ENERGIA, TECNOLOGIA Y AMBIENTE

Juan Jorge Hermosillo Villalobos*

Desde diversos puntos de vista, la disponibilidad de recursos energéticos ha sido, a lo largo de la historia, uno de los factores más importantes en el desarrollo tecnológico de las naciones. A su vez, el desarrollo tecnológico ha determinado la utilización de un cierto tipo de energía y por tanto, la disponibilidad de este recurso

Los recursos energéticos son usados por el hombre para satisfacer algunas de sus necesidades básicas en forma de *calor* y de *trabajo*. Conviene aquí definir el significado de estos términos desde un punto de vista termodinámico. *Calor* es la forma de energía *que fluye* de un punto a otro en virtud de una diferencia de temperatura. Fluye calor, por ejemplo, del sol a la tierra; del fuego al aire que lo rodea; de nuestro cuerpo a la atmósfera; del agua al hielo, etc. El calor produce principalmente tres tipos de efectos en las substancias: un aumento de temperatura (se requiere calor para crear un ambiente habitable en un clima invernal), un cambio en su estado físico (se requiere calor para secar cualquier material húmedo como madera, ropa o alimentos, pues se produce una evaporación) o bien les produce un cambio químico (por ejemplo al cocinar los alimentos). Por supuesto, estos tres efectos pueden darse en forma combinada. Aprovechar los flujos de calor artificiales, como el del fuego controlado, o naturales como el del sol, es uno de los logros tecnológicos que tiene su origen en la más remota antigüedad y que hasta la fecha sigue siendo tema de profundas investigaciones científicas y de extensos programas de desarrollo tecnológico.

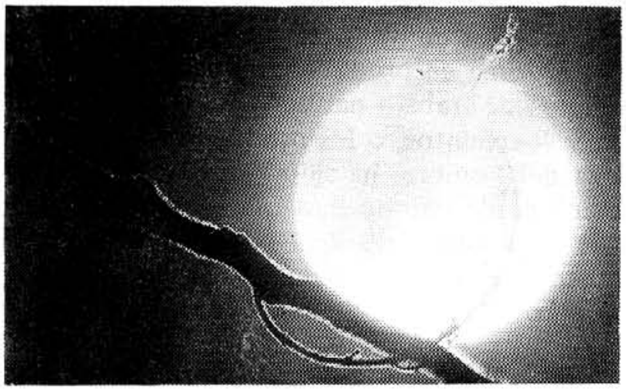
* Ingeniero Químico por el ITESO. Profesor-investigador del Departamento de Energía y Ecología del mismo.

Por otro lado, el *trabajo* es la forma de energía *que fluye* de un cuerpo a otro y que produce un movimiento en contra de una fuerza. Se requiere trabajo, por ejemplo, para levantar un cuerpo pesado (para vencer la fuerza de gravedad), para inflar un neumático (para vencer la fuerza debida a la presión atmosférica) o para deformar una liga o un resorte (para vencer las fuerzas intermoleculares que mantienen la forma del cuerpo). Otras situaciones que requieren trabajo son tan variadas como hacer sonar cualquier instrumento musical, transportar objetos de un lugar a otro o transformar la materia prima en producto terminado. Aprovechar los flujos de trabajo naturales, como las caídas de agua y los vientos, o los producidos por la propia fuerza del hombre, ha sido también preocupación humana desde tiempo inmemorial. De hecho, el nivel de desarrollo tecnológico de los pueblos podría medirse con base en la tecnología que emplearon para aprovechar, producir o consumir calor y trabajo.

Calor y trabajo, en el sentido aquí expuesto, son dos necesidades básicas en cualquier grupo humano, del nivel social, económico o tecnológico que se quiera. Para producirlos, el hombre ha utilizado, a lo largo de su historia, una gran variedad de recursos energéticos. Al principio de nuestra era, por ejemplo, el calor —para calefacción, cocina, etc.— era producido en gran medida por medio de la combustión de leña, mientras que el trabajo en pequeña escala era producido por la fuerza humana, a mediana escala se obtenía de los animales —caballos, burros, etc.— y a gran escala podía extraerse, por ejemplo, del viento para mover los grandes veleros mercantes y de guerra.

En la segunda mitad del siglo XVIII el escocés James Watt logra perfeccionar considerablemente la máquina de vapor, con la cual se logra convertir calor en trabajo. (Convertir trabajo en calor siempre fue simple, aunque muy impráctico, por ejemplo al golpear fuertemente entre sí dos piezas de metal se calientan notoriamente). El fuego, cuya tecnología de producción era conocida desde la era de las cavernas, podía ahora ser utilizado para producir trabajo a pequeña o gran escala, con lo cual podrían lograrse cosas jamás imaginadas hasta entonces: la industria contó con cantidades ilimitadas de trabajo mecánico disponible; el transporte de materias primas y mercancías pudo hacerse por medio del ferrocarril o barco de vapor, más rápidos y más confiables que los transportes convencionales hasta entonces. La máquina de vapor tiene al menos tres aspectos interesantes en la historia del desarrollo tecnológico. Primero, no hubiera sido posible sin la cantidad de trabajo disponible a partir de

su invención y perfeccionamiento. Segundo, gran parte de la tecnología fue desarrollada *antes* de que se formulara una explicación científica de los fenómenos que ocurrían en su funcionamiento. Tercero, inició una época en la que el hombre cada vez ha ido haciendo uso de mayores cantidades de energía, para lo cual ha optado por explotar recursos no renovables y ha ido produciendo efectos ambientales indeseables, cada vez de mayor cuantía.



El diseño de la máquina de vapor original permitía hacer uso de cualquier combustible. El inicio de la explotación petrolera hacia la segunda mitad del siglo XIX puso a disposición del público un combustible barato y mucho más práctico en su manejo que la leña y el carbón. Esto permitió el desarrollo de nuevas "máquinas térmicas" como el motor Diesel y el Otto (de gasolina) que, a diferencia de la máquina de vapor original, requieren un combustible específico para cada diseño. Como el petróleo fue abundante y barato, la utilización de los nuevos motores creció en forma explosiva, dando lugar a la aparición del automóvil, a su popularización y sus consecuencias en un tipo específico de desarrollo urbano. Esa popularización, además, nos hizo cada vez más dependientes de los hidrocarburos y buena parte de la energía de la que disponemos actualmente para producir calor o trabajo para nuestro servicio y bienestar, proviene de ellos: la energía eléctrica usada para calefactores, lavadoras, bombas de agua, alumbrado, semáforos, etc., proviene en muchos casos de una planta termoeléctrica cuya tarea es convertir el calor generado por una combustión de hidrocarburos en trabajo mecánico y éste en energía eléctrica.

Es así como nos hemos hecho dependientes de un solo recurso energético que en un tiempo se consideró ilimitado, pero que ahora sabemos finito y *no renovable*. (En 1982, el 92.9% de la energía consumida en México tenía por origen los hidrocarburos y 46.4% de la energía total era consumida por el mismo sector energético)[1]. El impresionante desarrollo tecnológico en materia energética nos ha llevado al próximo agotamiento –cuestión de décadas– de las reservas mundiales de hidrocarburos. Este agotamiento sería muy lamentable no tanto desde el punto de vista energético, pues habrán de desarrollarse nuevas tecnologías, sino desde el punto de vista de los hidrocarburos como materia prima para un sinnúmero de productos, como fibras sintéticas, plásticos, pinturas, medicamentos, etc.

Por otro lado, la contaminación atmosférica típica tiene dos componentes principales: los desechos de los procesos industriales y los subproductos de la combustión de los hidrocarburos. Estos subproductos, que hace apenas cincuenta años se producían en cantidades despreciables y sin mayor impacto ecológico, han ido alterando paulatinamente la composición global de la atmósfera, principalmente en su porcentaje de bióxido de carbono, lo que puede causar daños ecológicos irreversibles a largo plazo.

Existen, sin embargo, alternativas energéticas suficientes tanto a nivel mundial como particularmente en México. Un problema es que la tecnología para su aprovechamiento se ha quedado retrasada, sobre todo en nuestro país, debido a la abundancia y consiguiente bajo costo de los hidrocarburos. (Aunque parezca increíble, los precios promedio del petróleo en el mercado internacional bajaron en 1986 al mismo nivel –en dólares constantes– que el que tenían *antes* de la famosa crisis energética de 1973[2], fecha en la que según los expertos, había terminando para siempre la era de los combustibles baratos). Entre las alternativas con que México cuenta, hay recursos potenciales abundantes en energía geotérmica, en energía hidráulica –sobre todo en la región sur– y en energía solar –principalmente al norte– por citar sólo algunas.

De las alternativas posibles, hay algunas que "ofenden" terriblemente el entorno ecológico, mientras que otras son "amigables" con él. La energía nuclear, por ejemplo, que desde el punto de vista energético podría considerarse una respuesta al problema del agotamiento de los hidrocarburos, desde otros puntos de vista, como el ecológico, es inaceptable. Existe el riesgo de accidentes altamente catastróficos, con efectos imprevisibles a largo plazo. Sabemos que estos accidentes, lejos de ser hipotéticos, han sucedido en otros países. Existe el riesgo asociado con el manejo de materiales altamente radiactivos –cancerígenos–, incluyendo los materiales de desecho de las plantas nucleo-eléctricas. A propósito de estos desechos, dice E.F. Schumacher: "a uno le vienen náuseas de pensar que algo deba permanecer enterrado y bien sellado por 25,000 años antes de que sea inofensivo"[3]. Al em-

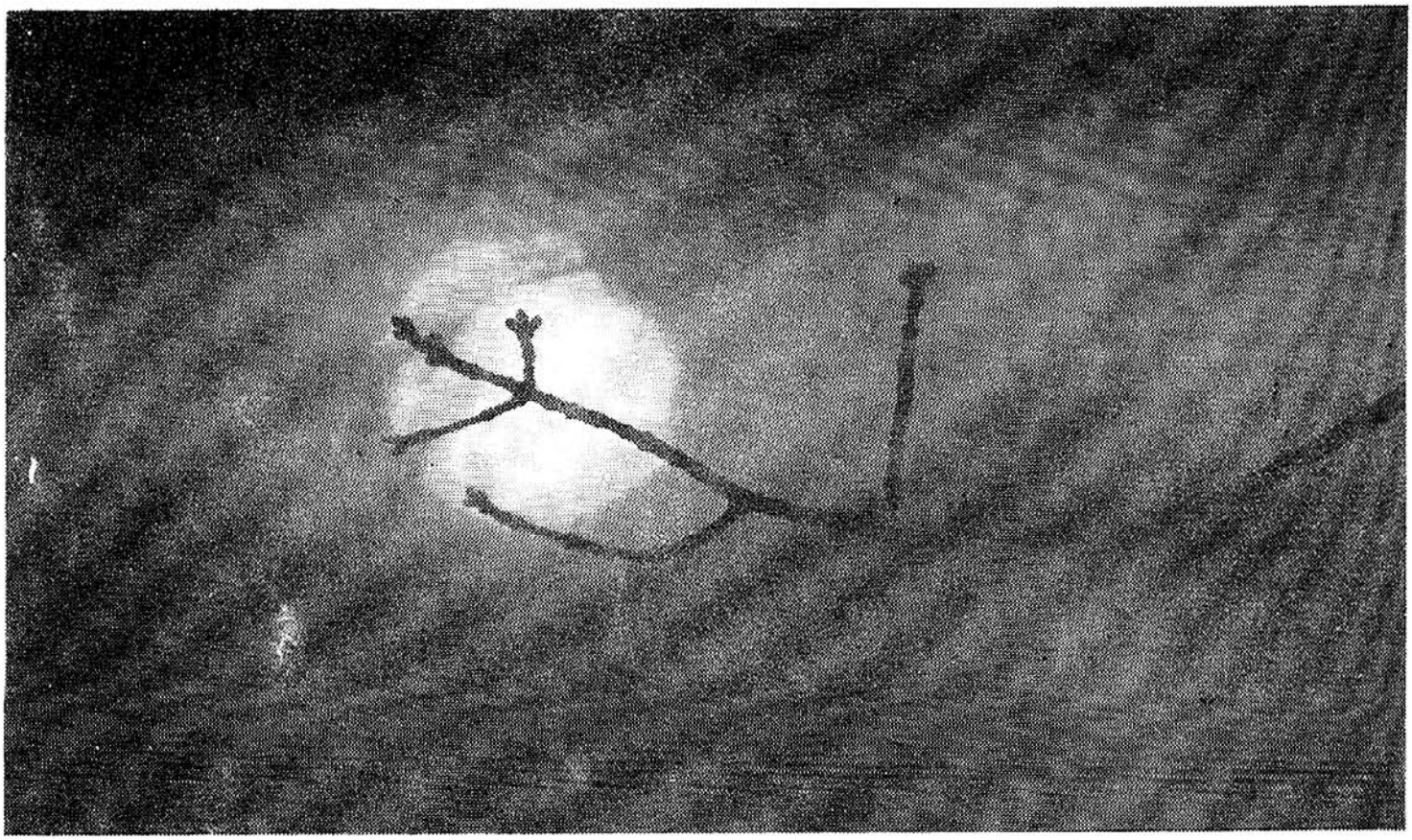
plear la energía nuclear como se utiliza actualmente en la producción de energía —para no mencionar las armas nucleares—, se está solucionando *egoístamente* un problema a mediano plazo, sin pensar en los problemas que estamos heredando a futuras generaciones. Y realmente esto puede decirse también del consumo irracional que se ha hecho de los hidrocarburos y en general de los recursos no renovables como son muchas materias primas extraídas de la tierra.

Entre las alternativas energéticas "amigables" con el ambiente se encuentra la energía solar.

Fuente de energía natural por excelencia, la luz solar ha sido motriz de un sinnúmero de procesos naturales: la generación de diferencias de temperaturas en la atmósfera y océanos, con la consiguiente generación de vientos, oleajes, corrientes marinas, etc.; la evaporación del agua de los océanos, con su correspondiente condensación en forma de lluvia y formación de agua dulce en los continentes, y, quizá lo más importante para la vida terrestre, el suministro de energía para la fotosíntesis, que es el proceso por el cual la mayoría de los vegetales convierten en substancias nutritivas los minerales extraídos de la tierra, el aire y el agua. Por tanto, cuando se habla de extraer la energía del viento —energía eólica—, la energía de las caídas de agua —energía hidráulica— o la misma combustión de la madera, realmente se stá hablando de un aprovechamiento indirecto de la energía solar. La digestión anaeróbica de desechos orgánicos —con lo que se obtiene, además de un combustible, un excelente fertilizante— puede considerarse también como una forma de energía derivada, aunque indirectamente, de la energía solar.

Existen otras fuentes naturales de energía, que no dependen del sol, cuyo efecto es menos importante, no porque su magnitud sea menor, sino porque la vida no depende directamente de ellas. Ejemplos de éstas son la energía geotérmica (volcanes, géiseres, aguas termales) y la energía de las mareas. El término *fuente de energía natural* es impreciso, si lo que se quiere indicar es su leve impacto ambiental. Por un lado los hidrocarburos se encuentran en la naturaleza y por tanto son naturales y, por otro lado, lo que realmente produce la energía solar, es nada menos que la energía nuclear liberada por las reacciones de fusión que se llevan a cabo en su interior. Además, la energía natural en multitud de ocasiones ha causado desastres ecológicos de mayor o menor magnitud, por ejemplo en los frecuentes temblores y erupciones de volcanes. Esto nos lleva a pensar que al desarrollar tecnología para emplear nuevas fuentes de energía —aunque sean fuentes naturales— es necesario prever cuál será su impacto ecológico en el futuro, para evitar que se repita lo sucedido con el petróleo: a principios del siglo su consumo era tan pequeño y tan leve su impacto ambiental, que era absurdo preocuparse por ello; pero cuando el consumo y los desechos arrojados al ambiente se multiplican millones de veces, aparece un serio problema desde todos los puntos de vista: ecológico, económico, social y político.

La energía solar tiene características diferentes a la energía convencional, algunas de ellas ventajosas. Mencionaremos sólo unas cuantas. Primero, puede ser aprovechada mediante una amplísima gama de niveles tecnológicos, desde el secador solar de ropa casero (tendedero) hasta los colectores solares usados en los satélites artificiales. Esto deja abierta la puerta para el desarrollo de tecnologías *apropiadas* al nivel técnico y socioeconómico de diversas comunidades. Segundo, la energía solar puede ser aprovechada directamente por los usuarios que cuenten con tecnología para ello. Con esto se eliminan los efectos de un sistema abastecedor de energía centralizado. Tercero, la energía solar, o las que se derivan de ésta, llegan prácticamente a todos los lugares de la tierra localizados dentro de las zonas tórrida y templada, por lo que su aprovechamiento es posible aún en lugares donde no existen otras fuentes convencionales de energía. Cuarto, la



energía solar es inagotable. Aunque el sol, como las demás estrellas, tendrá fin algún día, cuando esto suceda seguramente la preocupación de la humanidad no será ya el problema energético. Hay que notar que la cantidad de energía solar de la que podríamos disponer no sólo es muy grande, sino que no disminuiría si la utilizáramos aún en gran escala. Quinto, el sol es una fuente de energía *limpia*. Aunque algunas de sus aplicaciones podrían generar algunos efectos secundarios negativos, aprovechar la energía solar no produce de por sí impacto ecológico alguno. Esto es de importancia en un mundo cada vez más contaminado por la actual tecnología energética.

¿Por qué entonces, si tiene tantas ventajas la energía solar, no se utiliza en vez de la energía convencional? La principal razón es, evidentemente, de tipo económico. En muchos casos, aunque afortunadamente no en todos, es más caro utilizar la energía solar que la convencional. Aunque aquélla es en sí gratuita, el equipo requerido para captarla y transformarla para su uso práctico suele requerir inversiones iniciales más altas que la energía convencional. Esta limitación está vinculada con la tecnología empleada tanto para aprovechar la energía solar, como para poder producir los implementos solares. Para que sea más competitiva la energía solar, hay al menos dos alternativas: hacer más investigación y desarrollo tecnológico en esta línea —lo que debería considerarse una solución no deseable, por ser trivial— esperar a que el consumo de hidrocarburos los lleve a una escasez mundial con su inevitable aumento de precio. Si México, como país en desarrollo, descuida la investigación en nuevas tecnologías energéticas propias ahora que tiene petróleo, es razonable pensar que a su debido tiempo se encoentrará importando lo que otros desarrollaron previendo el futuro. Esto ya está empezando a suceder con la planta nuclear de Laguna Verde, Veracruz. Por otro lado, Alemania Federal, un país sin abundancia de energía solar, es de los que van a la vanguardia en el desarrollo de tecnología sofisticada para su aprovechamiento; el negocio se ve claro a futuro, dado que los países subdesarrollados por lo general cuentan con grandes cantidades de energía solar.

Desde el punto de vista tecnológico, la energía solar tiene dos inconvenientes inherentes a su naturaleza misma. Su carácter intermitente, de origen tanto astronómico —la secuencia día-noche, cuyo efecto es perfectamente predecible—, como meteorológico —la aparición de nublados, cuya magnitud y duración es de carácter aleatorio en un lugar y fecha determinados. Esta intermitencia restringe su uso a aplicaciones que puedan estar supeditadas a ella o, alternativamente, obliga a utilizar medios de almacenar energía para disponer de ella cuando se requiera, aunque en ese momento no haya luz

solar. La energía solar —la luz— como tal, no puede almacenarse y se requiere para esto transformarla en otro tipo de energía. Es común almacenarla como un efecto térmico (un fluído a alta temperatura en un recipiente aislado térmicamente) o como un efecto eléctrico (mediante el uso de acumuladores). Sin embargo, las técnicas usuales de almacenamiento suelen ser poco eficientes y se requiere más desarrollo tecnológico para mejorarlas.

Otra limitación de la energía solar, relacionada con la anterior, es su *baja intensidad*. Los diversos seres vivientes, vegetales o animales, distribuídos por todo el orbe, están por supuesto maravillosamente adaptados a la intensidad de la luz solar que corresponde a su situación geográfica. Sin embargo, cuando se trata de producir calor y especialmente trabajo mecánico, resulta ser una fuente de energía menos intensa de lo deseable o de lo que estamos acostumbrados. Aclaremos esto con un ejemplo: la cantidad de energía liberada por la combustión de un litro de gasolina, equivale aproximadamente a la energía solar que incide a lo largo de todo un día en un área de 1.6 m^2, o durante una hora cercana al medio día, en un área de 9.3 m^2. Para ciertas aplicaciones que requieren alta intensidad de energía y tienen baja capacidad de almacenamiento, como el automóvil, ésta es una severa limitación. Para salvar el problema se requiere también de más trabajo de investigación. Por otro lado, muchas de las necesidades energéticas del hombre no requieren altas intensidades de energía, y para ellas la energía solar es ya una solución técnicamente factible. Ejemplos de esto son el secado de madera, de alimentos, de ropa, etc., y la calefacción tanto de aire como de agua para usos domésticos, y en algunos casos, industriales. En estas situaciones resulta absurdo —desde el punto de vista ecológico, aunque no del económico— estar quemando los hidrocarburos, capaces de producir altas temperaturas, para la obtención de temperaturas medias que pueden lograrse fácilmente con energía solar y sin tecnología sofisticada.

Entre las aplicaciones de la energía solar que requieren tecnología muy simple se encuentra principalmente el secado de ropa, de adobe, de pescado y de algunos lodos industriales.

En el nivel intermedio de tecnología, dentro del cual se ha trabajado en varias instituciones nacionales, entre ellas el ITESO, se encuentran: la calefacción de agua para uso doméstico, con sistemas simples y adecuados para economías en crisis, hasta sistemas más complejos y confiables, apropiados para los estrictos requerimientos de la población urbana; la obtención de agua potable mediante destiladores solares, que parece ser una buena alternativa tanto rural como urbana; la refrigeración y obtención de hielo mediante energía solar, especialmente adecuada para áreas rurales carentes de energía convencional; el secado de madera y alimentos, que quizá sean de las aplicaciones más económicas, y por último, la climatización de la vivienda.

En niveles más avanzados de tecnología apropiada, algunas instituciones nacionales, principalmente la UNAM, el IPN la UAM y el IIE, han trabajado en la fabricación de fotoceldas (dispositivos capaces de convertir directamente la luz solar en corriente eléctrica); en almacenamiento eficiente de la energía térmica; en la generación de energía eléctrica mediante colectores eólicos y mediante procesos termodinámicos. Otros han hecho desarrollos experimentales sobre bombeo de agua, refrigeración a gran escala y desalación de agua en zonas costeras.

Si se hiciera más investigación y desarrollo tecnológico, la energía solar, con sus formas derivadas, sería capaz de surtir buena parte de la demanda nacinal de energía. Al utilizar esta energía estamos disponiendo únicamente de las utilidades, mientras que al emplear la energía convencional, estamos mermando un capital. Para los que defendemos la energía solar, la energía convencional y más aún la nuclear, representan un intento arrogante y agresivo por dominar la naturaleza, en tanto que el uso de la tecnología solar es un esfuerzo humilde y cordial por *hacer las paces* con ella.

NOTAS

1. Programa Nacional de Energéticos (PNE) Poder Ejecutivo Federal 1984-1988, p. 47.
2. Ibidem. p. 34.
3. SCHUMACHER, E.F. *Lo pequeño es hermoso.* Madrid, ed. Blume, 1986, p. 18