

Capítulo 1

Introducción al Uso Eficiente de la Energía en la Iluminación

Carlos Tanides

1. Los recursos energéticos en nuestra sociedad	2
2. Uso eficiente de la energía	7
2.1. Usos finales de la energía	7
2.2 Estrategia energética en base a los usos finales.....	8
2.3 Otras posibilidades de ahorro	10
2.4 Potencial de ahorro	12
3. La iluminación eficiente	13
3.1 La iluminación y la demanda de energía	13
3.2 Iluminación eficiente	14
3.3. Potencial de ahorro	15
3.4. Programas de iluminación eficiente en el mundo.....	15
Referencias	16
Anexo A. Definiciones:	17

1. Los recursos energéticos en nuestra sociedad

Prácticamente todas las actividades que desarrolla el ser humano requieren de la utilización de los recursos energéticos en mayor o menor grado. Comenzando con los alimentos que son la mínima cantidad de energía necesaria para vivir se puede continuar la lista con la energía utilizada para obtener materias primas, para desarrollar los procesos productivos, para impulsar el transporte, para la actividad comercial, etc. Pero a la vez, desde otra perspectiva, se aprecia que la energía también se relaciona de manera vital con otras dimensiones del desarrollo humano, tales como los niveles de pobreza, la seguridad alimentaria, la salud, la creación de empleo, el desarrollo rural y urbano y el medio ambiente —con sus vinculaciones con la salud humana y la de los ecosistemas— por citar tan sólo algunos ejemplos.

El consumo energético se ha desenvuelto históricamente junto con el hombre moderno desde hace aproximadamente 90.000 años cuando éste aparece tal como se lo conoce en la actualidad (*Homo sapiens sapiens*). Al comienzo el hombre se introdujo en la cadena trófica como un eslabón más, obteniendo los recursos vitales alimentándose de vegetales y/o animales, y utilizando la energía acumulada en la madera al quemarla. Posteriormente, su horizonte energético se expandió enormemente cuando comenzó a aprovechar los combustibles fósiles: carbón comercialmente desde el siglo XVII, petróleo desde 1850 y gas natural aproximadamente por la misma época.

La población humana ha crecido exponencialmente hasta alcanzar en la década del '90 los 6.000 millones de habitantes. Pero la evolución del consumo energético no sólo ha acompañado al incremento de habitantes sino que a éste debemos agregarle —sinérgicamente— el proceso de industrialización y la transformación cultural que ha significado la conversión hacia una “sociedad de consumo”. Citando al sabio griego Tanakis “*Somos más, podemos más y queremos más*”. Actualmente cada uno de los 6.000 millones de habitantes consumen en promedio 8 veces más energía que lo que hacía el hombre hace 90.000 años.

La Fig. 1 esquematiza la progresión del consumo de energía desde la Revolución Industrial hasta nuestros días, sus fuentes principales y su relación con los desarrollos tecnológicos. Como medida de este vertiginoso crecimiento hacemos notar que cinco décadas atrás (1950) el consumo mundial de petróleo era 7 veces menor que el actual.

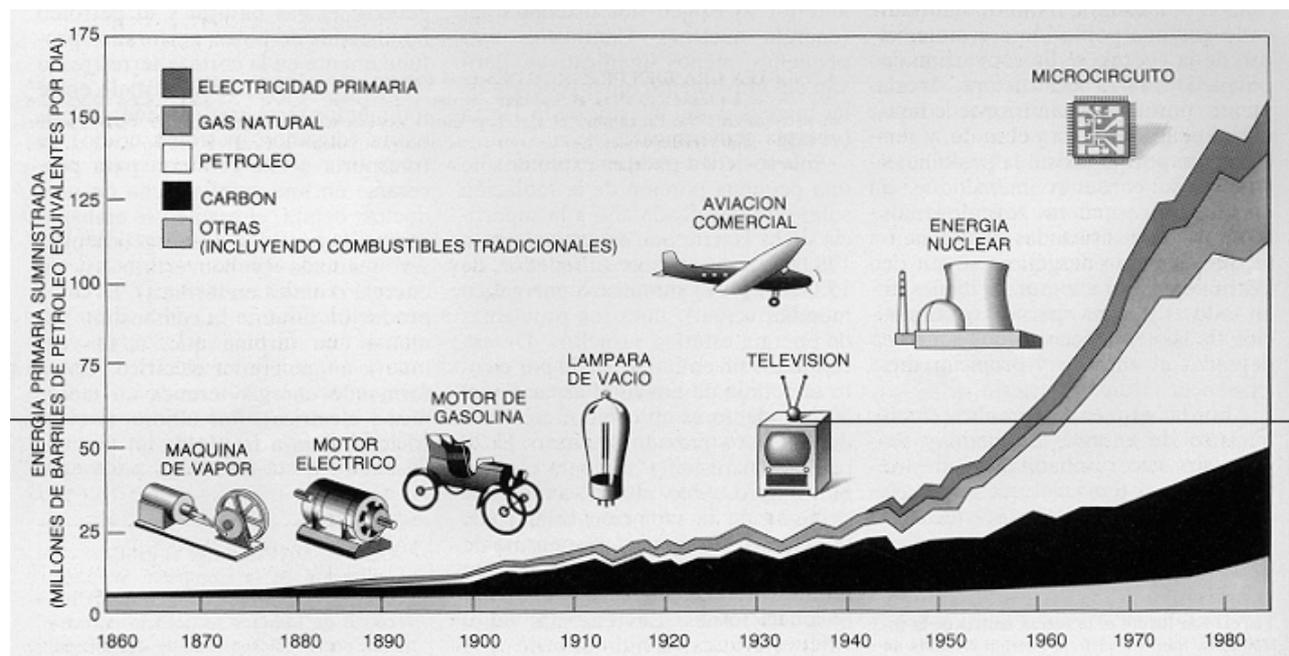


Figura 1. Utilización mundial de Energía Primaria durante el último siglo. (Fuente: Davis, 1990)

El explosivo incremento en el consumo energético conduce a un conflicto con el concepto de Desarrollo Sustentable¹ conocido como *trilema energético* caracterizado por tres elementos fundamentales: a) las **limitaciones de los recursos energéticos**, b) los **factores económicos** y c) los **efectos ambientales** asociados a la transformación y consumo de energía.

A continuación se profundizará en cada uno de los puntos.

Energía y Recursos Energéticos

Hasta hace pocos siglos—antes del inicio del uso del carbón mineral—la humanidad dependía casi enteramente de las energías renovables. Para obtener calor y cocinar se utilizaba la combustión de leña o carbón vegetal (es decir la biomasa) y para fuerza motriz y transporte se utilizaban animales, la energía del agua (hidráulica) y la energía del viento (eólica).

El uso de carbón mineral—utilizado en las calderas de las máquinas de vapor—inició el cambio hacia las fuentes fósiles. En el siglo pasado se agregaron el petróleo y el gas natural. El aprovechamiento de la fisión nuclear para la generación de electricidad comenzó en la década del '50.

En nuestros días, las fuentes de *energía primaria* a partir de las cuales se impulsa la humanidad son casi en un 86% combustibles fósiles, **no renovables**. Por definición, una fuente energética no renovable es aquella cuyo stock es fijo o tiene una velocidad de renovación sumamente lenta, y por lo tanto se encontrará disponible sólo hasta que se agoten sus existencias.

Los combustibles (principalmente los fósiles) tienen aplicación en casi todas las actividades: generación de electricidad, procesos industriales, transporte (terrestre, acuático o aéreo), cocción, calefacción, agricultura, ganadería, e infinidad de destinos más.

Del resto de la energía empleada, un 7% aproximadamente proviene de las represas hidroeléctricas y un 6% de las centrales nucleares.

En cuanto a la distribución de estos recursos, sabemos que 2/3 de todos ellos son consumidos por tan sólo el 25% de la población humana que corresponde a los países desarrollados y que alrededor de 2.000 millones de personas en todo el planeta no tienen acceso a la energía comercial.

El primer signo de que nuestra sociedad moderna tenía una dependencia precaria sobre el petróleo, y una distribución geográfica de la relación recursos/consumo extremadamente desigual, fue la Crisis Energética de 1973, en donde la OPEP² (formada dos años antes) aumentó el precio del petróleo y bloqueó la exportación a ciertos países, causando recesión económica en aquellos importadores. Esa crisis de petróleo nos sacudió e hizo recordar que las fuentes fósiles son agotables y que el crecimiento económico asociado con la revolución tecnológica de este siglo yacía sobre una base de petróleo barato. En 1979, una segunda crisis elevó nuevamente los precios del crudo en un factor de cuatro.

Cada combustible o forma de energía tiene, debido a sus características, usos preferenciales: el **petróleo** se destina principalmente al transporte; el **carbón** (muy poco utilizado en la Argentina) a la generación de electricidad y la industria; el **gas natural** al sector industrial, residencial,

¹ Se recurrirá al concepto de Desarrollo Sustentable dado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (de las Naciones Unidas) que lo definió como aquel “*desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias*”.

² Organización de los Países Exportadores de Petróleo; no todos los países exportadores pertenecen a esta entidad.

generación de electricidad y transporte y las energías **hidráulica** y **nuclear** casi exclusivamente a la generación eléctrica.

Las fuentes no renovables están limitadas por la magnitud de su recurso. Tenemos cierta cantidad, podemos utilizarla más o menos rápidamente, pero no podemos aumentar su existencia. Distintas razones de índole técnica y política hacen que sea dificultoso obtener cifras confiables respecto a las reservas de combustible. En 1990, se estimaba que las existencias de carbón, gas natural y petróleo podrían durar 1.500, 120 y 60 años respectivamente [Fulkerson et al., 1990]. Actualmente, se estima que hacia el final de la primera década del 2000 asistiremos a un lento pero inexorable descenso de los niveles de producción del petróleo, y a la extinción de la era del petróleo barato, a no ser que la demanda del mismo decaiga abruptamente. [Campbell y Laherrere, 1998]

Para la Argentina, las *reservas* comprobadas de combustibles fósiles son: 9 años para el petróleo, 18 años para el gas natural [IAE, 1998].

Podemos estimar que al ritmo actual de crecimiento del consumo (tasa promedio anual de 1,1% entre 1989 y 1998) en un siglo el mundo habrá agotado la mayor parte del recurso de los hidrocarburos (petróleo y gas natural); el carbón mineral podrá durar unos siglos más, pero a fines del siglo XXI habremos vuelto nuevamente a depender—en gran medida—de las fuentes renovables. Por supuesto, las formas de esas fuentes energéticas serán muy diferentes de las históricas, e incluso tendremos (posiblemente) la contribución de la fusión nuclear.

En la Fig. 2 podemos apreciar la distribución de las distintas *fuentes* de energía *primarias* que abastecen actualmente al mundo y en la Fig. 3 el consumo de *energía secundaria* para la Argentina por fuente y sector en el año 1997.

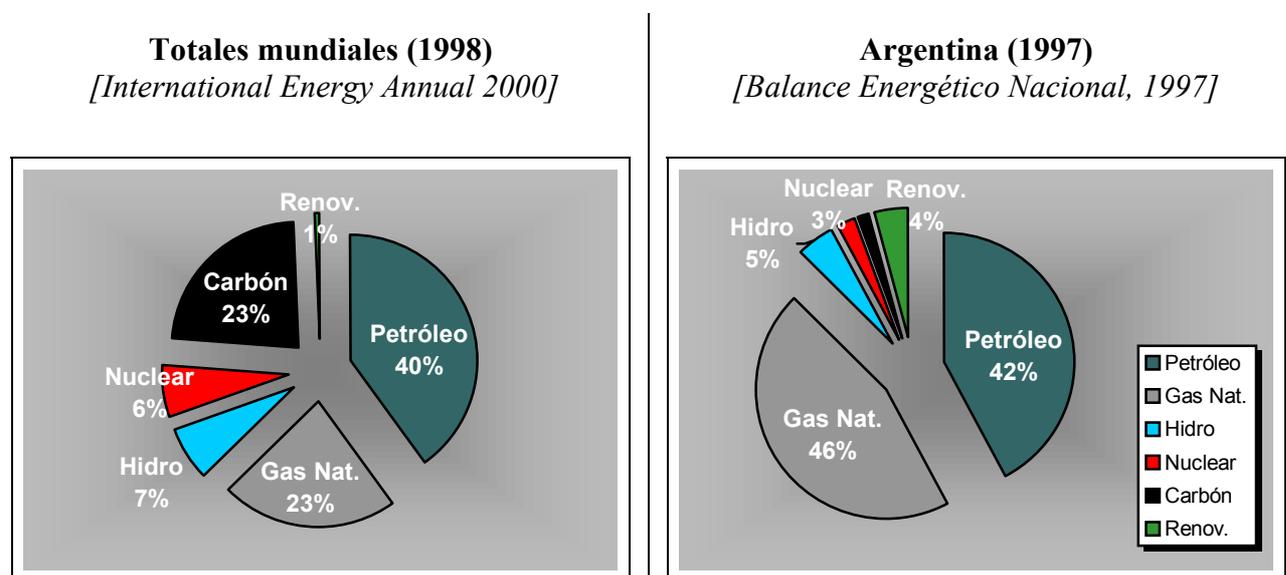


Figura 2. Consumo de Energía Primaria por fuente

Por otra parte, las **fuentes renovables** provienen directa o indirectamente del Sol³, que si bien por definición es un recurso prácticamente inagotable, tiene otro tipo de limitación que radica en que éste proporciona en forma directa cuando mucho **un kilowatt de potencia por metro**

³ La excepción la constituyen la energía geotérmica y la mareomotriz.

cuadrado de superficie terrestre. Esto implica que aunque el flujo total de potencia solar que llega hasta la tierra es inmenso—alrededor de 15.000 veces el consumo mundial total de 1990—su baja densidad energética limita o dificulta, su utilización.

A pesar de esto, las crisis energéticas descritas anteriormente motivaron —dadas sus ventajosas características— su resurgimiento desde la década del '70, representando hoy casi el 1% de la generación mundial encontrándose en rápido aumento —fundamentalmente la eólica. La tasa promedio de crecimiento anual mundial de las energías renovables se ha ubicado, en el período 1989-1998, en el 5,9%.

En la Figura 2 “renovables” incluye biomasa, geotérmica, solar y producción de electricidad a partir de la energía eólica. En el caso de Argentina la relativamente importante participación de esta fuente (4%) se debe fundamentalmente a la utilización de leña y bagazo de caña.

Energía y recursos económicos

Los combustibles fósiles permitieron a la humanidad aumentar la disponibilidad energética y con ello su actividad económica. Esta situación condujo a un concepto fuertemente arraigado hasta hace poco tiempo que sostenía que el uso de la energía y el crecimiento económico están estrechamente vinculados y que este último requería constantes incrementos en el uso de la primera.

El razonamiento (desarrollado abajo) seguido es el siguiente: para obtener Desarrollo se debe crecer económicamente, lo cual implica un mayor consumo energético [Goldemberg et al., 1988]

Desarrollo ⇒ crecimiento económico ⇒ mayor PBI ⇒ mayor consumo energía

En particular, para el **sector eléctrico**, la lógica se completa de la siguiente forma:

mayor consumo energía ⇒ mayor consumo electricidad ⇒ Generación centralizada⁴

Para los Países en Vías de Desarrollo (PVD) cuyo consumo energético era relativamente pequeño, este esquema implicaba un gran y rápido incremento en la disponibilidad energética para hacer factible el desarrollo económico. En efecto, el consumo energético ha ido creciendo rápidamente en la mayoría de los PVD, pero la proyección hacia el futuro de estas tendencias no es sostenible en el tiempo debido a las restricciones mencionadas en el trilema energético.

En 1983 el Banco Mundial estimó que las inversiones anuales necesarias para el sector energético en los PVDs alcanzaría un promedio de \$144 mil millones **anuales** durante el período 1982-1992 [World Bank, 1983 citado en Williams, 1988]. En 1987 en un informe realizado para el Congreso Mundial de Energía se estimaba una cifra aún mayor: \$ 254 mil millones **anuales** para el período 1980-2000.

El mismo estudio citado indicaba que el **sector eléctrico** totalizaría alrededor del 60 % del total de los requerimientos de capital, y que para todos los países en vías de desarrollo los gastos de capital en electricidad se incrementarían del 1,5 % del PBI que representaban en 1980, a un valor entre el 2,6 % al 5,5 % para el año 2000. Un estudio más reciente del Banco Mundial [1990] estimaba que las necesidades financieras del sector eléctrico durante los '90 serían de \$ 1 billón. Entre 1961 y 1995, 90 % de los préstamos energéticos del Banco Interamericano de Desarrollo

⁴ Se entiende por *Generación Centralizada* de la energía eléctrica a aquella que se realiza en centrales eléctricas de gran potencia —cientos de MW— y que luego se distribuye (a veces a través de grandes distancias) hacia los centros de consumo por líneas de transmisión y redes de distribución de la energía eléctrica.

fueron al sector eléctrico [Millan, J., 1996, com. pers.]. Otro elemento agravó la situación aún más: el incremento en los requerimientos de capital coincidió con la crisis financiera que enfrentaron los países en vías de desarrollo desde el comienzo de los '80.

Energía y medio ambiente

Toda actividad humana interactúa de alguna forma con la naturaleza. Los recursos naturales: alimentos, materias primas y recursos energéticos provienen de ella; y todos los resultados de esta actividad: efluentes gaseosos y líquidos, desechos urbanos e industriales, y objetos con su vida útil acabada, etc., van a parar a ella.

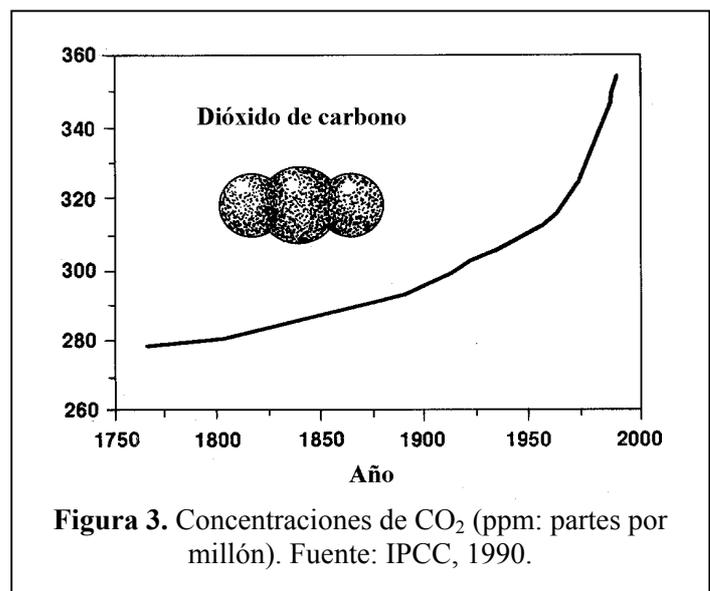
Por este motivo, inevitablemente, también todas las etapas asociadas al sector energético: extracción de recursos energéticos, transporte, transformación, distribución y utilización se encuentran integradas en mayor o menor grado, y en forma más o menos conflictiva, con el ambiente.

En particular siendo nuestro objeto de estudio la iluminación eléctrica se concentrará la atención en las diversas formas de impacto ambiental asociados a la generación de energía eléctrica que, sintéticamente, pueden resumirse en:

- contaminación del aire por centrales térmicas que utilizan combustibles fósiles —carbón mineral, petróleo, gas natural— y emiten gases y partículas a la atmósfera
- cambio de clima a partir de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), el principal gas del efecto invernadero
- alteración de ecosistemas (centrales hidroeléctricas)
- contaminación del agua y contaminación térmica (centrales térmicas que utilizan cuerpos de agua en su ciclo de refrigeración)
- contaminación por radioactividad (centrales térmicas nucleares), accidentes, generación de residuos de alta actividad
- etc.

El crecimiento en el uso de energía acentúa los daños y los riesgos ambientales asociados.

En la Figura 3 se muestra a modo de ejemplo la evolución en la concentración de CO₂ atmosférico responsable del potencial calentamiento de la Tierra (cambio climático).



2. Uso eficiente de la energía

Para entender apropiadamente el concepto de uso eficiente de la energía y en particular los beneficios que conlleva hacer iluminación eficiente, es conveniente en principio definir algunos términos a emplear que tendrán un significado muy específico a lo largo del libro.

2.1. Usos finales de la energía

La energía no representa un fin en sí mismo sino un medio para conseguir algo (un servicio) por lo que en realidad la demanda de energía enmascara otra demanda, la de los servicios que la energía nos puede proveer: comida caliente, ropa limpia, iluminación, transporte de personas y mercaderías, elevación de agua para irrigación, fuerza motriz en fábricas, calor de proceso, etc. A partir de esto se entiende por *servicio energético* (o uso final de la energía⁵) a aquella prestación, provista naturalmente o por un dispositivo, que utiliza energía para satisfacer una necesidad humana.

De este modo, la demanda de energía no tiene dinámica propia, sino que surge del requerimiento de los innumerables *servicios energéticos* —en cantidad y calidad— que la energía provee.

Un análisis completo para la provisión de servicios energéticos debería tener como propósito la búsqueda de opciones que requieran poca —o no requieran— provisión artificial de energía, a un bajo costo, y con mínimo —o nulo— impacto ambiental. Para ello se deberán identificar principalmente aquellos servicios que puedan ser provistos naturalmente con un adecuado diseño de instalaciones y/o procesos, en concordancia con estos requisitos. Los casos típicos en donde esto es factible son: iluminación y climatización ambiental. En otro tipo de procesos, típicamente los industriales, estas opciones son más escasas (aunque no inexistentes: tratamiento de efluentes⁶, destilación y secado por medio del sol, etc.), debido a sus características y a la intensidad energética requerida.

Entre los servicios energéticos más comunes encontramos el **transporte** (por automóviles, aviones, barcos, etc.), la **fuerza motriz** (por medio de motores de combustión interna, eléctricos, etc.), la **iluminación** (mediante lámparas incandescentes, de descarga, etc., o con luz natural), la **conservación de alimentos** (heladeras, freezers, etc.), la **cocción de alimentos**, la **calefacción** (estufas a gas o eléctricas), etc.

La Tabla 1 nos muestra una posible síntesis de los usos finales más importantes a partir de la energía eléctrica.

Tabla 1. Usos finales de la energía eléctrica.

Transporte
Movimiento de materiales
Procesos mecánicos
Calefacción
Enfriamiento
Iluminación
Manejo de la información
Transformación física/química

⁵ En general ambos términos se usan en forma indistinta. En este libro se utilizarán como sinónimos.

⁶ Digestión aeróbica o anaeróbica.

Los automóviles, las lámparas, las heladeras, las estufas, etc., son *artefactos de uso final*. El nexo entre el servicio provisto y la demanda de energía es la **tecnología** empleada en cada caso por el artefacto de uso final para transformarla en la forma o el servicio energético deseado. Para todos los artefactos de uso final—lámparas, ventiladores, motores eléctricos, cocinas, etc.—existen alternativas tecnológicas eficientes.

Lamentablemente, los análisis de consumo por usos finales son escasos, entre otras razones, por la dificultad técnica que implica su realización. Comúnmente los consumos energéticos, y en particular los de energía eléctrica, se hallan discriminados por región geográfica (límites políticos o comerciales) y/o por *sectores de consumo*, entendiendo por sector de consumo a la categorización del consumo total de energía por similitud física y/o funcional. Por ejemplo, todas las residencias particulares integran el sector residencial, todas las industrias el sector industrial, y así sucesivamente encontramos el sector transporte, agropecuario, comercial y público, etc.

2.2 Estrategia energética en base a los usos finales

En virtud de lo analizado en el trilema energético, la creciente demanda de servicios energéticos y consecuentemente de los recursos energéticos, representa uno de los desafíos más importantes que deberá enfrentar la humanidad en el futuro.

Algunos países —fundamentalmente los desarrollados— reaccionaron frente a las crisis energéticas de los '70 obteniendo ciertos éxitos recortando la demanda de petróleo mediante una combinación de medidas que involucraban la **substitución de combustibles** y el **uso eficiente de la energía**. Como resultado de esta intervención, los precios del crudo cayeron. Los años posteriores a 1973 demostraron un quiebre en la histórica correlación que existía entre el consumo energético y la actividad económica en la mayoría de los países industrializados: *el Producto Bruto creció mientras que el Consumo de Energía Total se mantuvo prácticamente constante en los niveles de 1973* (hasta mediados de la década del '80). La Fig. 4 muestra este fenómeno para el caso de los EE.UU., existiendo gráficas similares para el resto de los países desarrollados que implementaron políticas activas al respecto.

Pero aunque se alcanzó un cierto éxito en la reducción del consumo de energía total luego de la crisis del petróleo, el **consumo de energía eléctrica** continuó incrementándose y los costos de ampliación del sistema eléctrico constituyeron una pesada carga económica, particularmente en los países menos desarrollados. En la Fig. 4 se observa que el consumo de energía eléctrica siguió creciendo después de 1973 aunque a un ritmo mucho menor que el histórico.

Una estrategia energética dirigida a cumplir los objetivos del desarrollo sustentable se fundamenta en el análisis energético por usos finales de energía, el cual estudia de forma detallada cómo se utiliza la energía, e incorpora los conceptos de **uso eficiente de la energía** y de **gestión de la demanda** (UEGD). A causa de este énfasis sobre los usos, más que en las técnicas de planeamiento energético tradicionales orientadas principalmente a incrementar el suministro para satisfacer un crecimiento previsto de la demanda exógena (sin indagar en los detalles de ésta), se la conoce también como “Estrategia energética orientada a los usos finales”.

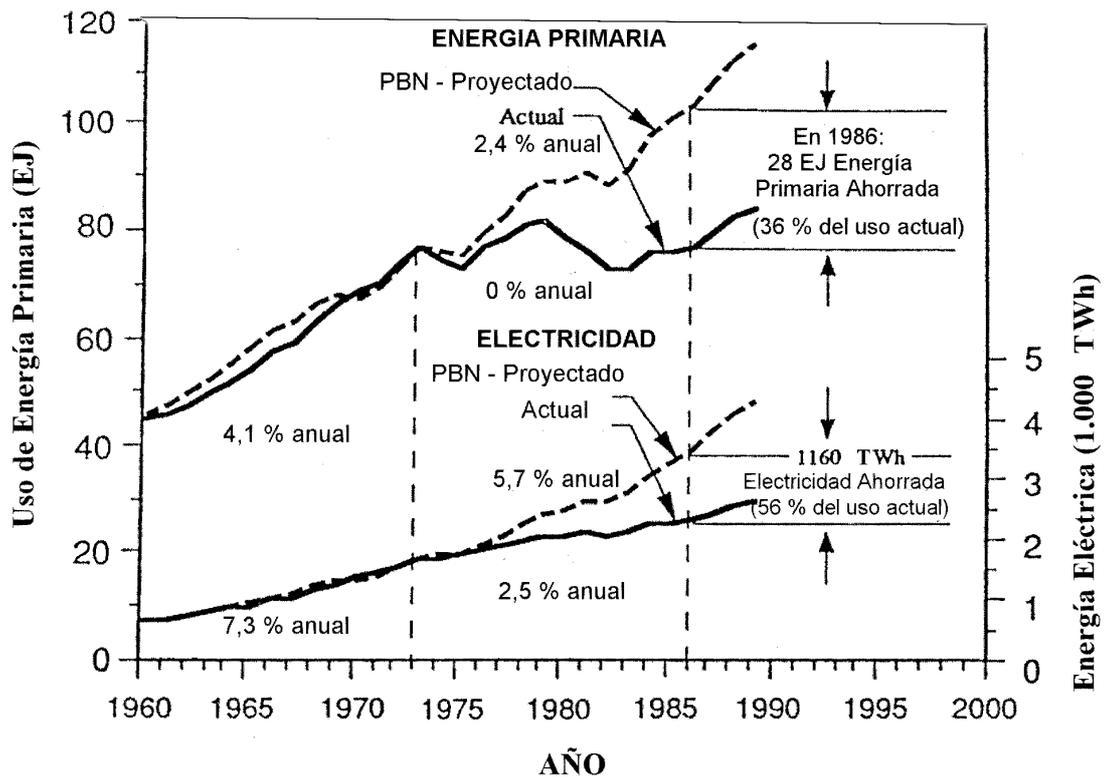


Figura 4. Evolución de los totales de Energía Primaria y Electricidad usada en los EE.UU. (Fuente: Datos de energía y PBN del *Monthly Energy Review*, Energy Information Agency, US Department of Energy.)

Se entiende por **uso eficiente de la energía** a la aplicación de: a) tecnologías, sistemas o modos de uso que reduzcan la cantidad de energía consumida para conseguir el servicio energético deseado y de b) las metodologías necesarias para la promoción de a).

La **gestión de la demanda** se refiere a la aplicación de metodologías y/o tecnologías que modifiquen la forma de la curva de carga sin que esto implique necesariamente un menor consumo energético. Esto es fundamental **en el caso de la energía eléctrica** —que no puede ser convenientemente almacenada en grandes cantidades, y en donde el suministro debe seguir a la demanda instantánea a instantánea— razón por la cual la variación temporal de la carga es tan importante como la magnitud de la energía consumida. La eficiencia energética y la gestión de la demanda van de la mano en un futuro energético orientado a los usos finales.

La definición de la estrategia energética orientada a los usos finales comprende los siguientes pasos:

- a) **estimar la magnitud del consumo energético de cada uso final**, por ejemplo: transporte, iluminación, refrigeración, fuerza motriz industrial, etc. Estudiando pormenorizadamente los usos finales de la energía a partir de relevamiento de datos, auditorías, mediciones, etc.;
- b) **evaluar las tecnologías relacionadas con los artefactos de uso final empleados actualmente** (motores, lámparas, heladeras, etc.)—particularmente su eficiencia energética además de los aspectos técnicos, y los factores económicos y ambientales—consultando información técnica, mediante ensayos, etc.;
- c) **recopilar datos acerca de los artefactos de uso final energéticamente eficientes**, sus rendimientos, costos y otras características técnicas. Idem (b).

- d) **compilar información acerca de las tecnologías alternativas para la producción de energía**. Incluyendo en el estudio fuentes y tecnologías tanto convencionales como no convencionales, y especialmente aquellas basadas en fuentes renovables y/o procesos de conversión menos contaminantes.
- e) **estimar la demanda futura de los servicios energéticos**. Basándose en la expectativa de crecimiento poblacional, el incremento en la actividad económica, y otros factores, o sea planteando un futuro *escenario energético*; y
- f) **elaborar una metodología para determinar la óptima combinación de tecnologías de producción, distribución y ahorro de energía**, con el objeto de satisfacer los futuros requerimientos de los servicios energéticos al mínimo costo social⁷.

Utilizando toda esta información puede determinarse cual es la combinación óptima de fuentes centralizadas y distribuidas, renovables y no renovables, aprovechando medidas rentables de eficiencia energética, gestión de la demanda y otras oportunidades identificadas en el análisis por usos finales.

Como se aprecia, esta estrategia cuestiona la correlación entre desarrollo y consumo energético con todas las consecuencias ya descritas conduciendo a una identificación de escenarios energéticos futuros que son mucho menos intensivos en capital y recursos (además de ser menos costosa en general), y ambientalmente menos conflictiva.

2.3 Otras posibilidades de ahorro

Las alternativas para hacer uso eficiente de la energía no se limitan a las tecnologías aplicadas a los artefactos de uso final. En rigor, estos artefactos integran, generalmente, un sistema que deberá ser estudiado en su totalidad. Por lo tanto se puede aumentar la eficiencia en algún otro componente del sistema que constituye la conversión energética para satisfacer un servicio. Estos otros componentes se denominan **elementos asociados** y pueden ser activos o pasivos. Los **sistemas de control**, también, pueden jugar un papel importante a la hora de disminuir los consumos.

El cambio en los **procesos industriales** constituye otra alternativa que ha conseguido disminuir significativamente la necesidad energética.

La Tabla 2 resume una posible clasificación de las posibles medidas descritas hasta aquí.

⁷Costos económicos directos mas costos indirectos, principalmente los costos ambientales.

Tabla 2. Medidas de uso eficiente de la energía eléctrica a nivel de uso final

Mejora en	Ejemplos
aparatos de uso final	motores, lámparas, etc.
elementos activos asociados	bombas, ventiladores, balastos para lámparas fluorescentes, etc.
elementos pasivos asociados	cañerías, conductos, válvulas, acoplamientos, pinturas claras, aislación de heladeras, etc.
sistemas de control	iluminación, aire acondicionado de edificios, velocidad de motores, etc.
procesos industriales	electromecánicos, termodinámicos, electrónicos, etc.
medidas arquitectónicas	luz natural, aislación de edificios, calentamiento solar pasivo, películas aislantes en ventanas, etc.
contribución de la energía solar a nivel de uso final	colectores para calentamiento de agua, lámparas solares (con acumulación), vehículos solares, etc.
recuperación de energía	frenado regenerativo en tracción eléctrica.

Pero las posibilidades de ahorro energético tampoco se limitan exclusivamente a las tecnologías utilizadas en los artefactos de uso final o en los elementos asociados al proceso de conversión final. El resto de los elementos de la cadena energética también puede ser optimizado. Por ejemplo, una central generadora puede ser más eficiente, pueden reducirse las pérdidas por transmisión y distribución de energía eléctrica, etc.

Cambiar la **fuentes energética** puede conducir también a ahorros energéticos y beneficios económicos y ambientales. Históricamente, el reemplazo de leña y tracción animal por el carbón y, posteriormente, por petróleo y gas natural ha sido acompañado generalmente por ahorros substanciales de energía para desarrollar las mismas tareas. En bombeo para riego o en el calentamiento de agua para el sector residencial puede tener sentido reemplazar la electricidad por alguna otra forma de energía. La iluminación eléctrica es mucho más eficiente que las lámparas de kerosene (ampliamente utilizadas en muchas partes del mundo donde no llega la electricidad). Una política energética y eléctrica racional debería considerar el incremento de la iluminación eléctrica en aquellas áreas donde se utilice kerosene para iluminación.

Los **cambios estructurales** dentro de la **economía**, asimismo, pueden modificar el patrón de consumo energético. En sociedades industrializadas, las últimas décadas han visto un decrecimiento en la utilización de materias primas que eran energéticamente intensivas para su fabricación, y un incremento en el uso de materiales más especializados necesarios en menores cantidades.

La **urbanización**, de igual modo, también afecta notablemente el consumo energético dado que el desempeño del transporte, o la posibilidad de captar energía solar, se vinculan con la estructura de las ciudades. El enorme consumo de energía en el transporte particular en Norteamérica proviene de la distribución difusa de población la cual a la vez aumenta los recorridos y reduce la factibilidad del transporte público. En el otro extremo, tenemos el paradigma de la ciudad de Curitiba (Brasil), donde un desarrollo urbano bien planificado y mantenido a lo largo de las décadas conjuntamente con la creatividad de un sistema de transporte ejemplar han logrado uno de los éxitos más importantes en todo el planeta.

La **informática** desempeña un papel importante en la utilización de la energía. En la actualidad, se asiste a la llamada Revolución Informática, ya no se requiere mover materia—personas,

papeles, documentos, etc.—de un sitio a otro sino que comunicamos ideas, sonidos, imágenes, etc. gracias a las espectaculares posibilidades que nos proporcionan las modernas tecnologías de telecomunicación: fax, módem, correo electrónico, televisión satelital, Internet, etc. Esta facilidad para transmitir información conjuntamente con su abundancia, además de disminuir las necesidades de transporte y consecuentemente el consumo energético derivado, permite tomar decisiones más acertadas, seleccionar convenientemente entre un mayor número de alternativas, operar con mayor velocidad, etc., posibilidades éstas que impactan sobre la eficiencia con la que usamos la energía.

Por último, el consumo energético se encuentra vinculado también con aspectos tales como hábitos y/o comportamientos, conocimientos, creencias, símbolos de estatus, etc., de los consumidores, elementos éstos que podemos denominar **dimensión humana** del consumo de energía o “ineficiencia energética cultural” según algunos autores [Kempton et al., 1994]. Esta categoría va ganando importancia en el análisis del uso eficiente de la energía, constituyéndose gradualmente en un área de estudio específica.

2.4 Potencial de ahorro

Finalizando esta introducción relacionada con el uso eficiente de la energía resta mencionar la posibilidad de cuantificar la magnitud de los beneficios a obtener por el uso eficiente de la energía y gestión de la demanda. Esta estimación es conocida como *potencial de ahorro*, y dada su importancia se describirá en profundidad el proceso para evaluarlo en el Capítulo 15.

El potencial de ahorro de la energía eléctrica, o sea la cantidad de energía que es posible ahorrar técnica y económicamente hablando en función del actual estado del arte surge, para la Argentina, a partir de algunas cifras reales y de aproximaciones realizadas sobre la base de los datos de otros países. La evolución de la demanda de energía eléctrica en la Argentina, correspondiente a la “eficiencia congelada” (sin ninguna mejora en la eficiencia en el futuro) y al “futuro eficiente” donde las **tecnologías eficientes existentes** se incorporen en todos los casos en donde son **rentables**, determina una diferencia (potencial de ahorro) del 39% para el año 2020, respecto un consumo de 196 TWh con la eficiencia congelada. O sea una reducción del consumo de energía eléctrica de 76 TWh mayor que el valor del consumo actual —60 TWh en el año 1996— [Informe de Prospectiva 1997, Secretaría de Energía].

Este ahorro energético se traduce directamente en menores gastos para la sociedad que según se ha estimado alcanzarían tan sólo para dos usos finales —la iluminación y las heladeras domésticas— un ahorro neto para los usuarios del sector residencial del orden de los 8.600 millones de \$ (1994) en un lapso de 20 años. [Dutt et al., 1995]

Actualmente, el crecimiento en la demanda eléctrica se abastece con la incorporación de potencia a la represa hidroeléctrica Yacyretá y la construcción de nuevas centrales térmicas a gas natural. Una reducción en la demanda reduciría la generación en las plantas térmicas, ya que la generación hidráulica y nuclear, seguirían funcionando. Por lo tanto, se puede estimar la disminución en la contaminación atmosférica considerando una reducción en la generación térmica de esta magnitud. Pero en el mediano o largo plazo un descenso de la demanda puede significar también postergar la necesidad de construir nuevas centrales de todo tipo (incluyendo hidroeléctricas y nucleares).

3. La iluminación eficiente

3.1 La iluminación y la demanda de energía

A partir de los temas desarrollados en el punto 3 surge con claridad que podemos categorizar a la la iluminación como un uso final de la energía. Continuando la línea conceptual allí seguida una de las primeras opciones que deberían considerarse frente a la necesidad de luz es la posibilidad de aprovechar adecuadamente la luz natural a partir de un conveniente diseño arquitectónico y/o de la utilización de sistemas de control que desactiven aquellas lámparas en donde la luz aportada por el Sol alcance para satisfacer la necesidad de iluminación. En particular estos temas se desarrollarán en el/los *Capítulos 13 y 14* respectivamente.

Para la provisión de luz por medios artificiales la mejor forma que tenemos (en el presente y dentro del futuro previsible), es a partir de la energía eléctrica. A excepción de las áreas rurales y aquellas fuera del alcance de las redes de electricidad, el resto de la iluminación en los sectores industrial, comercial y público, residencial urbano y el alumbrado público se basan en el uso de energía eléctrica, por lo que de ahora en más este texto se limitará pura y exclusivamente al análisis de este tipo de iluminación.

En una primera aproximación al sector energético de la Argentina se observa que desde un punto de vista del consumo final de energía por sector, estos se ordenan de mayor a menor de la siguiente manera: transporte, industrial, residencial y comercial y público (Fig. 6a). Sin embargo, al repetir la comparación pero a partir del consumo final de energía eléctrica por sector, ahora el sector transporte prácticamente pierde toda relevancia y tan sólo tres sectores acaparan casi el 98% del consumo. Estos son sector industrial, residencial y comercial y público (ver Fig. 6b).

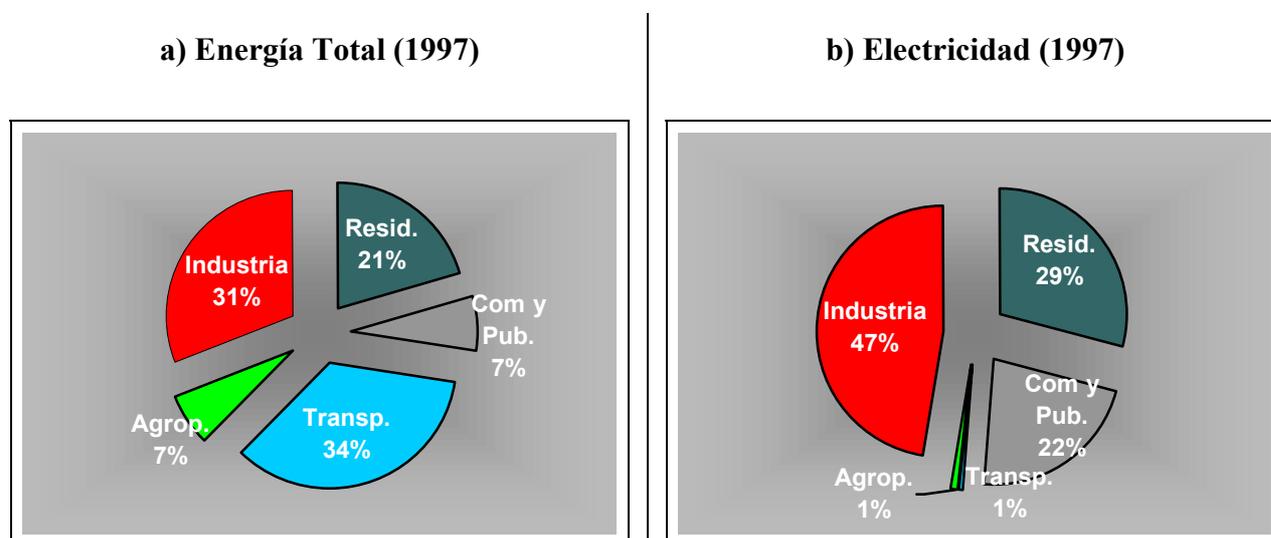


Figura 6. Consumo final de energía por sector en la Argentina (sin incluir los *no energéticos*)
Fuente: Balance energético nacional (1997)

Ahora bien, realizando un análisis por usos finales de la electricidad dentro de cada sector de consumo para la energía eléctrica (considerando tan sólo los tres sectores más importantes), se observa que la iluminación tiene una participación destacada fundamentalmente en el sector comercial y público, luego en el residencial y en menor grado en el industrial. En la Figura 7 se

grafica la distribución del consumo por usos finales de energía eléctrica en cada uno de los sectores y en el total del país.

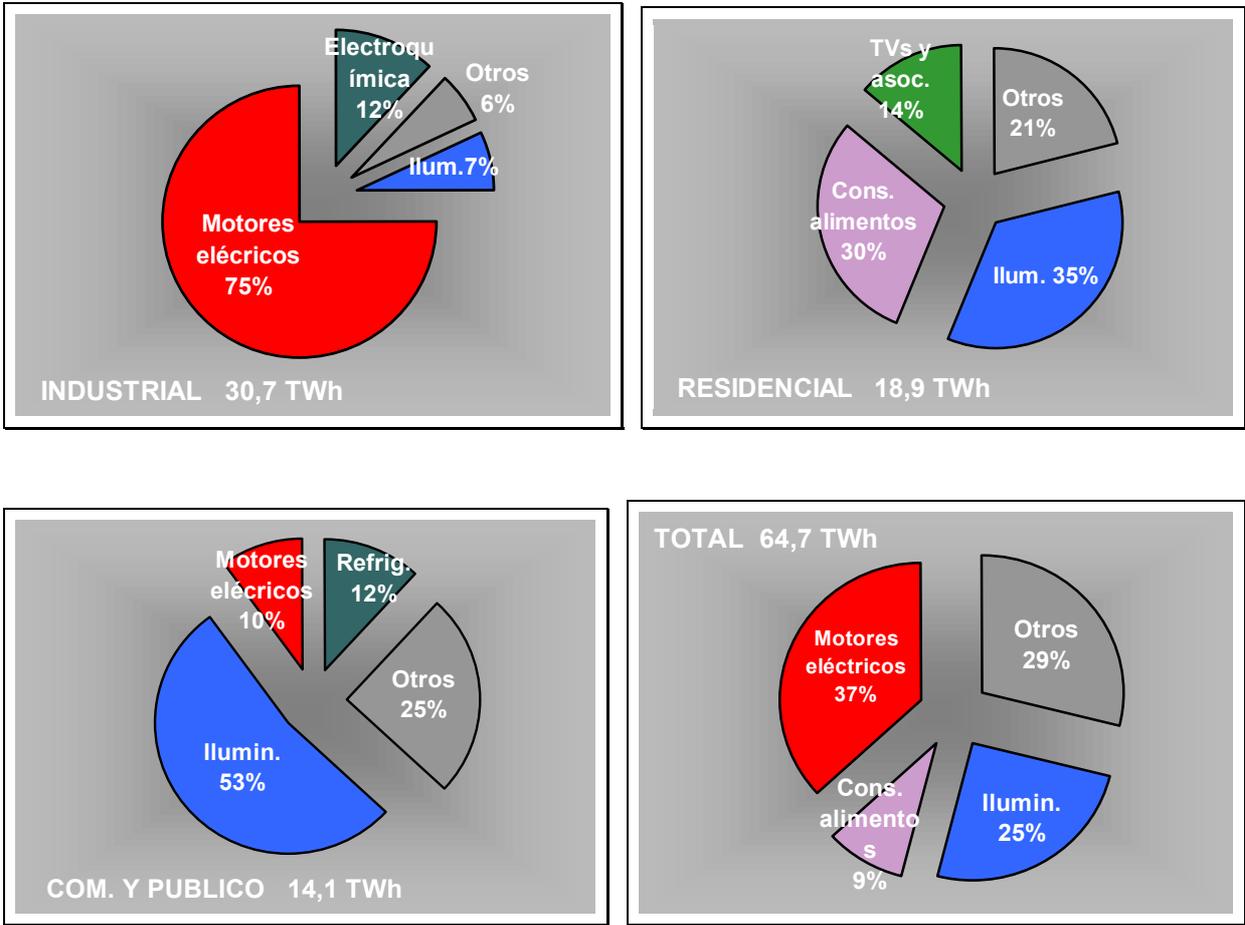


Figura 7. Consumo final de energía eléctrica en Argentina (1997) por sector y uso final.

En la Figura 7 se puede apreciar que en el total del consumo de energía eléctrica la iluminación representa el 25% ubicándose como segundo uso final en importancia luego de los motores eléctricos. Este porcentaje es alto en relación con otros países donde la iluminación representa menos del 20% del consumo total de energía eléctrica. Esto se debe, básicamente, a que se utiliza el gas como sustituto de la energía eléctrica para muchos usos finales.

3.2 Iluminación eficiente

En función de lo visto, podemos analizar la eficiencia en la provisión del servicio de iluminación en los distintos niveles.

El primero de ellos lo constituyen las *lámparas* que son el artefacto de uso final que transforma la energía eléctrica en luz. Existen miles de lámparas distintas, que utilizan diferentes tecnologías para conseguir su propósito, y que brindan prestaciones diversas con distintos niveles de eficiencia en la conversión de energía eléctrica en energía lumínica. La descripción de los dispositivos más eficientes que existen en la actualidad se desarrolla en el Capítulo 4 de este libro.

Completando el análisis hacia el resto del sistema de provisión de luz se tienen los elementos asociados a las lámparas que son básicamente las *luminarias* (elementos pasivos) que son los artefactos encargados de distribuir adecuadamente el flujo luminoso emitido por éstas; y los *balastos* (elementos activos) necesarios para el encendido y el correcto funcionamiento de las lámparas del tipo de descarga. El estudio de la eficiencia asociada a estos elementos se profundiza en los Capítulos 5, 6 y 7.

3.3. Potencial de ahorro

En un trabajo realizado para la Argentina para el año 2000, se estimó que tan sólo el recambio de lámparas por sus equivalentes más eficientes en donde esto fuera posible y económicamente rentable redundaría en una disminución de alrededor del 28% del consumo energético en iluminación y el 7% de todo el consumo de energía eléctrica de nuestro país. [Assaf y Dutt, 2001] Esta evaluación establece una hipótesis de ahorro mínimo pues sólo considera la sustitución de lámparas sin tener en cuenta, como hemos visto, muchas otras medidas para mejorar la eficiencia del sistema.

Para poder determinar en forma más o menos precisa el potencial de ahorro en iluminación se requiere en primera instancia conocer el consumo eléctrico para este uso final en forma desagregada para poder evaluar las alternativas más eficientes. La descripción de la determinación del potencial de ahorro se realiza en el Capítulo 15.

3.4. Programas de iluminación eficiente en el mundo

Diversos factores contribuyen a que la iluminación sea uno de los primeros usos finales donde se haya comenzado a trabajar aplicando medidas de eficiencia energética [Tanides, 1998]

1. El potencial de ahorro para este uso final demuestra ser muy elevado.
2. Algunas alternativas de eficiencia en iluminación no representan costo adicional alguno y en otros casos el uso eficiente de la energía eléctrica en la iluminación es una medida altamente rentable.
3. Debido a su alta coincidencia con la demanda pico vespertina de electricidad, una reducción en el consumo energético se reflejaría también en una disminución de la demanda de punta, permitiendo importantes ahorros en las inversiones necesarias para suministrar dichos picos.

En particular para el sector residencial,

4. Pocos puntos luminosos de las residencias concentran la mayor parte del consumo, lo que permite un gran aprovechamiento del potencial de ahorro cambiando pocas lámparas.
5. Debido a la corta vida útil, al bajo costo de las lámparas a reemplazar (incandescentes) y a que la tecnología para efectuar el cambio se halla disponible en el mercado, la sustitución puede realizarse en plazos relativamente breves.

La mayor parte de las ventajas enumeradas se repiten en una considerable cantidad de países, razón por la cual, muchos de ellos han puesto en marcha diversos tipos de programas de iluminación eficiente. Estos programas contemplan campañas de información, difusión y demostración, normativas de eficiencia, sistemas de etiquetado, distintas metodologías de financiación de los productos, etc.

Uno de ellos es el Programa de Iluminación Eficiente (Efficient Lighting Initiative, ELI), que está en funcionamiento en Argentina, Filipinas, Hungría, Letonia, Perú, República Checa y Sudáfrica.

Referencias

- Assaf, L.O. y G.S. Dutt, 2001. "Potencial de ahorro de energía mediante el uso de lámparas eficientes en la República Argentina". *Luminotecnia*, N° 68, pp. 76-79.
- Campbell, C.J. y J.H. Laherrere, 1998. "The end of cheap oil", *Scientific American*, pp. 59-65, March.
- Davis, G.R., 1990. "Energía para el Planeta Tierra", *Investigación y Ciencia*, N° 170, p. 8, nov.)
- Dutt, G.S., 1993. *Electricity at Least Cost*, The Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University.
- Dutt, G.S., M. Brugnoli y C. Tanides, 1995. "Megawatts o Negawatts: alternativas para minimizar inversiones en el sector eléctrico", presentado en el II Congreso Latinoamericano Generación y Transporte de Energía Eléctrica, Mar del Plata, nov.
- Fulkerson, W., R.R. Judkins y M.K. Sanghvi, 1990. "Energía de combustibles fósiles", *Investigación y Ciencia*, Nro. 170, pp. 84-92, noviembre.
- Goldemberg, J., et al., 1988. *Energy for a Sustainable World*, Wiley Eastern, Nueva Delhi.
- IAE, 1999. *Sector Energético República Argentina – Anuario 1998*, Instituto Argentino de la Energía "Gral. Mosconi".
- IPCC, 1990. *Scientific Assessment of Climate Change*, Summary Report, Intergovernmental Panel on Climate Change World Meteorological Organization/U.N. Environment Program (Cambridge, MA: Cambridge University Press)
- Johansson, T. B., et al., 1993. *Renewable Energy - Sources for Fuels and Electricity*, Island Press, Washington, DC.
- Kempton, W. y L. Schipper, 1994. "Expanding the human dimensions research agenda", *Proceedings of the 1994 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, Vol. 1, pp. 1.85-90.
- OLADE, 1994. "Energía en cifras", versión No. 6, Organización Latinoamericana de Energía, Quito, julio.
- Williams, R.H., 1988. "Are energy capital costs a constraint on development? - A demand analysis of the power sector capital crisis in developing countries", trabajo presentado en el International Seminar on the New Era in the World Economy, The Fernand Braudel Institute of World Economics, San Pablo, Brasil, agosto-septiembre.
- World Bank, 1983. *The Energy Transition in Developing Countries*, Washington, DC.
- World Bank, 1990. "Capital expenditure for electric power in the developing countries in the 1990s", Energy series paper 23, Industry and Energy Department, World bank, Washington, DC.

Anexo A. Definiciones:

Artefacto de uso final (end-use device): se denomina de esta manera al artefacto en el cual se consume energía para proveer un *servicio energético*. Ejemplos de artefactos de uso final son lámparas, motores, heladeras, etc.

Servicio energético (end-use service category): los usos finales de la energía pueden ser clasificados de diferentes maneras. Una de estas formas es por categoría de servicio, p.e. calefacción, refrigeración, iluminación, transporte, etc.

Desarrollo Sustentable: La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (de las Naciones Unidas) definió el “desarrollo sustentable” como un “desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias

Energía Primaria: según OLADE “*Se entiende por energía primaria a las distintas fuentes de energía, tal como se obtienen en la naturaleza, ya sea en forma directa como en el caso de la energía hidráulica o solar, la leña y otros combustibles vegetales o después de un proceso de extracción como el petróleo, carbón mineral y geotermia. Se han considerado las siguientes fuentes primarias: Petróleo Crudo, Gas Natural, Carbón Mineral, Hidroenergía, Geoenergía, Combustibles Fisionables, Leña, Productos de Caña, Otras fuentes energéticas primarias.*”

Escenario energético: se denomina de esta manera al conjunto de suposiciones necesarias para realizar una proyección de la demanda energética. Entre las consideraciones a realizar, podemos citar:

Clima: es el conjunto estadístico de las condiciones del tiempo (meteorológico) para un área dada especificado durante un intervalo de tiempo (usualmente décadas).

Cambio Climático: se denomina así a la variación de las características del *Clima*, de origen antrópico o no, por ejemplo la alteración del balance térmico terrestre debido al crecimiento de los «gases de invernadero» (CO₂, CH₄, etc.), o el adelgazamiento de la capa de ozono en la estratosfera.