

“Ecovattios”: Consecuencias energéticas y ambientales de la electrificación

En los Estados Unidos, las tecnologías relacionadas con la electricidad han contribuido a la eficiencia energética y a la reducción de los gases de efecto de invernadero

por Mark P. Mills

Por razones bien fundadas, los servicios públicos, los planificadores de la energía y las comisiones de servicios públicos de los Estados Unidos están adoptando programas de Gestión de la Demanda (DSM) para reducir o disminuir al mínimo el consumo de electricidad. En el decenio de 1990 se prevé ahorrar recursos equivalentes a casi 25 000 megavatios mediante la aplicación de la DSM.

Las bombillas de alto rendimiento han venido a simbolizar los beneficios que reporta la búsqueda de una mayor eficiencia energética, o, dicho coloquialmente, la búsqueda de *megavatios*. El atractivo es innegable y contundente. Por cada bombilla de 60 vatios que se reemplaza por otra de 15 vatios de alta tecnología y de igual luminosidad, se reduce el consumo de energía y se eliminan dos libras de dióxido de carbono cada 30 horas de uso. Hay poco que objetar a los programas que mejoran el rendimiento eléctrico de manera eficaz en función de los costos y sin efectos colaterales indeseables desde el punto de vista social.

Pero la preocupación en torno al ahorro de electricidad ya ha obnubilado a muchos planificadores y formuladores de pronósticos con respecto a un hecho básico, aunque en el clima actual parezca herético, a saber, que reemplazar los combustibles fósiles por electricidad ahorra energía, aun cuando se tome en cuenta la energía requerida para generarla. Este ahorro de energía se traduce en menos emisiones de dióxido de carbono (CO₂), que es uno de los principales “culpables” del calentamiento global. La sustitución de combustibles por kilovatios que contribuyan a un mayor ahorro y mejoren la ecosfera podría traducirse en *ecovattios*.

Los planificadores de la energía aceptan como regla fundamental que la sociedad realice actividades encaminadas a elevar al máximo la eficiencia energética en general. Las discrepancias surgen con respecto a qué método debería emplearse. Para los

formuladores de pronósticos, el primer objetivo es reducir el consumo de electricidad, dadas las pérdidas de energía que se producen en las centrales eléctricas cuando el calor se transforma en kilovatios-hora. Algunos han aducido que la eficiencia energética de la electricidad equivale a “cortar la mantequilla con una sierra de cadena”. El mito de que la electricidad es antieconómica parte del desconocimiento de la eficiencia con que en realidad se usa la electricidad y de la ineficiencia con que se emplean los combustibles en el mercado.

Por ejemplo, las mejores centrales eléctricas transforman en electricidad alrededor del 40% de la energía consumida. Sin embargo, los motores eléctricos transforman el 90% de la electricidad en movimiento útil. En comparación, incluso el automóvil más eficiente traslada menos del 20% de la energía del combustible que utiliza al eje impulsor. Dicho de otro modo, la eficiencia con que puede emplearse la electricidad compensa con creces la ineficiencia que tiene lugar en el proceso de generación. Por lo pronto, la eficiencia con que pueden emplearse los combustibles fósiles es sorprendentemente baja en la mayoría de las aplicaciones y, por una cuestión de física elemental, inherentemente limitada.

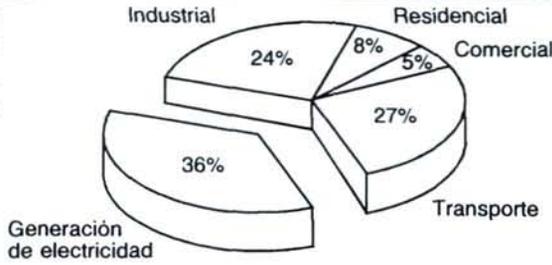
Así, la fabricación de acero utilizando electricidad alimentada con carbón consume menos energía y emite menos dióxido de carbono que si se emplea un alto horno convencional alimentado con carbón. Con este cambio el consumo de energía se reduce en más del 70% y se eliminan alrededor de 2 libras de dióxido de carbono por cada libra de acero que se fabrique, *incluidas* la energía y el CO₂ necesarios para generar la electricidad. (Ahora bien, el que todas las acerías comiencen a emplear electricidad dependerá de las ventajas de esa tecnología en cuanto a ahorro y productividad, motivación que siempre ha estado implícita en relación con la mayoría de las tecnologías asociadas con la electricidad).

El presente artículo se deriva de un análisis titulado *Eco-watts: The Clean Switch*, del Sr. Mills, Presidente de Science Concepts, Inc., empresa de consultoría en materia de investigación y de comercialización estratégica radicada en Washington, DC. El texto íntegro del análisis puede solicitarse a Science Concepts, Inc., 2 Wisconsin Circle, Suite 470, Chevy Chase, Maryland 20815, EE.UU.

Tendencias generales

En la actualidad los planificadores de los servicios públicos actúan, en efecto, como el niño holandés del cuento infantil, que trató de contener las

Combustible empleado por sector principal, 1990



Nota: Los combustibles requeridos para suministrar electricidad a los demás sectores se contabilizan en el sector de "generación de electricidad".

aguas poniendo su dedo en la grieta del dique. En los Estados Unidos el consumo de electricidad ha ido aumentando durante tanto tiempo y tan inexorablemente, que parece ser una premisa de la vida moderna.

El ritmo de aumento del consumo de electricidad ha sobrepasado el aumento general de la energía, de resultados de lo cual la participación del total de energía empleada por los Estados Unidos para generar electricidad aumentó de 14% en 1950, a 24% en 1970, hasta llegar a 36% en la actualidad. Es fácil comprender por qué el sector eléctrico se ha convertido en un objetivo atractivo, cuando no lógico, para el ahorro de energía y los programas ambientales. En estos momentos se emplea más combustible para generar electricidad que para cualquier otra actividad en la sociedad. (Véase el gráfico.) El sector del transporte ha quedado en un segundo lugar muy rezagado.

El sector eléctrico también resulta un objetivo atractivo para los programas de conversión de energía, puesto que es la única actividad energética en que el usuario está literalmente atado al proveedor. Los programas aplicados por un solo servicio público pueden afectar directa e instantáneamente el consumo de energía de millones de clientes. Esta estrecha interrelación no existe en el caso de los combustibles utilizados en el mercado.

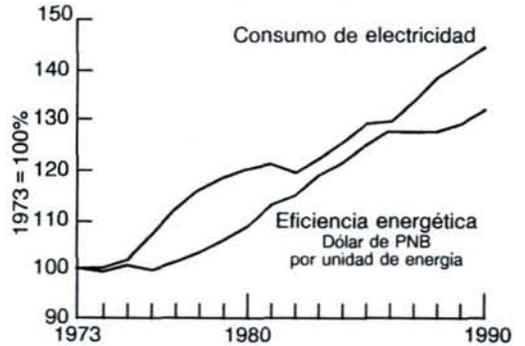
El sector eléctrico no sólo consume la mayor cantidad de energía, sino que, desde el primer embargo petrolero de 1973, prácticamente todo el incremento del consumo de combustible ha sido empleado para generar electricidad. (Véase el gráfico.) Se prevé que esta tendencia continúe.

En realidad hay muchísimas posibilidades de mejorar la eficiencia energética en la generación y el

consumo de kilovatios-hora. Esto no debe interpretarse como prueba tácita de que el uso de electricidad es básicamente "antieconómico", sino más bien que las inmensas posibilidades de lograr la eficiencia en el uso de la electricidad se deben precisamente a las ventajas inherentes a los dispositivos, el equipo y los procesos eléctricos. Estas son las mismas ventajas que, en primer término, determinan que los combustibles se sustituyan por kilovatios-hora.

El límite natural del rendimiento energético de los combustibles al quemarse está determinado por leyes fundamentales de la física relacionadas con la temperatura de combustión. Por ejemplo, hay poco margen para que mejore apreciablemente la eficiencia energética del motor de un automóvil. En este caso el ahorro de combustible está determinado por factores tales como menor peso del vehículo y resistencia al aire, menor fricción, menor resistencia de rodamiento, mejores transmisiones, y así sucesivamente. Por otra parte, cuando se emplea electricidad, existe una inmensa posibilidad de controlar los electrones y los campos magnéticos. Por ejemplo, cuando un vehículo eléctrico va a detenerse, éste acciona a la inversa el motor de impulsión para generar electricidad y recargar el acumulador. Ninguna

Consumo de combustible del sector eléctrico y eficiencia energética a nivel nacional, 1973-1990

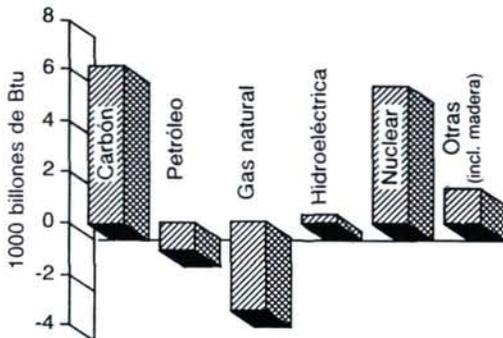


artimaña técnica puede volver a convertir la energía cinética en gasolina.

La prueba de que con el empleo de electricidad aumenta la eficiencia energética puede verse en las tendencias generales a nivel nacional. El mayor uso de combustibles para generar electricidad ha coincidido con el aumento de la eficiencia energética en el plano nacional. (Véase el gráfico.) Si fuese antieconómico emplear combustibles para generar electricidad, la eficiencia energética de la nación estaría disminuyendo, dada la magnitud del consumo de combustible del sector eléctrico. En cambio, está sucediendo lo contrario. Se está logrando un rendimiento económico cada vez mayor con menos cantidad de combustibles primarios. En los últimos 17 años el empleo de combustibles para generar electricidad ha aumentado 50% conjuntamente con un aumento de 40% en el rendimiento energético general, incluidos los combustibles requeridos para producir electricidad.

Muchos reconocen que la táctica más eficaz para resolver el problema de la emisión de dióxido de carbono, principal contribuyente al calentamiento

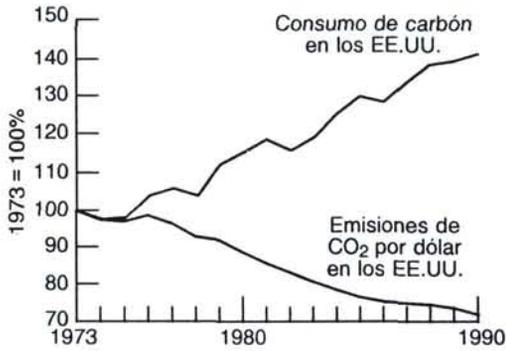
Cambios en el consumo de energía en los Estados Unidos (comparación entre 1973 y 1990)



global, es mejorar el rendimiento energético. Por consiguiente, un indicador básico del progreso alcanzado en el país con miras a reducir las posibilidades de calentamiento global será la cantidad de carbono emitido a la atmósfera por unidad de producto nacional bruto (PNB). Este es un indicador crítico que denota los niveles de eficiencia de la sociedad.

En este sentido ha habido una tendencia curiosa y prácticamente desconocida. (Véase el gráfico.) El efecto de la actividad económica de los Estados Unidos sobre el calentamiento global general se ha atenuado, en otras palabras, ha ido disminuyendo la cantidad de carbono emitido por unidad de PNB. En 1973, por un dólar de PNB se emitieron 4 libras de CO₂, en 1990 sólo se emitieron 2,34 libras por dólar de PNB. Esto es sorprendente teniendo en cuenta que a partir de 1973 se ha utilizado mucho más combustible para generar electricidad, y además, que el 60% de todo el incremento del consumo de combustible para el sector eléctrico ha provenidido del carbón. La combustión del carbón libera más dióxido de carbono por unidad de energía que cualquier otro combustible. Sin embargo, el aumento del consumo de carbón registrado en los Estados Unidos entre 1973 y 1990, ascendente a 380 millones de to-

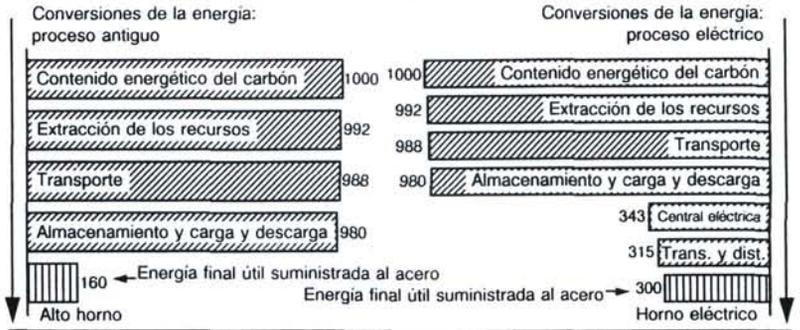
Empleo del carbón y emisiones de carbono por dólar de PNB en los Estados Unidos, 1973-1990



neladas anuales, estuvo asociado a una *disminución* de la cantidad de dióxido de carbono emitido por unidad de PNB.

Los datos generales indican claramente que la electricidad, o cualquier tipo de energía generada con carbón u otro tipo de combustible, llevan asociadas una mayor eficiencia energética y una mayor eficiencia con respecto al CO₂, lo que significa una *reducción* de los efectos de calentamiento global. Esa mayor eficiencia con respecto al CO₂ lograda por la economía de los Estados Unidos *no puede* atribuirse totalmente al mayor uso de recursos energéticos no combustibles (específicamente la energía nuclear) ni a que se haya logrado ahorrar más combustible en los automóviles. El mejor aprovechamiento del combustible en los vehículos automotores de la nación y el mayor empleo de la energía nuclear (es decir, dos casos en que se reducen las emisiones de CO₂) representan sólo el 11% y el 12%, respectivamente, del mejoramiento total de la eficiencia con respecto al CO₂ logrado a nivel nacional a partir de 1973. Sin dudas, hay algo más que mejora la eficiencia en relación con el CO₂, y que se puede

Pasos en la conversión de la energía: comparación entre el proceso de producción de acero estándar y el proceso eléctrico.



ilustrar con algunas tecnologías eléctricas específicas y el efecto que producen en el consumo energético global, así como en las emisiones de CO₂.

Empleo de ecovatios para reducir el CO₂

La electrificación de la producción de acero ofrece uno de los ejemplos más claros y fascinantes del empleo de kilovatios-hora para reducir el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono. El proceso eléctrico de fundición deposita en esencia toda la energía directamente en la masa fundida donde se requiere, sin desperdiciar prácticamente nada en el punto de uso. La energía que se pierde al generar la electricidad es considerablemente menor que la que se pierde con un alto horno típico. (Véase el gráfico). La diferencia entre ambos procesos es similar a hervir agua al fuego en lugar de hacerlo colocando electrodos directamente dentro de una jarra de agua.

Los Estados Unidos producen anualmente más de 200 000 millones de libras de acero, y por cada libra de ese metal producida eléctricamente eliminan dos libras de CO₂. En esta cuenta se toman en consideración la eliminación del carbón quemado y del CO₂ emitido en el ciclo del combustible en el caso del alto horno, y se parte del supuesto de que sólo se quema carbón para generar la electricidad necesaria.

El hecho de que por una libra de acero producido con electricidad se eliminen dos libras de CO₂ ofrece un interesante punto de referencia para explorar otras posibilidades de electrificación. Así pues, en el presente estudio se analizan tecnologías específicas (incluido el proceso de producción de acero) en que se pueden emplear ecovatios en lugar de combustibles. No se ha intentado calcular el efecto general de la conversión de todos los procesos a tecnologías eléctricas, pero los ejemplos ilustran a las claras que el cambio para la electricidad brinda literalmente miles de millones de posibilidades de ahorrar las dos libras de CO₂. (Véase el cuadro.) Los ejemplos ayudan a explicar cómo pudieron haber ocurrido las tendencias nacionales de aumento de la eficiencia descritas anteriormente. Las tecnologías aquí expuestas se han seleccionado con la intención de ilustrar una amplia gama de actividades. En algunos casos, diferentes supuestos arrojarían respuestas algo diferentes, pero en ningún caso se anularía el efecto general de reducción del CO₂ al incrementarse la electrificación. A continuación se citan dos casos

Ejemplos de tecnologías de "ecovatios"

Actividad	Ahorro de energía	Cantidad de dióxido de carbono que se elimina
Sustitución del quemado de combustible por electricidad en el punto de uso		
Elaboración de acero Empleo del arco eléctrico en lugar del alto horno	50%	- 2 libras
Cocción de alimentos Empleo del horno de microondas en lugar del de gas	90%	- 2 libras
Secado de pinturas Rayos ultravioleta en lugar de calor producido por gas	90%	- 2 libras
Impresión de revistas Empleo de un secador de rayos ultravioleta en lugar de calor producido por gas	60%	- 2 libras
Producción de cobre Empleo de la inducción eléctrica en lugar de un horno	40%	- 2 libras
Viajes a ciudades cercanas Empleo del tren Maglev de alta velocidad en lugar de un avión	75%	- 2 libras
Congelación de leche concentrada Empleo de la destilación por congelación eléctrica en lugar de calentamiento y evaporación	40%	- 2 libras
Evacuación segura de desechos tóxicos Empleo de vitrificación eléctrica en lugar de calentamiento y evaporación	20%	- 2 libras
Fabricación de botellas de vidrio Empleo de hornos eléctricos en lugar de hornos alimentados por combustible	65%	- 2 libras

Notas: En "Ahorro de energía" se incluyen la energía necesaria para generar electricidad y todas las pérdidas ocurridas en los ciclos del combustible energético. En la "Cantidad de dióxido de carbono que se elimina" se incluyen las emisiones resultantes de la producción de electricidad y se parte del supuesto de que el combustible desplazado por la tecnología eléctrica se emplea para generar electricidad.

para ejemplificar la reducción del consumo de energía y la consiguiente reducción de CO₂.

- El combustible consumido en el punto de uso es reemplazado por electricidad generada con ese mismo combustible desplazado (es decir, si un horno de microondas desplaza a uno de gas natural, se supone que el gas natural se emplee para generar la electricidad).

- El combustible consumido en el punto de uso es reemplazado por electricidad con la mezcla de combustibles que se emplea a la sazón en el país (es decir, 56% de carbón, 19% de energía nuclear, 10% de energía hidroeléctrica, 8% de gas natural y 6% de petróleo) y por tanto se eliminan las emisiones de CO₂ de dicha mezcla.

A continuación figuran algunas observaciones sobre las tecnologías de ecovatios para las que se han estimado beneficios concretos en relación con el CO₂.

Secado de pinturas. El empleo de rayos ultravioleta en lugar de un horno alimentado con gas para el secado de pinturas reporta beneficios energéticos similares a los de un horno de microondas. Sin embargo, la motivación para emplear rayos ultravioleta en el secado de pinturas no ha sido reducir el consumo de energía y las emisiones de CO₂, sino más bien el hecho de que los secadores de rayos ultra-

violetas son más rápidos (hasta 10 veces) y producen un acabado más uniforme que, por ende, tiene mayor calidad.

Secado de tinta (impresión de revistas). Los rayos ultravioleta se pueden emplear asimismo para secar la tinta en el papel. También en este caso, el atractivo del proceso radica en su productividad, rendimiento total y beneficios económicos. Los beneficios energéticos y ambientales son "adicionales". El secado con rayos ultravioleta puede emplearse en diversas actividades de la industria tipográfica, en la industria electrónica para el revestimiento protector de las placas de circuitos impresos, en la industria de tableros de partículas de madera y para endurecer el revestimiento de pisos no encerados.

Trenes de levitación magnética (Maglev). Siempre se ha considerado imposible electrificar el transporte aéreo. Sin embargo, los trenes de levitación magnética "vuelan" sobre un campo magnético que los separa varias pulgadas de los rieles, a velocidades que sobrepasan las 300 mph. La levitación magnética es la respuesta al problema de eliminar el uso de combustibles fósiles para los vuelos continentales interurbanos; su utilización no sólo mejoraría los viajes interurbanos por corredores aéreos congestionados, sino que reduciría también la contamina-

ción de los aeropuertos, que suelen estar ubicados en los centros urbanos o la "zona de respiro", o en sus alrededores.

Desechos tóxicos. Usualmente la limpieza de las zonas contaminadas con desechos químicos tóxicos consiste en excavar la tierra contaminada, transportarla en camiones hasta un lugar apartado previamente aprobado para la evacuación, cavar zanjas y recubrirlas con arcilla o plástico, o ambos, para impedir que ocurran fugas de desechos, y, por último, enterrar los desechos contaminados en esas zanjas. Toda esta actividad requiere el empleo de equipo y camiones pesados para el movimiento de tierra que consumen gran cantidad de energía. La opción eléctrica es colocar electrodos directamente en la tierra contaminada y cristalizarla, o vitrificarla, tras lo cual los desechos quedan inertes, seguros y a prueba de fugas. Este proceso permite descartar actividades que requieren grandes cantidades de energía y que producen emisiones de CO₂, y ofrece muchos otros beneficios económicos y de seguridad.

Fabricación de vidrio. El vidrio se puede producir eléctricamente de un modo similar a los procesos empleados para los metales. La fabricación del vidrio puede ser total o parcialmente electrificada mediante un proceso conocido como sobretensión eléctrica. La electrificación de la fabricación del vidrio mejora la calidad del producto, se realiza en instalaciones más pequeñas (con las reducciones concomitantes en gastos de capital, materiales y locales) y tiene menos repercusiones ambientales. Otra ventaja es que también requiere menos energía y produce menos CO₂.

Ferrocarriles. Gracias a los avances logrados en los controles y procesadores de los motores eléctricos, han aumentado aún más las ventajas energéticas de la electropulsión. La tendencia a un mayor uso

del ferrocarril ligero disminuirá el consumo general de energía, pero tal vez lo más importante es que reducirá la contaminación en las zonas congestionadas.

Fertilizantes. Mediante un proceso de arco eléctrico se puede extraer el nitrógeno del aire y convertirlo en fertilizante. El costo energético global de la producción de ese fertilizante en el lugar en que se necesita será inferior a los costos energéticos de la producción convencional de fertilizantes.

Soldadura por haz electrónico. Al igual que el rayo láser, los haces de electrones pueden soldar todo tipo de materiales. Como el haz tiene una carga eléctrica, es posible controlarlo con mucha precisión y ello redundará en soldaduras de mejor calidad y una productividad mayor que la de las soldaduras con gas convencionales. Se utilizan más de 180 soldaduras por haz electrónico en la construcción de un automóvil normal. No sólo es posible hacerlas con más rapidez y calidad, sino que además la energía necesaria por pulgada de soldadura es diez veces menor.

Nuevas oportunidades

Es preciso que entre los objetivos encaminados a limitar el calentamiento global se tengan presentes los beneficios que reportan los ecovativos. En los procesos en que se sustituye el quemado de combustibles por ecovativos, se reduce la cantidad neta de contaminación. Este ahorro se calcula *incluyendo* los combustibles empleados para generar electricidad. Los ecovativos son resultado del aumento de eficiencia inherente a los procesos y dispositivos eléctricos.

A medida que avance la tecnología, surgirán nuevas posibilidades para los ecovativos.



En los Estados Unidos ha aumentado la eficiencia energética y se han reducido las emisiones de dióxido de carbono en general gracias a un mayor empleo de la electricidad.