

Capítulo 15

Potencial de ahorro en el Sector Residencial

Carlos Tanides

1. Estimación del consumo de energía por iluminación en la República Argentina

- 1.1. Análisis del consumo sectorial
- 1.2. Análisis del mercado de lámparas

2. Potencial de ahorro

- 2.1. Escenarios futuros

3. Potencial de ahorro de energía en iluminación en el sector residencial

- 3.1. Cantidad de residencias (T)
- 3.2. Demanda del servicio de iluminación (S_{ILUM})
- 3.3. Intensidad energética de la iluminación (I_{ILUM})
- 3.3. Intensidad energética de la iluminación (I_{ILUM})
- 3.4. Ejemplo de cálculo del potencial de ahorro de la iluminación en el sector residencial

4. Potencial de ahorro en la demanda de potencia

- 4.1. Ejemplo de cálculo de la disminución de la demanda de punta

5. Potencial de reducción de las emisiones de dióxido de carbono

- 5.1. Ejemplo de cálculo de la reducción de las emisiones de CO_2

Bibliografía

1. Estimación del consumo de energía por iluminación en la República Argentina

Para el cálculo del potencial de ahorro, que es el objeto central de este capítulo es menester conocer la cantidad de energía eléctrica consumida en la iluminación.

En ausencia de estudios detallados —que involucran encuestas y mediciones en muestras de usuarios ver *Capítulo 14 Auditorías Energéticas de la Iluminación Residencial*— que permitan determinar en forma precisa el consumo energético en iluminación para la Argentina, éste puede ser estimado de dos maneras: (1.1) análisis del consumo energético por sector y (1.2) análisis del mercado de lámparas. Cada uno de los métodos se explican a continuación.

1.1. Análisis del consumo sectorial

En el primer método, se considera el consumo de energía eléctrica total por sector y se establece una porción de ese total para la iluminación. Dicha asignación, en este caso, está basada en relevamientos limitados y en datos de otros países. En la Tabla 1 se presentan los resultados que surgen de considerar las proporciones mínimas y máximas de cada sector que podrían adjudicarse a la iluminación, sobre la base del perfil de consumo nacional en 1994. Estimaciones más recientes fueron realizadas para el año 2000. [Assaf, Dutt y Tanides, 2002]

Tabla 1. Consumo de energía eléctrica por sector, total e iluminación, Argentina 1994.							
Subsector	Consumo Total, TWh ^[1]	% iluminación			Consumo iluminación TWh		
		Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	máx.
Comercial y público	8,15	45	50	55	3,67	4,08	4,48
Residencial	15,55	25	30	35	3,89	4,67	5,44
Industrial	20,14	5	7	9	1,01	1,41	1,81
Alumbrado público	2,08	100	100	100	2,08	2,08	2,08
Electricidad. Rural	0,36	40	50	60	0,14	0,18	0,22
Otros ^[2]	1,73	5	7	9	0,09	0,12	0,16
Total	48,02	23%	26%	30%	10,87	12,53	14,19

Notas:

1. Fuente: “Informe Quinquenal del Sector Eléctrico 1991-1995”, Subsecretaría de Energía, Secretaría de Energía de la Nación, 1996.
2. Servicio sanitario, riego agrícola, tracción y otros.

Estimando valores mínimos y máximos del consumo para cada sector dedicado a la iluminación, se calcula un consumo total para este uso final en 1994 entre 10,87 y 14,19 TWh, un rango amplio de valores. Sin embargo, aplicando las reglas de Estadística¹, podemos reducir la incertidumbre en la estimación del consumo total para la iluminación a $12,53 \pm 0,96$ TWh, es decir, entre 11,57 y 13,49 TWh.

¹ La varianza de la suma de una serie de variables independientes es la suma de la varianzas de las variables. (Ver, por ej., John Mandel, *The Statistical Analysis of Experimental Data*, New York: Dover Publications, 1984, p. 72.)

1.2. Análisis del mercado de lámparas

Este método se basa en la estimación del consumo energético en lámparas a partir de su vida útil y potencia. El reemplazo de cada lámpara (al fin de su vida útil) implica un consumo energéticamente equivalente al que ha tenido la lámpara quemada durante su vida útil. Por lo tanto, a través de datos de la venta anual puede estimarse el consumo anual de cada tipo de lámpara. En síntesis:

- 1) Cada lámpara que se compra en un año *para reemplazar a una quemada* representa un consumo anual de energía en esa luminaria de:

$$CA = PL \times VU$$

donde: CA , consumo anual de la lámpara; PL , potencia de la lámpara [W] y VU es la *vida útil* de la lámpara en cuestión [h].

- 2) Sumando esta relación para todas las lámparas vendidas en el año se logra el dato buscado, el consumo total de energía en la iluminación. Ya que no todas las lámparas son de reposición, se tiene que introducir un coeficiente adicional que representa la fracción de las compras que fueron utilizadas para el reemplazo, y no para una nueva luminaria. Esta fracción se denomina Factor de Reposición, FR .

Entonces para cada tipo de lámpara, el consumo anual total es:

$$CA_i = VLA_i \times VU_i \times PML_i \times FR_i$$

donde: i , tipo de lámpara; VLA son las ventas de lámparas por año y PML , es la potencia media de las lámparas (incluyendo los circuitos auxiliares).

Como ejemplo se aplica este método con:

- datos de venta de lámparas por año, VLA , provistos por los principales fabricantes e importadores,
- datos del fabricante acerca de la vida útil, VU , modificados en algunos casos por datos experimentales²,
- evaluaciones propias de la potencia media de cada tipo de lámpara, PML , incluyendo el consumo de los equipos auxiliares³ y
- estimaciones propias de valores de FR que depende de la vida útil de la lámpara, las horas típicas de uso anual por tipo de lámpara, y de la tasa de crecimiento del sector.

Los datos, suposiciones y resultados para los principales tipos de lámpara se sintetizan en la Tabla 2, que también incluye datos de la eficacia de las lámparas.

² Ensayos de vida de lámparas, según Normas IRAM, fueron realizados para la Liga Acción del Consumidor, ADELCO, por el Instituto de Luminotecnia, Luz y Visión, Universidad Nacional de Tucumán

³ Para las lámparas incandescentes se toman el promedio de potencia, ponderado por ventas, según datos provistos por General Electric Argentina.

Tabla 2. Consumo de energía por tipo de lámpara, Argentina 1994.						
Tipo de Lámpara	Eficacia lm/W	Venta VLA 10 ⁶ /año	Vida útil VU horas	Potencia media, PML, W	Factor de reposición FR	Consumo CA, TWh
Incandescente	12	115,0	0-	65	0,95	6,68
Fluoresc. Comp	55	0,2	4.500	14	0,80	0,01
Fluoresc. T8	64	4,2	6.500	46	0,85	1,07
Fluoresc. T12	58	7,8	6.500	50	0,85	2,15
Vapor de mercurio	50	0,35	12.000	300	0,95	1,20
Vapor de sodio	90	0,25	15.000	220	0,85	0,70
Mezcladoras	20	0,7	1.800	250	0,95	0,30
Otro	22	0,4	1.500	100	0,85	0,05
TOTAL	--	--	--	--	--	12,16

El consumo total estimado para 1994 por este segundo método es 12,2 TWh. No se ha determinado la incertidumbre de esta estimación, que dependería de los errores en la estimación de los valores de las columnas anteriores. Se esperaría un error de 10% o más. Sin embargo, el valor medio de la estimación (12,2 TWh) es comparable con la estimación de entre 11,5 y 13,5 TWh obtenida por el primer método. La convergencia de los dos procedimientos de cálculo expuestos nos indica que es posible estimar con una precisión aceptable el consumo de energía en iluminación a partir de la venta anual de lámparas.

La Fig. 1 representa la distribución del consumo energético por tipo de lámpara en la Argentina.

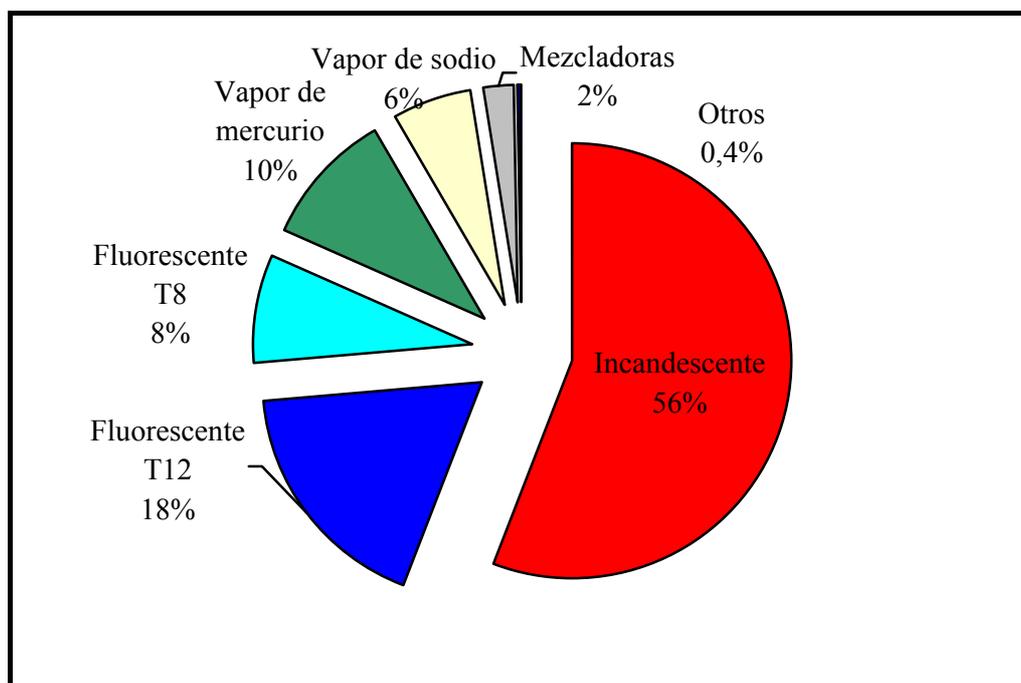


Figura 1. Estimación del consumo energético por tipo de la lámpara en la Argentina para el año 1994. Consumo total en iluminación (12,2 TWh)

Considerando ambos métodos de estimación, se puede afirmar que el consumo de energía eléctrica para la iluminación en Argentina durante 1994 estuvo entre 11,5 y 13,5 TWh. Un consumo medio de 12,5 TWh constituye el 26% del consumo nacional de energía eléctrica de 48 TWh en 1994. Este porcentaje es alto respecto a otros países —donde la iluminación generalmente representa menos del 20% del consumo total de energía eléctrica— debido principalmente al mayor uso del gas natural como sustituto de la energía eléctrica en la República Argentina, y la baja eficiencia de los sistemas de iluminación. Como consecuencia, el potencial de ahorro de energía eléctrica en los sistemas de iluminación es mayor en este país.

2. Potencial de ahorro

El consumo de energía eléctrica varía en el tiempo debido a diversos factores: cambio de la población, en los niveles de confort, nuevas prestaciones brindadas por artefactos eléctricos, etc. Estas variaciones normalmente determinan que el consumo vaya creciendo paulatinamente. Las suposiciones que se hagan sobre cada uno de estos factores conducirán a distintos escenarios con diferentes consumos energéticos. La existencia de estos escenarios alternativos permite entonces introducir el concepto de Potencial de Ahorro:

Se define *potencial de ahorro* como la “diferencia entre la evolución del consumo de energía sin la introducción de medidas de ahorro y el caso en que *todas* las medidas del uso eficiente de la energía y gestión de la demanda (UEGD)⁴ estén incluidas en el patrón del consumo”.

El potencial de ahorro, brinda una medida de cuánta energía podría ahorrarse de llevar adelante una política de uso eficiente. **Los potenciales de ahorro** se calculan en base a ciertos supuestos:

- a) en ningún caso contemplan una disminución del servicio brindado por la electricidad o sea **no implican «sacrificio» alguno;**
- b) se basan en tecnologías **actualmente disponibles en el mercado** (aunque en algunos casos no necesariamente en el nacional) y;
- c) sólo incorpora los ahorros producidos en aquellas aplicaciones donde éstas son **económicamente rentables**. (ver *Capítulo 13. Análisis Económico de la Iluminación Eficiente*).

El potencial de ahorro varía con el tiempo, fundamentalmente por tres razones:

1. Pues crece la demanda de servicios energéticos (por ejemplo por el crecimiento de la población) creciendo también la demanda con eficiencia congelada—y proporcionalmente— el potencial del ahorro.
2. Debido al paulatino reemplazo de los artefactos actualmente en uso—al fin de su vida útil—por nuevo equipamiento más eficiente.
3. Ya que se desarrollan nuevas tecnologías de uso eficiente de la energía (esta razón no está considerada en nuestros cálculos).

Por eso, para el cálculo del potencial de ahorro se parte de un año “base”, O (año base) y se llega hasta un determinado año límite, N (año horizonte). Este lapso debe ser comparable con —o mayor a— la vida útil de la mayoría de los artefactos permitiendo una introducción substancial

⁴ Ver definición en Introducción.

de los artefactos eficientes. Más allá de ese horizonte, las estimaciones se complicarían por varios factores: la introducción de nuevas tecnologías con capacidad de ampliar el potencial de ahorro, cambios estructurales en la economía que afectan la participación de distintas actividades en el producto nacional y la introducción de nuevos usos energéticos para los consumidores.

El potencial de ahorro implica, en primer término, un menor consumo energético debido a la utilización de una tecnología más eficiente o a la modificación en la forma de utilización de un uso final estipulado. Pero la disminución del consumo energético produce además, una menor demanda de potencia (instalaciones eléctricas) y también una disminución en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera por menor utilización de combustibles en la generación de electricidad⁵. La puesta en marcha de un plan de eficiencia energética puede tener como objetivos la reducción de cualquiera de los ítems mencionados en forma aislada o en cualquiera de las combinaciones posibles.

Para poder proceder con el cálculo se deberá primeramente construir los dos escenarios alternativos como se desarrolla a continuación.

2.1. Escenarios futuros

El potencial de ahorro de energía —la diferencia entre los dos escenarios— depende entonces de la evolución futura de éstos, y permite conocer con aproximación la magnitud de los ahorros así como el beneficio económico o rentabilidad de la aplicación de las medidas. Se describirán entonces las presunciones básicas sobre las cuales se construyen cada uno de los escenarios.

Eficiencia congelada (EC)

La suposición fundamental de este escenario es que el crecimiento de la demanda energética sólo responde al *crecimiento de la demanda por servicios energéticos*. Este incremento puede depender de distintos factores tales como el aumento poblacional, cambios en la demanda del servicio, etc. ***La intensidad energética de los usos finales se mantiene constante en este escenario.***

Futuro eficiente (FE)

La evolución de la *demanda por servicios energéticos* en este escenario es la misma que en el escenario de eficiencia congelada, pero a diferencia del anterior incorpora las alternativas tecnológicas de mayor eficiencia siempre y cuando éstas sean rentables. O sea en este escenario la intensidad energética es menor que en el de eficiencia congelada.

El status quo y la evolución de la demanda con programas del UEGD

En realidad, la evolución futura de la demanda de energía eléctrica estará entre el límite superior de la eficiencia congelada y el límite inferior definido por el futuro eficiente. En ausencia de programas para fomentar el uso eficiente y gestión de la demanda, este tercer escenario que se puede llamar el “*status quo*”⁶, se aproxima más al de “eficiencia congelada”. Con programas para promover el UEGD, el consumo de energía bajaría según la eficacia o no de éstos. Cuanto mejor sean los programas, más cerca se estará del escenario de “futuro eficiente”. Esta cuarta

⁵ Además de otros beneficios ambientales descriptos en el capítulo ... Impacto Ambiental de los Sistemas de Iluminación.

⁶ En inglés se lo conoce como el escenario “Business-as-usual”.

alternativa para la evolución de la demanda se conoce como el escenario *en base a un programa de UEGD*⁷.

En la Figura 2 se esquematiza la evolución de los cuatro escenarios planteados.

En este manual se trabajará sólo con los dos primeros escenarios—eficiencia congelada y futuro eficiente—, los dos límites para la evolución de la demanda. El desarrollo de los escenarios se basa en el análisis de los datos existentes y en una serie de suposiciones que se detallarán en ejemplos venideros.

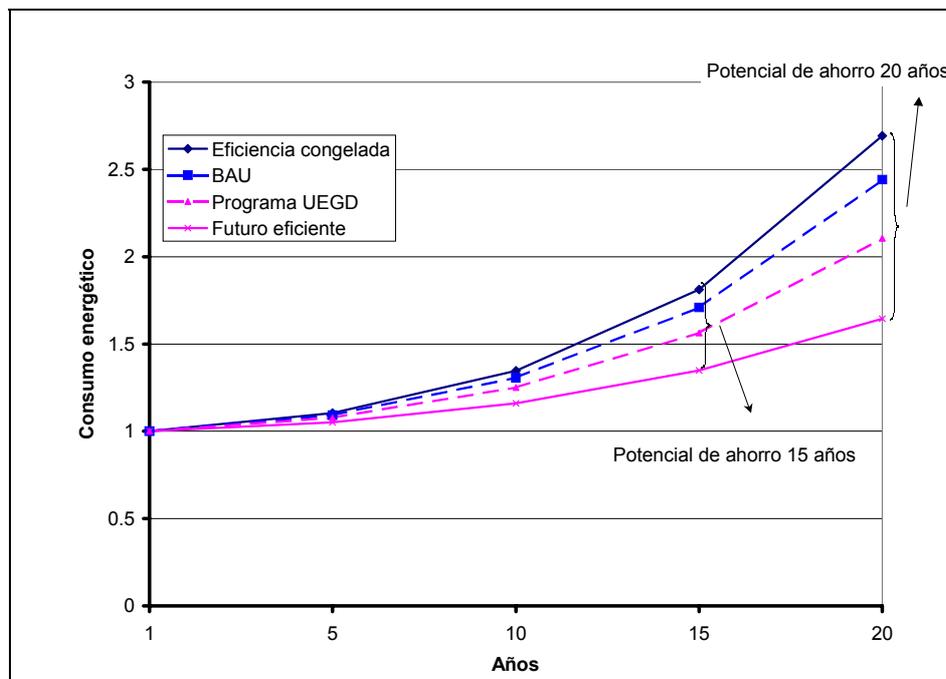


Figura 2. Proyección de la evolución del consumo energético según distintos escenarios.

3. Potencial de ahorro de energía en iluminación en el sector residencial

En el sector residencial, la principal medida de iluminación eficiente es la sustitución de lámparas incandescentes de uso intensivo por fluorescentes compactas.

La iluminación es uno de los usos finales con mayor potencial de ahorro dentro del sector residencial. Además, por sus características propias, resulta una alternativa ideal respecto a otros usos finales, destacándose las siguientes ventajas:

- 1) El potencial de ahorro demuestra ser muy elevado.
- 2) El uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación es una medida muy rentable.
- 3) Pocos puntos luminosos de la residencia concentran la mayor parte del consumo, lo que permite un gran ahorro cambiando pocas lámparas.
- 4) Debido a la corta vida útil de las lámparas a reemplazar (incandescentes) y a que la tecnología para efectuar el cambio se halla disponible en el mercado, el ahorro podrá obtenerse en plazos relativamente breves.

⁷ Puede haber distintos escenarios correspondientes a diferentes programas.

- 5) Debido a su alta coincidencia con la demanda pico vespertina de electricidad, una reducción en el consumo energético se refleja también en una disminución de la demanda de punta, permitiendo importantes ahorros en las inversiones necesarias para suministrar dichos picos.

El consumo de energía para la iluminación residencial en una determinada región⁸ puede expresarse como el producto entre la cantidad de residencias en la región (T), la demanda del servicio de iluminación (S_{ilum}) (en adelante demanda de iluminación), y la intensidad energética en iluminación (I_{ilum}) que representa la eficiencia con que se está convirtiendo la energía eléctrica en luz. La fórmula (1) resume este concepto:

$$E_{ilum} = T \times S_{ilum} \times I_{ilum} \quad (1)$$

El potencial de ahorro en iluminación para el año horizonte (N) quedará establecido por la diferencia entre el consumo para el escenario con *eficiencia congelada*, EC , y el correspondiente al escenario *futuro eficiente*, FE .

$${}^N PA_{ilum} = {}^N E_{EC(ilum)} - {}^N E_{FE(ilum)} \quad (2)$$

${}^N PA_{ilum}$: potencial de ahorro energético en iluminación, para el año horizonte, N ,
 ${}^N E_{EC(ilum)}$: consumo de energía en iluminación para el año horizonte, N , escenario eficiencia congelada,
 ${}^N E_{FE(ilum)}$: consumo de energía en iluminación para el año horizonte, N , escenario futuro eficiente.

A continuación se desarrollan cada uno de los factores empleados en la expresión (1) y cómo puede estimarse la variación de cada uno de ellos entre el año base (0) y el año horizonte⁹ (N).

3.1. Cantidad de residencias (T)

La cantidad de residencias quedará determinada por la extensión de la zona analizada. Su modificación, entre el año base y el horizonte, dependerá de a) la variación poblacional en el lapso considerado y, si se quiere estimar con mayor detalle, por el cambio en la relación entre la población y la cantidad de habitantes por vivienda —que obedece a pautas económico-culturales.

⁸ El estudio del potencial de ahorro puede estar restringido al análisis puntual de las posibilidades de ahorro dentro de una instalación de un edificio —existente o nueva— o puede contemplar la realización de un programa que pretenda promocionar, en toda una región, la utilización de tecnologías de iluminación más eficientes.

⁹ Recordar que el potencial de ahorro deberá referirse siempre a un determinado año, N , en el futuro y respecto a un año base especificado.

En el primer caso, el más simple, la variación del número de residencias tendrá la misma tasa de crecimiento de la población, t_p , como lo muestra la fórmula (3):

$${}^N T = {}^0 T \times (1 + t_p)^{N-0} \quad (3)$$

${}^N T$: cantidad de residencias en el año N .

${}^0 T$: cantidad de residencias en el año 0 .

En un análisis más fino en donde se consideren tanto la variación de la población como la cantidad de habitantes promedio por vivienda, el cálculo se hará utilizando la siguiente expresión (4):

$${}^N T = \frac{{}^N P}{{}^N H} = \frac{{}^0 P}{{}^0 H} \left[\frac{(1 + t_p)}{(1 + t_H)} \right]^{N-0} \quad (4)$$

donde ${}^N T$ es la cantidad de residencias en el año N (años en el futuro); ${}^N P$ es la cantidad de habitantes en el año horizonte; ${}^N H$ es el número de habitantes por vivienda en el año horizonte, ${}^0 P$ es la cantidad de habitantes en el año base; ${}^0 H$ es el número de habitantes por vivienda en el año base, t_p la tasa anual de crecimiento (o decrecimiento) de la población; y t_H la tasa anual de crecimiento (o decrecimiento) de la cantidad de habitantes por vivienda.

En la práctica, de acuerdo a la profundidad del análisis que quiera realizarse, podrán utilizarse las expresiones (3) ó (4), o podrá estudiarse directamente la evolución de la cantidad de residencias de este sector evaluando su comportamiento histórico y/o futuros planes urbanísticos.

Esta variable no depende del escenario que se esté considerando y, por lo tanto, su valor será el mismo tanto para el caso de eficiencia congelada, como para el de futuro eficiente.

3.2. Demanda del servicio de iluminación (S_{ILUM})

Es posible expresar la demanda de iluminación (S_{ilum}), en términos medios como la cantidad de luz requerida en promedio por residencia y por año, por ejemplo expresada en miles de lumen-horas por residencia por año [klm-h/residencia/año].

La demanda del servicio de iluminación, es un valor que da idea de la cantidad de luz empleada en los hogares. En principio, se puede decir que esta cantidad de luz varía por diversos factores, cambio en el tamaño promedio de las residencias —superficie a iluminar—, cantidad de habitantes, incorporación gradual de lámparas más potentes o de nuevos artefactos en sitios en donde antes no existía una fuente luminosa, etc. En términos generales, y de acuerdo a estudios realizados en numerosos países, la demanda de iluminación se halla en crecimiento. De no contarse con datos específicos puede aproximarse en primera instancia a valores entre un 0 y 2% anual. La expresión (5) muestra la dependencia de la demanda del servicio de iluminación con el tiempo:

$${}^N S_{ilum} = {}^0 S_{ilum} \times (1 + t_s)^{N-0} \quad (5)$$

${}^N S_{ilum}$: demanda de iluminación para el año horizonte N .

${}^0 S_{ilum}$: demanda de iluminación para el año base, 0 .

t_s : tasa de crecimiento anual del servicio de iluminación.

En principio, recordando que en ambos escenarios se trabaja con la premisa de igualdad de servicio entregado, no habrá diferencia entre el S_{ilum} para el escenario EC respecto del FE (al igual que en el caso de la cantidad de residencias, T). Sólo habrá variación entre el año base y el horizonte por las razones ya expuestas.

3.3. Intensidad energética de la iluminación (I_{ILUM})

La intensidad energética en iluminación, I_{ilum} , dependerá de la tecnología empleada y sus valores serán diferentes en cada uno de los escenarios, teniendo un valor promedio I_{EC} en el escenario de eficiencia congelada, e I_{FE} en el futuro eficiente.

La intensidad energética en iluminación se expresa como la cantidad de energía eléctrica consumida en relación al flujo luminoso entregado. La unidad correspondiente es [kWh / klm-h]. Los valores correspondientes a I_{EC} se pueden determinar aplicando alguna de las metodologías explicitadas en el capítulo de auditorías o en su defecto utilizando valores obtenidos en otros estudios. Para el caso del futuro eficiente, se determinará un posible valor de I_{FE} en función del objetivo del programa bajo estudio.

3.4. Ejemplo de cálculo del potencial de ahorro de la iluminación en el sector residencial

Se desarrollará a continuación un modelo de cálculo del potencial de ahorro en iluminación en el sector residencial de Capital Federal y Gran Buenos Aires utilizando algunos de los datos que fueron obtenidos a manera de ejemplo en secciones anteriores.

El año base del estudio es 1996 y la proyección del potencial de ahorro se realiza hasta el año 2010 (año horizonte). Como datos de partida se tienen para el año base el consumo de energía eléctrica: 8,43 TWh; la cantidad de hogares abastecidos: 4,2 millones; y la población de 11,1 millones de personas. Para sintetizar los datos, se resumen en la Tabla 3 los datos de partida.

Tabla 3. Datos de partida para el ejemplo de cálculo del potencial de ahorro.	
Año base (0)	1996
Año horizonte (N)	2010
Consumo energía (base) [TWh]	8,43
Cantidad de hogares (base) (0T)	$4,2 \times 10^6$
Población (base)	$11,1 \times 10^6$
Demanda del servicio de iluminación en el año base (S_{ilum}) ó (0S) [klm-h/resid/día]	51 ^(*)
Intensidad energética en iluminación (I_{ilum}) ó (I_{EC}) [kWh / klm-h]	0,056 ^(*)

(*) Valores obtenidos a partir de Tabla 4, 1.1.2 *Ejemplo de auditoría* del Capítulo ...

Cálculo de los escenarios

Para este ejemplo, como supuestos comunes a ambos escenarios se han tomado:

- a) el crecimiento del número de residencias (T) estimado para el período 1996-2010 en una tasa anual (t_p) del 0,96 % (equivalente a un incremento acumulado del 10 % en 10 años) habiéndose considerado nula la variación en la cantidad de habitantes por hogar durante el lapso analizado. Por lo tanto aplicando la expresión (3):

$${}^N T = {}^0 T \times (1 + t_p)^{N-0} = 4,2 \times 10^6 \times (1 + 0,0096)^{14} = 4,8 \times 10^6 \text{ residencias}$$

- b) una tasa de incremento de la demanda de luz por vivienda (S_{ilum}) del 2% anual, por lo que aplicando la expresión (5):

$${}^N S_{ilum} = {}^0 S_{ilum} \times (1 + t_s)^{N-0} = 51 \text{ [kWh/residencia \cdot día]} \times (1 + 0,02)^{14} = 67,29 \text{ [kWh/residencia \cdot día]}$$

A partir de estas suposiciones la diferencia entre ambos escenarios quedará establecida sólo por el valor que tendrá la intensidad energética de la iluminación en cada caso que depende directamente de la eficiencia de la tecnología empleada.

La demanda final de energía para iluminación con *eficiencia congelada* en el año horizonte (2010) será de:

$$\begin{aligned} {}^{2010} E_{EC(ilum)} &= {}^{2010} T \times {}^{2010} S_{ilum} \times I_{EC} = \\ &= 4,8 \times 10^6 \text{ [residencias]} \times 67,29 \text{ [kWh/residencia \cdot día]} \times 0,056 \text{ [kWh/kWh]} \times 365 \text{ [días/año]} \\ &= 6,6 \text{ TWh} \end{aligned}$$

En el escenario de *futuro eficiente* el potencial técnico-económico de ahorro —hipótesis de máxima— se obtiene a partir del reemplazo de las lámparas comunes (incandescentes) por lámparas fluorescentes compactas (LFCs), de flujo luminoso equivalente, en todos aquellos casos en donde esto se justifique económicamente. Según el relevamiento hecho en el año 1997 descrito en *Ejemplo de auditoría* del Capítulo 14, el potencial de ahorro contenido en esta acción alcanzaría el 54% del total del consumo para iluminación, que se establecerá entonces como límite máximo de ahorro.

Simplificando el cálculo:

$${}^{2010} E_{FE(ilum)} = (1 - 0,54) \times {}^{2010} E_{EC(ilum)} = 0,46 \times 6,6 \text{ [TWh]} = 3,04 \text{ TWh}$$

y aplicando (2):

$${}^N PA_{ilum} = {}^N E_{EC(ilum)} - {}^N E_{FE(ilum)} = 6,6 \text{ TWh} - 3,04 \text{ TWh} = 3,56 \text{ TWh}$$

$${}^{2010} PA_{ilum} = 3,56 \text{ TWh}$$

Esto equivale a una intensidad energética promedio en iluminación de:

$$I_{FE} = 0,056 \text{ [kWh / klm-h]} \times (1 - 0,54) = 0,026 \text{ kWh/klm-h}$$

En la práctica no se proponen programas de reemplazo de todas las lámparas posibles dentro de los términos de rentabilidad. Una programa más realista puede ser un plan de promoción que tenga como objetivo sólo la sustitución en los dos puntos de mayor consumo de electricidad para iluminación que, según lo visto en *Ejemplo de auditoría* del Capítulo 14, representaban el 70% del total del potencial de ahorro posible. A este escenario se lo identificará como *FE 2 puntos* y la expresión a la que se arribará será la siguiente:

$${}^{2010}E_{FE\ 2\ puntos\ (ilum)} = (1 - 0,7 \times 0,54) \times {}^{2010}E_{EC(ilum)} = 0,622 \times 6,59 \text{ [TWh]} = 4,1 \text{ TWh}$$

y aplicando (2):

$${}^N PA_{ilum} = {}^N E_{EC(ilum)} - {}^N E_{FE(ilum)} = 6,6 \text{ TWh} - 4,1 \text{ TWh} = 2,5 \text{ TWh}$$

$${}^{2010} PA_{ilum\ 2\ puntos} = 2,5 \text{ TWh}$$

Esta situación equivale a una eficacia luminosa promedio de:

$$I_{FE\ 2\ puntos} = 0,056 \text{ [kWh / klm-h]} \times (1 - 0,7 \times 0,54) = 0,035 \text{ kWh/klm-h}$$

Se supone que dadas las características del uso final, el reemplazo total de las lámparas es posible en un lapso de 5 años por lo que, durante estos primeros años, habrá una marcada disminución del consumo en este uso final, que luego proseguirá su crecimiento según lo determinan las tasas de población y de servicio. Estos resultados se grafican en la Figura 3.

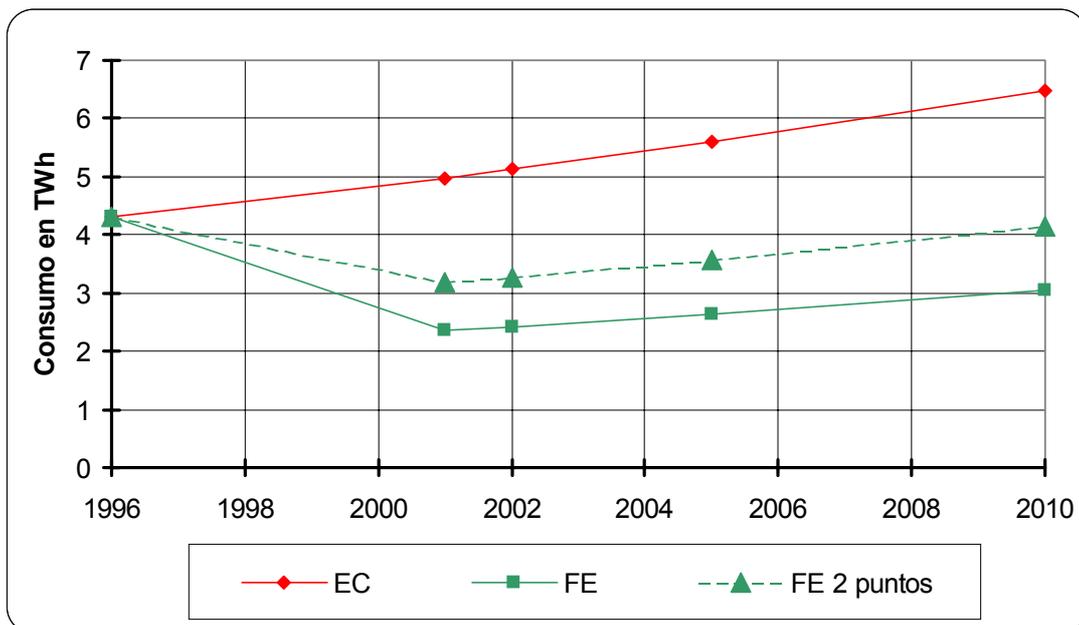


Figura 3. Evolución del consumo de energía eléctrica para iluminación según los escenarios de eficiencia congelada (EC), futuro eficiente con reemplazo de todas las lámparas (FE), y futuro eficiente con reemplazo en sólo 2 puntos (FE 2 puntos), en el período 1996-2010.

De las estimaciones realizadas podemos observar que el consumo destinado a iluminación en la región especificada en el año base es de 4,3 TWh. Dicho consumo evoluciona según el escenario de eficiencia congelada a 6,6 TWh para el año 2010 mientras que, considerando el escenario de futuro eficiente, el consumo para este uso final alcanza los 3,04 TWh —valor aún menor que el del año base— y 4,1 TWh en el caso de *FE 2 puntos*. El potencial de ahorro en el año horizonte será entonces de 3,56 TWh (54 %) y 2,5 TWh (38%) respectivamente. Es de notar el apreciable ahorro que puede obtenerse a partir de el reemplazo de tan sólo 2 puntos en las residencias.

4. Potencial de ahorro en la demanda de potencia

Como se ha mencionado, la reducción del consumo energético en iluminación residencial, tiene una fuerte relación con la disminución de la potencia máxima del sistema eléctrico ya que es un uso final con un alto factor de coincidencia con la punta (FCP)¹⁰ de la demanda. Este factor definido en 1.1.4 *Ejemplo de mediciones* del Capítulo ... para la iluminación contempla la ‘simultaneidad’ en el encendido que será siempre menor o igual al 100%.

En Argentina, las tarifas residenciales no incluyen un componente para la demanda de potencia. Sin embargo su reducción disminuye las inversiones necesarias para construir líneas de transmisión y distribución y para la generación en punta. La postergación de este tipo de emprendimientos también implica un beneficio ambiental.

El cálculo del potencial de ahorro en la demanda de potencia puede expresarse como lo indica (6):

$$\Delta P = (P_I - P_E) \cdot FCP \tag{6}$$

$$FCP = \max_{[18,23]} \frac{(\# art_{ON})}{\# total art.}$$

- ΔP : potencial de ahorro en la demanda de potencia,
- P_I : potencia instalada de los artefactos ineficientes,
- P_E : potencia instalada de los artefactos eficientes,
- FCP : Factor de Coincidencia con la Punta,
- $\# art_{ON}$: suma de potencias de lámparas encendidas simultáneamente;
- $\# total art.$: potencia total de lámparas instaladas
- [18,23): intervalo horario que define las horas de punta.

¹⁰ Su determinación no resulta sencilla pues requiere conocer el patrón de consumo diario (la curva de carga) de las lámparas a reemplazar. La estimación del FCP en iluminación surge de estudios estadísticos, auditorías y/o mediciones realizadas en la zona en cuestión.

4.1. Ejemplo de cálculo de la disminución de la demanda de punta

Según lo visto en la expresión (6) los datos necesarios para el cálculo de la reducción de la demanda son pocos, aunque difíciles de obtener. En primer término, la potencia instalada en lámparas ineficientes y en eficientes, será un valor que dependerá de la actual conformación del parque y de las características del plan de eficiencia, y en segundo término el *FCP*, se deberá obtener según lo desarrollado en *Ejemplo de mediciones del Capítulo 14. Auditorías Energéticas de la Iluminación Residencial*.

Si se quiere, continuando con el 3.4. *Ejemplo de cálculo del potencial de ahorro de la iluminación en el sector residencial* de este capítulo, calcular la reducción de la demanda de potencia entre los escenarios de *EC* y de *FE 2 puntos*, se deberán emplear los datos que surgen de ese estudio: potencia instalada promedio en las bocas más luminosas, $P_I = 84,5$ [W/residencia] en el escenario *EC*; idem pero en el escenario *FE 2 puntos*, $P_E = 16,9$ [W / residencia] y un *FCP* de alrededor del 65%.

$$P_I = 2010T \times 84,5 \text{ W} = 4,8 \cdot 10^6 \text{ [residencias]} \times 84,5 \text{ [W/residencia]} = 405,6 \text{ MW}$$

$$P_E = 2010T \times 16,9 \text{ W} = 4,8 \cdot 10^6 \text{ [residencias]} \times 16,9 \text{ [W/residencia]} = 81,1 \text{ MW}$$

$$FCP = 0,65$$

Por lo tanto, aplicando (6):

$$\Delta P = (P_I - P_E) \times FCP = (405,6 \text{ MW} - 81,1 \text{ MW}) \times 0,65 = 211 \text{ MW}$$

$$\Delta P = 211 \text{ MW}$$

5. Potencial de reducción de las emisiones de dióxido de carbono

La disminución en las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) es uno de los objetivos ambientales más importantes y más comúnmente buscados en todo el mundo debido a la relación entre éstas y el problema del Cambio Climático (ver *Capítulo 17. Impacto Ambiental de los Sistemas de Iluminación*).

La determinación de la reducción de emisiones requiere de los siguientes elementos:

1. Línea de base o referencia sobre la cual los ahorros y los costos son medidos.
2. Contabilización del CO_2 y reducción del mismo con el proyecto respecto de la referencia.

La línea base o referencia para determinar las emisiones de CO_2 se establece a partir del consumo energético en iluminación hallado para el escenario de eficiencia congelada en el año horizonte, ${}^N E_{EC}$. El consumo energético del proyecto queda determinado por el consumo en el escenario eficiente, ${}^N E_{FE}$. Finalmente, para el análisis de las emisiones las aproximaciones más simples son para el año N en cuestión: 1) utilizar la tasa media de emisión de todo el sistema ó 2) usar la tasa de emisión de la planta de generación marginal, multiplicada por la energía ahorrada, para cada hora del año¹¹. Las reducciones en las emisiones de CO_2 se establecen a partir de la diferencia entre las emisiones en el caso de referencia y las emisiones que surgen luego de la

¹¹ En programas de eficiencia energética de envergadura suficiente como para modificar el futuro plan de expansión del sistema habrá que realizar simulaciones de despacho de carga cuyo análisis excede el objetivo de este libro.

implantación del proyecto. Los ahorros netos de emisión, R_{net} , deben ser estipulados en la base del contenido de carbono del combustible reemplazado o evitado.

$$R_{net} = E_r C_r - E_p C_p \quad (7)$$

donde:

E_{EC} : Energía consumida en el caso de referencia o base (eficiencia congelada) [TWh]

C_r : Factor de emisión de CO₂ en el caso de referencia o base (eficiencia congelada) [Tg CO₂/ TWh]

E_{FE} : Energía consumida en el caso proyectado (futuro eficiente) [TWh]

C_p : Factor de emisión de CO₂ en el caso proyectado (futuro eficiente) [Tg CO₂/ TWh]

En el caso de los factores de emisión de CO₂ (C_r y C_p) dependerán de la composición del parque generador que en general es una variable que no dependerá del proyecto alternativo. En la práctica, estos factores pueden variar con el tiempo, incluso disminuir, debido por ejemplo, a un plan de sustitución de combustibles por una variante más limpia (p.e. fuel oil por gas natural).

5.1. Ejemplo de cálculo de la reducción de las emisiones de co₂

Continuando con el ejemplo comenzado en 3.4. *Ejemplo de cálculo del potencial de ahorro de la iluminación en el sector residencial* de este capítulo, se hará una estimación de la reducción de las emisiones de CO₂ entre los escenarios de *EC* y *FE 2 puntos*.

Aplicando la expresión (7) tendremos que la energía consumida en el caso de referencia, E_r , corresponderá a la del escenario de eficiencia congelada para el año 2010, o sea:

$$E_{EC} = {}^{2010}E_{EC} = 6,6 \text{ TWh};$$

la energía en el caso proyectado, E_p , será la obtenida para el escenario de futuro eficiente para el reemplazo de 2 puntos:

$$E_{FE} = {}^{2010}E_{FE \text{ 2 puntos (ilum)}} = 4,1 \text{ TWh}$$

El factor de emisión estimado para un escenario de evolución del consumo medio para el año 2010, establece para el *promedio* del parque de generación un valor C de 0,368 Tg CO₂/ TWh [Secretaría de Energía, 1998]. Notar que en este caso las intensidades de carbono del caso de referencia y el proyectado son iguales pues la comparación se realiza dentro del mismo año.

Reemplazando en (7):

$$\begin{aligned} R_{net} &= E_r C_r - E_p C_p = (6,6 \text{ TWh} - 4,1 \text{ TWh}) \times 0,368 \text{ Tg CO}_2 / \text{TWh} = \\ &= 0,916 \text{ Tg CO}_2 \end{aligned}$$

$$\mathbf{R_{net} = 0,916 \text{ Tg CO}_2}$$

Bibliografía

Assaf, L., G.S. Dutt y C.G. Tanides, 2002. “Lighting efficiency and environmental issues in Argentina. Current status and perspectives”, presentado en *Right Light 5 (5th European Conference on Energy-Efficient Lighting)*, Niza, Francia, mayo.

Secretaría de Energía, 1998, *Informe de Prospectiva*, Secretaría de Energía de la República Argentina, Capítulo 12.