rural	Otros
Usuarios = viviendas	330575	295757	30394	1035	1	16	263	830	1310	969
Facturación año 2010 [MWh]	1223981	451366	415106	212943	7866	33745	3846	83860	6994	8255
Consumo promedio por usuario año 2010 [kWh]	3703	1526	13657	205742	7866130	2109061	14625	101036	5339	8519

Tabla 1. Número de usuarios, facturación y consumo promedio durante el año 2010 en el Partido de General Pueyrredon (Sec. de Energía, 2012).

^{1,3,4,5} Investigador UNMDP

² Becario UNMDP

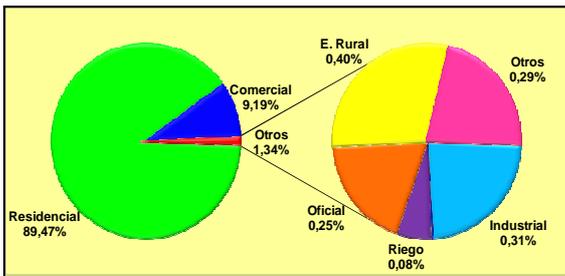


Figura 1. Distribución de usuarios en el Partido de General Pueyrredon año 2010 (Sec. de Energía, 2012).

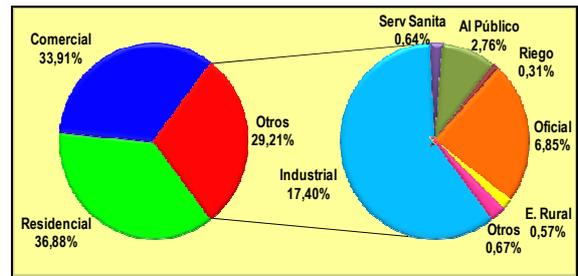


Figura 2. Distribución de la facturación a usuarios en el Partido de General Pueyrredon año 2010 (Sec. de Energía, 2012).

Este trabajo es continuación del trabajo presentado en ASADES 2012 (Jacob et al, 2012) donde se analizó el consumo de energía eléctrica en el sector residencial en la ciudad de Mar del Plata a través de una encuesta y análisis de la facturación de electricidad durante el año 2011 tomando como referencia los trabajos de: (Dutt, 2006), (Mesquida y Blasco Lucas, 2010) y (Tanides y Furfaro, 2010). Esto permitió diagnosticar la situación y seleccionar las estrategias de ahorro más adecuadas. En este trabajo se realiza un análisis económico comparando la situación actual con una futura que supone reemplazar las lámparas actualmente utilizadas en las viviendas encuestadas por la tecnología LED- Diodo Emisor de Luz. Se analiza también el impacto ambiental que representa desechar las lámparas utilizadas en una vivienda a la basura y cuál sería el beneficio si se las dispusiera adecuadamente, así como también el CO₂ que se evitaría enviar a la atmósfera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la evaluación del consumo de energía eléctrica de uso residencial se utilizaron las encuestas que dieron lugar al trabajo presentado en ASADES 2012 (Jacob et al, 2012). Se relevaron tipo de lámparas, uso por ambiente y horario de funcionamiento. Se evaluó qué conocimiento había en la población sobre los riesgos de contaminación que genera desechar las lámparas a la basura y cantidad de lámparas desechadas. La encuesta abarcó 61 viviendas de la ciudad de Mar del Plata distribuidas en distintos barrios de la misma. Para el cálculo económico se trabajó con las metodologías de cálculo presentadas en el Manual de Iluminación Eficiente (Dutt G., 2006) y las emisiones de CO₂ y mercurio se estimaron con datos de la SAyDS- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable y la Secretaría de Energía de la Nación.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de la información recogida en las encuestas pueden sintetizarse de la siguiente manera:

Distribución de la energía eléctrica consumida por usuario

De los datos procesados surge que el 32% de la energía consumida en una vivienda promedio corresponde a iluminación y el 33% a la conservación de alimentos como se aprecia en la Figura 3 y Tabla 2. El porcentaje de consumo en iluminación es alto en relación a otros países donde representa menos del 20%. (Tanides y Furfaro, 2010; Jacob et al, 2012).

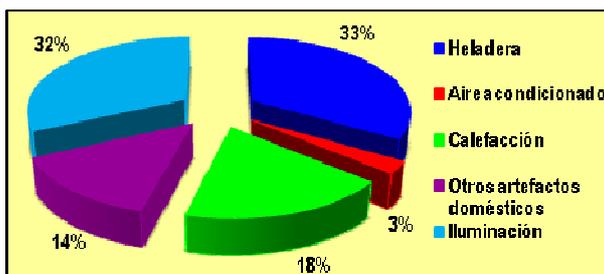


Figura 3: Distribución de la energía eléctrica.

Energía eléctrica bimestral consumida por usuario [kWh]					
Iluminación	Heladera	Calefacción	Aire acond	Otros artefactos domésticos	Total
116,46	122,28	65,46	9,30	51,32	364,8

Tabla 2: Distribución de la energía eléctrica consumida por usuario.

Consumo de energía eléctrica por tipo de lámpara por usuario

En las figuras 4, 5 y 6 se muestra la distribución de lámparas clasificadas de acuerdo a la cantidad, potencia y energía consumida en un bimestre, Tabla 3. La mayor cantidad de lámparas usadas en una vivienda corresponde a las LFCs- Lámparas fluorescentes compactas, (44%). A pesar de que las lámparas incandescentes ocupan el primer lugar en potencia instalada (32%), debido a que las lámparas LFCs son más numerosas y permanecen más tiempo encendidas, lideran en cuanto a energía consumida (30%). A pesar de que las halógenas pueden reemplazar a las incandescentes porque ofrecen la misma calidad lumínica (flujo y reproducción cromática), se observa que la gente opta más por reemplazar estas últimas con LFCs debido a que proveen hasta un 80% de ahorro energético. Mientras que las halógenas recién surgieron cuando se prohibió la venta de las incandescentes y sólo provee un ahorro energético del 30%. Como puede observarse en la Figura 4, sólo el 4% de las lámparas en las viviendas evaluadas son de tipo LED. Aunque el usuario es consciente del ahorro energético del uso de esta tecnología que representa entre un 80 y 90%, su uso es limitado debido a su elevado costo. (Alic, 2011)

Tipo de Lámpara	Cantidad de lámparas (61 usuarios)		Potencia total (61 usuarios)		Energía total en una semana (61 usuarios)		Cantidad media por vivienda (valor real; entero)	Potencia media por lámpara [W]	Energía consumida bimestral por usuario [kWh]
	Unidades	Porcentaje del total [%]	Potencia [kW]	Porcentaje del total [%]	Energía [kWh]	Porcentaje del total [%]			
Incandescentes	228	18,27	13,33	31,98	164,90	20,17	3,74; 4	58,46	23,46
Halógenas	141	11,30	7,24	17,37	135,81	16,61	2,31; 3	51,34	19,38
LFCs	541	43,35	9,10	21,85	244,12	29,86	8,87; 9	16,83	34,76
Tubos fluorescentes	115	9,21	4,14	9,92	95,46	11,68	1,89; 2	35,97	13,56
Dicroicas	171	13,70	7,65	18,36	169,47	20,73	2,80; 3	44,74	24,16
LEDs	52	4,17	0,22	0,52	7,78	0,95	0,85; 1	4,19	1,32
Total	1248	100,00	41,68	100,00	817,53	100	20,46; 20	33,40	116,46

Tabla 3: Distribución de lámparas en instalaciones residenciales clasificadas de acuerdo a la cantidad, potencia y energía total consumida

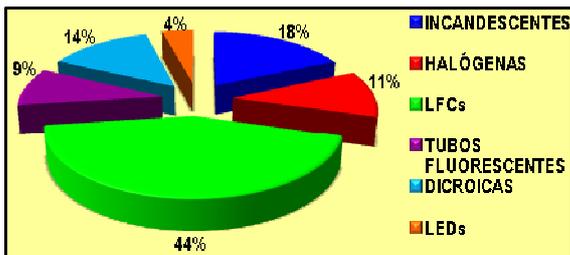


Figura 4. Distribución de lámparas en instalaciones residenciales

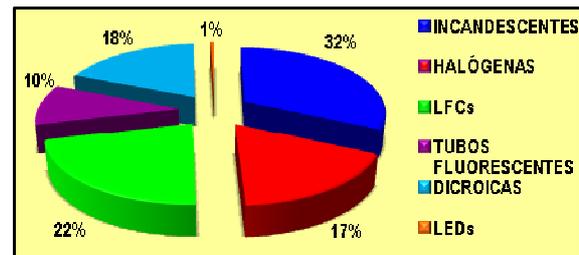


Figura 5. Distribución de potencias de lámparas en instalaciones residenciales.

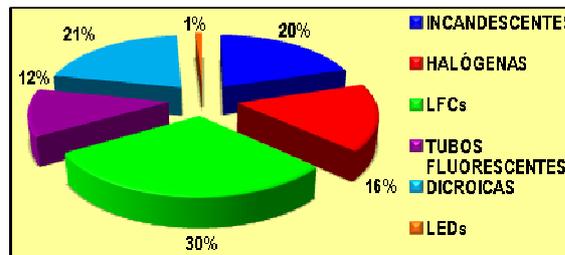


Figura 6. Distribución de energías consumidas por lámparas en instalaciones residenciales

Impacto ambiental

Siendo el único metal líquido, el mercurio se conoce desde hace miles de años, y se utiliza en un gran número de productos y procesos que aprovechan sus singulares características. El mercurio es un excelente material para muchas aplicaciones porque es líquido a temperatura ambiente, es un buen conductor eléctrico, tiene densidad muy alta y alta tensión superficial, se expande/contrae uniformemente en toda su gama líquida respondiendo a cambios de presión y temperatura, y es tóxico para los microorganismos y otras plagas. Las propiedades y comportamiento del mercurio dependen del estado de oxidación. En muy pequeñas cantidades, el mercurio conduce la electricidad, responde a cambios en la temperatura y la presión y forma aleaciones con casi todos los otros metales. El mercurio juega un importante papel como materia prima de procesos o como componente de productos de varios sectores industriales. En la industria eléctrica, es usado como componente de lámparas fluorescentes, sistemas de transmisión de electricidad e interruptores y pilas de óxido de mercurio. Una lámpara fluorescente típica (ya sea tubo o LFC) está constituida por un tubo de vidrio, previamente evacuado, que se llena con un gas inerte (habitualmente argón) y una cierta cantidad de mercurio líquido.

El ciclo del mercurio y su partición en el ambiente son fenómenos complejos que dependen de numerosos parámetros ambientales. La forma del mercurio en el aire afecta tanto a la velocidad como al mecanismo mediante los cuales se deposita en la tierra. Una vez en el sistema acuático, el mercurio puede existir disuelto o en forma de partículas y puede sufrir transformaciones químicas. Los sedimentos contaminados del fondo de las aguas de superficie pueden servir como un importante reservorio de mercurio, aportando al ciclo durante décadas. El mercurio tiene un largo tiempo de retención en suelos, como resultado, el mercurio acumulado en el suelo puede continuar migrando, por ejemplo a aguas, por largos períodos. Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena alimenticia. La toxicidad del mercurio depende de su forma química y, por lo tanto de sus compuestos orgánicos o inorgánicos. El metilmercurio es un neurotóxico muy bien documentado, que puede provocar efectos perjudiciales particularmente en el cerebro en formación. (Brugnoni M. y Iribarne R., 2006)

Los impactos ambientales de las lámparas fluorescentes compactas se producen a través de todo su ciclo de vida, en este sentido deben distinguirse las distintas fases: a) producción de materias primas, b) fabricación de lámparas, c) uso de lámparas y d) disposición al final de la vida útil.

- a) El impacto ambiental que reviste mayor interés al considerar las fuentes de provisión de materias primas para la fabricación de LFCs y lámparas tubulares, es el asociado a las emisiones de mercurio al ambiente provenientes tanto de la producción primaria de mercurio, como de la producción secundaria (reciclaje).
- b) Cuando se discuten los aspectos ambientales de los materiales usados en la construcción de lámparas se debe considerar principalmente las sustancias que son percibidas como causantes de un significativo impacto ambiental, sin embargo esas sustancias están íntimamente ligadas a su óptimo rendimiento durante el ciclo de vida y a una máxima eficiencia energética. Por ejemplo, hay estudios que demuestran que una lámpara fluorescente sin mercurio consumiría aproximadamente 3 (tres) veces más energía que una conteniendo mercurio para producir la misma iluminación. A través de los años los esfuerzos han sido dirigidos a lograr un óptimo rendimiento y a minimizar el uso de sustancias que han sido identificadas como peligrosas, tales como el mercurio contenido en lámparas de descarga. Avances técnicos en los procesos productivos y en los materiales aplicados permitieron reducir la cantidad de mercurio utilizada sin comprometer la eficiencia lumínica o la vida útil de la lámpara en su totalidad.
- c) Durante su fase de uso las lámparas no representan ningún impacto ambiental negativo, sí más bien un potencial impacto ambiental positivo en términos de consumo de energía. En relación al uso de LFCs en sustitución de lámparas incandescentes y halógenas, los impactos ambientales positivos resultan potenciales si se atienden dos aspectos fundamentales: la calidad de la lámpara y su forma de utilización. En cuanto a la calidad, distintas magnitudes deben considerarse: el flujo luminoso (lm) sirve como guía para el reemplazo de lámparas incandescentes por sus equivalentes compactas fluorescentes; la eficacia luminosa (lm/w) que permite la comparación del efectivo ahorro de energía producido a partir del uso de fluorescentes compactas en lugar de incandescentes; y la vida útil, es decir las horas de servicio que se espera entregue la lámpara antes de falla o agotamiento. La implementación de eficaces programas de promoción de uso eficiente de energía requieren de mecanismos de control y certificación de cada producto presente en el mercado, así como la adopción de una norma de etiquetado que contenga información completa y confiable sobre las magnitudes antedichas.
- d) Las lámparas fluorescentes compactas como parte de la corriente de residuos representan los impactos ambientales negativos asociados con los elementos y sustancias que los componen. En particular, a los efectos de este trabajo, interesan los impactos ambientales inherentes al mercurio, elemento indispensable para el funcionamiento y las características de bajo consumo energético de este tipo de lámparas. La alta probabilidad de rotura de lámparas, en cualquier etapa de manipuleo y antes de llegar a su destino final, implica cierta emisión de mercurio a la atmósfera. (Brugnoni M. y Iribarne R., 2006)

De los datos encuestados, Figuras 7 y 8, surge que más del 75% de los hogares, tienen al menos algún conocimiento sobre el potencial peligro de contaminación que provoca el residuo de las lámparas fluorescentes (Tubos, LFC, etc), sin embargo, el 77,07% las descarta a la basura como residuo domiciliario. El 22,95 % no las descarta y de ese pequeño porcentaje el 14,75% intenta algún tipo de disposición adecuada como llevarla a comercios de venta de materiales eléctricos. Por lo tanto se observa que si bien existe conocimiento sobre el impacto ambiental que genera dicho residuo, no está presente en los hogares

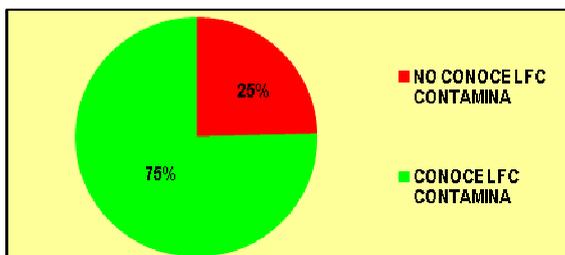


Figura 7. Conocimiento sobre contaminación de lámparas fluorescentes

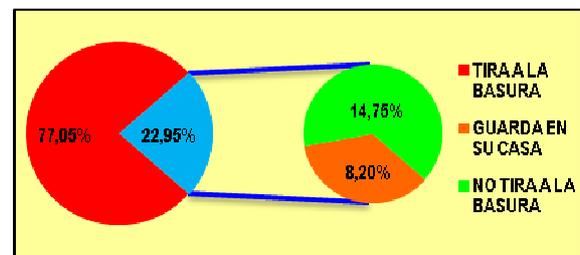


Figura 8. Gestión del residuo de lámparas fluorescentes

la información adecuada sobre dónde y cómo disponer las lámparas obsoletas.

En términos de complejidad en la gestión de residuos, por un lado la fragilidad de las lámparas las hace susceptibles de rotura en las distintas etapas de recolección, transporte, transferencia, procesamiento y disposición; por otro lado la dispersión en la generación resulta un desafío a la hora de diseñar sistemas de recolección diferenciada.

La alta probabilidad de roturas de lámparas, en cualquier etapa de manipuleo y antes de llegar a su destino final, implica cierta emisión de mercurio a la atmósfera. El 18% del mercurio contenido en lámparas fluorescentes es emitido en un período de 8 horas durante las etapas de trituración. (Lindberg et al). El estudio de Lindberg indica que a temperaturas entre 4 y 30 °C, aproximadamente entre el 17 y 40 % del mercurio contenido en lámparas fluorescentes rotas será emitido durante un período de dos semanas, con mayores tasas de volatilización correspondientes a mayores temperaturas. Un tercio de esas emisiones ocurrirán durante las primeras 8 horas posteriores a la rotura.

Internacionalmente, los destinos de los residuos sólidos urbanos son la disposición en tierra, la combustión y el reciclaje. Si el tratamiento elegido para las lámparas fluorescentes es la disposición en tierra, debe hacerse en un relleno sanitario adecuado para este tipo de residuos. Hasta hace poco tiempo, en donde existen instalaciones para la incineración de residuos municipales no se hacían previsiones con respecto a las emisiones de mercurio. Hoy en día, se entiende que para una mejor gestión de lámparas fluorescentes es indispensable su desviación de cualquier práctica de combustión. El reciclaje de

lámparas fluorescentes involucra la separación de vidrios, partes metálicas y polvo fluorescente (en el cuál se encuentra la mayor parte del mercurio contenido en una lámpara usada). Existen tecnologías para destruir las lámparas y separar los materiales de manera efectiva para ser reincorporados al mercado. Después de la extracción del mercurio, el vidrio recuperado se vende a fabricantes de fibra de vidrio, los metales se envían a fundición, y el polvo de fósforo y el mercurio (después de ser destilado) pueden reinsertarse nuevamente en el proceso de fabricación de lámparas. Aún sin contar con tecnología para el reciclaje, la trituración de las lámparas resulta una buena opción para reducir el volumen de residuos a manejar. Los equipos trituradores modernos cuentan con sistemas para el control de emisiones de mercurio. La trituración reduce los costos de transporte y almacenamiento, a la vez que minimiza las emisiones provenientes de roturas accidentales. El material triturado puede ser embalado en condiciones de seguridad hasta que las instalaciones para el reciclaje estén disponibles localmente, o bien para ser transportado hacia otros mercados consumidores. Debido a que, en el mercado, el valor de los productos recuperados es bajo, el reciclaje de LFCs no resulta económicamente rentable, por lo cual los usuarios o el sector gubernamental deben pagar por el apropiado tratamiento de estos residuos.

En la ciudad de Mar del Plata ha comenzado en el año 2012 un programa de recolección diferenciada de residuos domiciliarios en dos bolsas conteniendo residuos húmedos y secos reciclables (plástico, papel, vidrios y latas). No existe ningún programa de recolección para residuos peligrosos o especiales de origen domiciliario. Lamentablemente la Ley de Presupuestos Mínimos de Gestión de Residuos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), que se encontraba con media sanción del Senado desde el 5 de mayo de 2011, perdió estado parlamentario en diciembre de 2012. El Proyecto de Ley de Basura Electrónica buscaba dar tratamiento a la fracción más tóxica y que más rápido está creciendo de la basura domiciliaria. Prohibía el uso de sustancias tóxicas en la fabricación y obligaba a las Empresas a hacerse responsables legal y financieramente de la gestión, reutilización y reciclado de los residuos de sus aparatos.

Por el momento y hasta que se sancione una nueva Ley, alguna de estas disposiciones no podrá ser implementada pero sí cada Municipio podría realizar un Programa que haga hincapié en la educación y concientización de manera de reducir la generación, implementar una recolección diferenciada para este tipo de residuo y evitar su inadecuada disposición, considerando que las lámparas fluorescentes constituyen el 44% en el stock de lámparas en las viviendas.

Desde que se confirmó la relación entre las altas emisiones de carbono y el calentamiento del planeta hace unas décadas, los distintos gobiernos han ido tomando, sobre todo en los últimos años, medidas para intentar frenar el cambio climático. Las grandes políticas internacionales están dejando paso a las pequeñas acciones locales e individuales. Ya no se trata de esperar pasivamente a que las industrias reduzcan sus emisiones. El nuevo concepto de huella de carbono indica que los consumidores emiten tanto o más que los fabricantes al hacer uso de los productos manufacturados. La huella de carbono se refiere a la cantidad de emisiones que recae sobre un individuo al consumir un producto o servicio, incluyendo las emisiones indirectas vinculadas a su fabricación. Para citar un ejemplo al respecto, la estimación de las emisiones por consumo de electricidad, requiere aplicar un factor de emisión de la red eléctrica que en el caso de Argentina tiene un valor de 500 kg CO₂/MWh y en el de los Estados Unidos aproximadamente de 800 kg. La huella de carbono de un argentino con consumo promedio es de 5,71 ton CO₂ al año Fig. 9 y 10. Las diferencia en las huellas de carbono con estos países se pueden deber tanto al nivel de emisiones de los sectores productivos del país, así como, al estilo de vida de sus ciudadanos. (SAyDS, 2008)



Figura 9. Huellas de CO₂

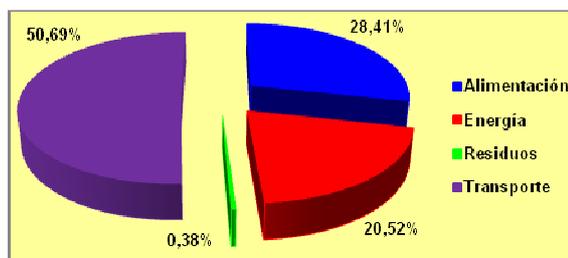


Figura 10. Huellas de CO₂ para Argentina

Para determinar las emisiones de CO₂ debidas al consumo de energía eléctrica en iluminación se utilizó la expresión:

$$\text{Emisiones (ton CO}_2\text{e/ usuario. año)} = \text{CONel} * \text{FRed} / (1000) \quad (1)$$

CONel = Consumo anual de electricidad en iluminación (KWh)
 FRed = Factor de emisión de la red = 0,5 kgCO₂/KWh

Con las lámparas utilizadas en la actualidad en una vivienda promedio se generan 0,350 Ton. de CO₂ por año por usuario o 0,117 Ton. de CO₂ por habitante del uso de electricidad para iluminación, considerando que habitan 3 habitantes promedio por vivienda. Si se considera la situación futura de reemplazo por lámparas LEDs, la producción de CO₂ se reduciría a la tercera parte, siendo esta de 0,117 Ton. por año por usuario o 0,039 Ton.por habitante.

Para determinar las emisiones de mercurio al ambiente se utilizó las siguientes expresiones:

$$\text{Cv (años)} = \text{Vu (h)} / [\text{Te (h/día)} * \text{Da (d/año)}] \quad (2)$$

Cv =Ciclo de vida promedio de las lámparas (años)

Vu=Vida útil (h)
 Te=Tiempo de encendido (h/día)
 Da=Días del año (d/año)

Considerando que las lámparas LFCs tienen una vida útil promedio de 10.000 hs. y teniendo en cuenta que el tiempo de encendido promedio de acuerdo a los datos de la encuesta, es de 3,8 hs por día, el ciclo de vida promedio de las lámparas es de 7,2 años (2).

$$\text{Emis. de Hg. (mg /día)} = Lu(\text{Lámp./usuario}) * U(\text{Usuarios}) * \text{Hg lámp. (mg/lámp.)} / [\text{Cv (años)} * \text{Da (d/año)}] \quad (3)$$

Emis. de Hg = Emisiones diarias de mercurio (mg /día)
 Lu= Lámparas LFC por usuario (Lámp./usuario)
 U = Usuarios de la Ciudad (Usuarios)
 Hg lámp.= Contenido de mercurio por lámpara (mg/lámp)

Teniendo en cuenta que en promedio hay 9 lámparas LFCs por usuario, que contienen alrededor de 3 mg de mercurio y que son cambiadas cada 7,2 años, en Mar del Plata con 295.757 usuarios residenciales, se generan 3 kg de mercurio por día.(3) De la encuesta surge que el 77,07 % de los usuarios residenciales las descarta a la basura representando esto 2,3 kg de mercurio que es liberado al ambiente por día, es decir 840 kg al año.

Análisis económico

Se realiza un análisis económico comparando la situación actual con una futura que supone reemplazar las lámparas actualmente utilizadas en las viviendas encuestadas por la tecnología LED. El cálculo económico se hace sobre las lámparas incandescentes, halógenas y dicroicas porque su consumo energético respecto a las lámparas LED justifica este análisis. No así con las lámparas LFCs puesto que su eficiencia energética es similar a las LEDs a un costo inicial por lámpara muchísimo menor. Las LFCs analizadas en este estudio tienen una etiqueta de eficiencia energética clase A que indica que consume sólo un 55% de una de tipo medio (Norma IRAM 62404-2).

En el análisis económico se considera los siguientes factores:

- Costo y vida útil de la lámpara a reemplazar y de la lámpara LED de reemplazo.
- Horas de funcionamiento de la lámpara a reemplazar.
- Costo de la energía eléctrica consumida.

El primer análisis se realiza calculando el PSR- Período Simple de Repago. Si bien este método es el más simple y da una idea del tiempo que llevaría amortizar la nueva lámpara, no es el más apropiado ya que no considera el valor futuro del dinero. Como segunda opción se realiza el análisis de rentabilidad calculando el CAT- Costo Anualizado Total, que considera el valor temporal del dinero. En ambos análisis se calculó el costo de la energía eléctrica consumida utilizando la tarifa con subsidio (0,2476 \$/KWh) y la tarifa sin subsidio (0,5733 \$/KWh), correspondientes a un usuario T1R- Residencial cuyo consumo mensual es entre 100 y 200 KWh, puesto que el consumo promedio de los usuarios encuestados es de 182,4 KWh/mes. Los datos fueron extraídos del cuadro tarifario de EDEA de junio de 2013. (EDEA, 2013). Para calcular el CAT se utilizó una tasa de interés del 10% anual, tasa promedio de plazos fijos de diversos Bancos Argentinos.

En la Tabla 4 se muestran los datos de las lámparas utilizadas actualmente, que figuran con una letra A y las lámparas LED que las reemplazan por tener la misma calidad lumínica, que figura con una letra B.

Tipo de lámpara	Potencia [W]	Tensión [V]	Zócalo	Vida útil [h]	Costo inicial [\$]
Halógena clara (A)	28	220	E27	2.000	15,90
Globo A60 7 LED's (B)	7	220	E27	20.000	263,20
Halógena clara (A)	42	220	E27	2.000	15,90
Master LED A60 (B)	12	220	E27	25.000	367,90
Halógena clara (A)	53	220	E27	2.000	15,90
Master LED A60 (B)	15	220	E27	25.000	460,70
Halógena clara (A)	70	220	E27	2.000	15,90
2 x Globo A60 7 LED's (B)	14	220	E27	20.000	526,40
Dicroica halógena JDR (A)	20	220	E27	2.000	13,60
JDR 4 LED's (B)	4	220	E27	20.000	226,70
Dicroica halógena JDR (A)	35	220	E27	2.000	13,60
JDR 4 LED's (B)	4	220	E27	20.000	226,70
Dicroica halógena JDR (A)	50	220	E27	2.000	13,60
R63 6 LED's (B)	12	220	E27	30.000	415,60

Tabla 4: Características de las lámparas analizadas.



Figura 11. Tipos de lámparas analizadas.

En las Figuras 12 y 13 se observa el tiempo de amortización de las lámparas LED en función del tiempo diario de encendido, teniendo en cuenta las tarifas sin subsidio y con subsidio respectivamente. A mayor tiempo de encendido de la lámpara el tiempo de amortización se reduce. Se observa que el tiempo de amortización es significativamente mayor en el caso de tener una tarifa subsidiada.

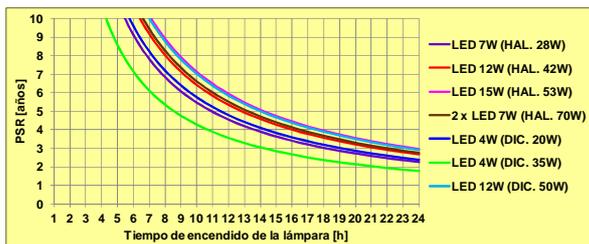


Figura 12. PSR de las lámparas LED's. Tarifa con subsidio.



Figura 13. PSR de las lámparas LED's. Tarifa sin subsidio

Tomando como ejemplo las lámparas LED de 15W y 4W podemos analizar la vida útil y amortización en función del tiempo de encendido, Figuras 14 y 15. En el primer ejemplo, cuando la tarifa es subsidiada, es decir energía más barata, la lámpara se amortiza en un tiempo mayor a su vida útil. Mientras que con tarifa no subsidiada, es decir energía más cara, se amortiza en un tiempo mayor al 50% de su vida útil. En el segundo ejemplo, con tarifa subsidiada la lámpara se amortiza entre uno y dos años antes de su vida útil. Y en el caso sin subsidio se amortiza en menos del 50% de la vida útil. Este análisis se hizo para todas las lámparas y sus reemplazos, pero sólo se muestran estos ejemplos para claridad en la presentación gráfica.

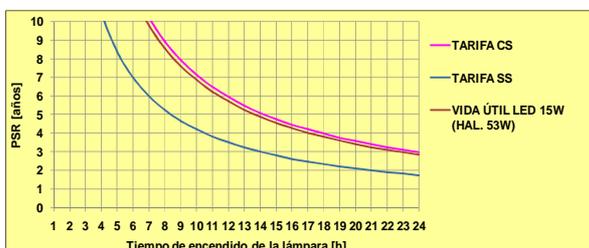


Figura 14. Vida útil y amortización, lámpara LED 15W



Figura 15. Vida útil y amortización, lámpara LED 4W

En las Figuras 16 y 17 se presenta el costo anualizado total en función del tiempo diario de encendido de las lámparas halógenas y microicas y sus correspondientes reemplazos LED, para tarifa subsidiada y no subsidiada respectivamente. Con subsidio el costo anualizado total es mayor en las lámparas LED, esto evidencia que el reemplazo no es rentable, porque a pesar de que las halógenas tienen un mayor consumo, la energía es más económica que el costo de la lámpara LED. Con tarifa sin subsidio el reemplazo comienza a ser rentable para tiempos de encendido que se encuentran entre 3 y 7 horas diarias de encendido según el modelo de lámpara.



Figura 16. CAT de las lámparas LED's. Tarifa con subsidio



Figura 17. CAT de las lámparas LED's. Tarifa sin subsidio

CONCLUSIONES

- De los datos procesados surge que el 32% de la energía consumida en una vivienda promedio corresponde a iluminación.
- La mayor cantidad de lámparas usadas en una vivienda corresponde a las LFCs (44%). A pesar de que las lámparas incandescentes ocupan el primer lugar en potencia instalada (32%), debido a que las lámparas LFCs son más numerosas y permanecen más tiempo encendidas, lideran en cuanto a energía consumida (30%).
- Con las lámparas utilizadas en la actualidad en una vivienda promedio se generan 0,35 Ton.de CO₂ por año por usuario o 0,117 Ton.de CO₂ por habitante del uso de electricidad para iluminación. Si se considera la situación futura de reemplazo por lámparas LEDs, la producción de CO₂ se reduciría a la tercera parte, siendo esta de 0,117 Ton. por año por usuario o 0,039 Ton.por habitante.
- En la ciudad de Mar del Plata con 295.757 usuarios (viviendas) residenciales se generan 3 kg de mercurio por día. De la encuesta surge que el 77,07 % de los usuarios residenciales las descarta a la basura representando esto 2,3 kg de mercurio que es liberado al ambiente por día, representando 839,5 kg al año.
- A mayor tiempo de encendido de la lámpara el tiempo de amortización se reduce. Se observa que el tiempo de amortización es significativamente mayor en el caso de tener una tarifa subsidiada.
- Evaluando el período simple de repago, PSR (sin considerar el valor temporal del dinero), y tomando como ejemplo las lámparas LED de las Figuras 14 y 15, en el primer ejemplo se ve que cuando la tarifa es subsidiada, es decir energía más

barata, la lámpara se amortiza en un tiempo mayor a su vida útil. Mientras que con tarifa no subsidiada, es decir energía más cara, se amortiza en un tiempo mayor al 50% de su vida útil. En el segundo ejemplo, con tarifa subsidiada la lámpara se amortiza entre uno y dos años antes de su vida útil. Y en el caso sin subsidio se amortiza en menos del 50% de la vida útil.

- Si se realiza el cálculo del costo anualizado total, CAT (teniendo en cuenta el valor futuro del dinero), se concluye que con subsidio el costo anualizado total es mayor en las lámparas LED, esto evidencia que el reemplazo no es rentable, porque a pesar de que las halógenas tienen un mayor consumo, la energía es más económica que el costo de la lámpara LED. Con tarifa sin subsidio el reemplazo comienza a ser rentable para tiempos de encendido que se encuentran entre 3 y 7 horas diarias de encendido según el modelo de lámpara.
- Si bien por el momento se concluye que el uso de lámparas LED en una vivienda no es rentable, es de esperarse que en un futuro con el avance tecnológico, uso masivo y restructuración del cuadro tarifario, este escenario cambie. A pesar de esto se debe considerar el impacto ambiental positivo que representa el uso de lámparas LED, por el ahorro energético y reducción de las emisiones de CO₂ y mercurio al ambiente.

REFERENCIAS

- Alic. (2011). Revista Luminotecnia. Publicación de la Asociación Argentina de Luminotecnia. ISSN 03252558
- Apud E., Aráoz J.C., Devoto E., Echarte R., Guadagni A., Lapeña J., Montamat D., Olocco R., (2013) La energía en el período 2003-2013: Diez años perdidos,. <http://www.exsecretarios.com.ar>
- Brugnoni M, Iribarne R. (2006). Estudio de impactos en Redes de Distribución y Medio Ambiente debido al uso intensivo de lámparas fluorescentes compactas. Secretaria de Energía
- CAMMESA, Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico. 2010
- Dutt G. (2006) Manual de Iluminación Eficiente - Seminario de Iluminación Eficiente Capítulo 14
- EDEA. (2013). Cuadro Tarifario- Empresa Distribuidora de Energía Atlántica. <http://www.edeaweb.com.ar/>
- Jacob S.B., Strack J.L., Branda J. C., Suárez J.A. (2012). Evaluación del Consumo Eléctrico en el Sector Residencial de Mar del Plata. Propuestas de Ahorro y Eficiencia Energética. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 16, 2012. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.
- Lindberg, S.E., Wallschläger, D., Prestbo, E.M., Bloom, N.S. Price, J. and Reinhart, D. (2001). Methylated mercury species in municipal waste landfill gas sampled in Florida, USA. Atmos. Environ. 35, 4011-4015
- Mesquida S., Blasco Lucas I.(2010). Eficiencia Energética: Análisis comparativo entre dos viviendas convencionales. Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 25,pp 73-80
- Price,L, Michaelis,L, Worrel E., and Kchrushch (1998) Sectorial Trends and Driving Forces of Global Energy Use and Greenhouse Gas Emissions. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change
- Tanides C.G. (2004). Etiquetado en eficiencia energética y valores de consumo máximo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol.8, N° 2, ISSN 0329-5284
- Tanides,C.G. y Iglesias Furfaro H.D. (2010). Iluminación Eficiente en el Sector Residencial Argentino: Evolución y Perspectivas Futuras. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol.14, ISSN 0329-5184
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2008). La Huella de Carbono del Argentino Promedio. Dirección Cambio Climático
- Secretaría de Energía (2009). Informe del Sector Eléctrico, http://energía3.mecon.gov.ar/contenidos/ver_página.php
- Secretaría de Energía (2012). Informe del Sector Eléctrico, http://energía3.mecon.gov.ar/contenidos/ver_página.php

ABSTRACT

This paper is a continuation of work presented in ASADES 2012 which analyzed the energy consumption in the residential sector of the city of Mar del Plata through a survey and analysis of electricity billing. This allowed diagnose the situation and select the most appropriate savings strategies. In this paper an economic analysis comparing the current situation with a future that involves replacing the lamps currently used in the houses surveyed by LED technology, the environmental impact is disposing of lamps used in a home in the trash and what the benefit if properly willed them and also avoid sending CO₂ into the atmosphere.

Keywords: consumption, CFL and LED lamps, economic calculation, environmental analysis, carbon footprint