

El problema energético en el desarrollo global y la energía fotovoltaica

Luis Hernández

Facultad de Física. Universidad de La Habana. Cuba

El camino de la Humanidad siempre ha estado vinculado a las formas de generación y consumo de la energía. Desarrollar nuevas tecnologías energéticas más eficientes y en armonía con el medio ambiente constituye un fin de la Ciencia. Utilizando las energías renovables es posible progresar en el aspecto ecológico, económico, cultural y de justicia social empleando una política de colaboración ordenada, solidaria de la investigación y de la realización industrial. La energía fotovoltaica es parte esencial en esta estrategia.

1. Introducción

El progreso de la Humanidad, particularmente en los últimos dos siglos, ha estado vinculado estrechamente al consumo de energía. Desarrollo tecnológico y bienestar social implican mayor consumo energético, por lo que resulta obvio preguntarnos, ¿en que sentido evolucionará esta relación? La respuesta resulta trivial. El consumo cada vez creciente de energía no podrá ser satisfecho por las llamadas fuentes tradicionales basadas en los combustibles fósiles: carbón, gas y petróleo, por lo que estas fuentes deberán ser paulatinamente sustituidas por otras fuentes, que a su vez sean renovables.

La producción de energía tiene también fuerte implicación en la política medio ambiental, a nivel local, del país y mundial. También la estrategia energética condiciona las políticas nacionales e internacionales.

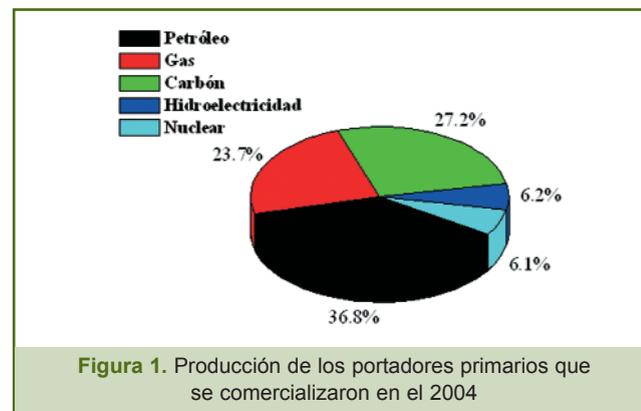
2. El consumo de los combustibles fósiles y el desarrollo global

Durante años hemos venido escuchando que el petróleo, y los demás combustibles fósiles, se agotarán, pero continuamos su explotación creciente como si tal sentencia fuera infundada. Muchos reportan cifras diversas de reservas probadas de combustibles fósiles, sin embargo es generalmente aceptado que el petróleo tiene reservas alrededor de 1×10^{12} barriles, el carbón 1×10^{12} toneladas métricas, $150 \times 10^{12} \text{ m}^3$ de gas y 3×10^6 toneladas métricas de uranio [1]. Los mercados internacionales de combustibles fósiles están atentos a las cifras de reservas, especialmente las probadas, defini-

das como combustibles fósiles que pueden recuperarse a partir de depósitos conocidos bajo las condiciones económicas y operativas actuales, y que han sido identificados por medio del análisis de información geológica y de ingeniería. Las reservas probadas se pueden clasificar como desarrolladas o no desarrolladas. El consumo promedio anual de petróleo constituye aproximadamente el 3% de la reserva probada. Muchos especialistas han diseñado modelos de cuando ocurrirá el "pico del petróleo", es decir el año en que la producción de petróleo sea máxima y después comience a declinar. Varios modelos coinciden que es entorno al año 2006 donde sobrevendrá el "pico del petróleo".

Por otra parte, el consumo anual de gas es equivalente al 1,6% de las reservas y la generación nuclear de electricidad agota por año el 2% de las reservas de uranio. Noticias de reservas probadas de combustibles fósiles continúan reportándose pero no están en ponderación con la explotación y el consumo. En lo que todos los científicos coinciden es que las reservas de combustibles fósiles deben permitirnos crear nuevas fuentes energéticas al tiempo que con el desarrollo de nuevas tecnologías se tiene que producir energía de manera mucho más eficiente.

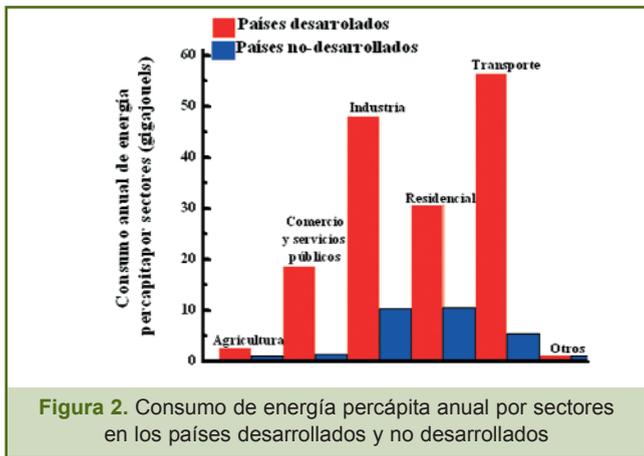
Las grandes reservas de combustibles fósiles se encuentran en países de escaso y mediano desarrollo tecnológico. El hecho de poseer petróleo, gas y/o carbón no es condición suficiente para lograr un desarrollo económico equilibrado en un país específico. Se requiere de una buena tecnología y de una estrategia energética adecuada, siendo los países más pobres deudores de ambas.



Un ejemplo de política energética a imitar, lo ha desarrollado Japón, que sin yacimientos de combustibles fósiles ha logrado desarrollar las nuevas fuentes renovables de energía unido a una gran eficiencia energética. Noruega –país con petróleo y grandes recursos hídricos– y Japón poseen índices de producto interno bruto por habitante comparables y de los más altos en el planeta, sin embargo el consumo de energía por habitante en Japón es un 40 % menor.

El consumo mundial de energía oscila en los 370 exajoules al año, el equivalente a 170 millones de barriles de petróleo diarios, siendo alrededor del 95% proveniente de los combustibles fósiles o hidroeléctricas. En la figura 1 se muestra el por ciento de la producción de los portadores primarios que se comercializaron en el 2004. La mayor parte de esta energía se emplea en producir electricidad a través de la combustión.

La energía es consumida fundamentalmente en cinco grandes sectores: la industria, el transporte, la agricultura, los servicios públicos y comercio, y el residencial. En figura 2 [1] muestra la distribución del consumo per cápita por sectores para los países que poseen tecnología y desarrollo y aquellos que no.

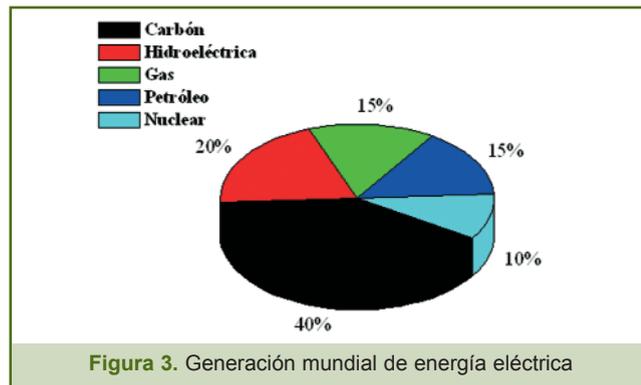


Lo primero que resalta en los datos de la figura es la gran disparidad que existe entre el consumo de energía per cápita anual de los países desarrollados y los no desarrollados. En dependencia del sector, el consumo de energía en los países industrializados es entre 3 y 14 veces el consumo de los países no desarrollados. En promedio cada persona en los países desarrollados consume el equivalente de 40 barriles de petróleo (o 220 gigajoules) al año, mientras que en los países no desarrollados el consumo equivale a 6 barriles de petróleo, el 15%. Más aún, en los países de mayor pobreza, el 10% de la población mundial, es decir más de 100 millones de habitantes, no alcanzan el barril anual. Tal extrema desigualdad tiene efectos muy nocivos en la salud del planeta.

Los datos también indican la gran dependencia de los combustibles fósiles en la producción de energía. Este panorama debe cambiar fuertemente en los próximos años, con la invención de nuevos materiales y tecnologías para desarrollar las fuentes no convencionales de energía. El sector industrial es alto consumidor de energía por existir una gran inercia en el cambio de tecnologías e infraestructuras que conllevarían a un incremento de las inversiones de capital,

pero el gran temor radica en la disminución de las ganancias para los propietarios.

Otro aspecto que resalta en figura 2 es la disparidad en el uso de energía per cápita en el transporte, así como que es el sector de mayor consumo en los países industrializados. La figura 3 [2] muestra en por cientos el consumo de combustibles fósiles en la producción de energía eléctrica, infiriéndose que el consumo mayor de petróleo va dirigido al transporte. Los países más desarrollados poseen una gran infraestructura en carreteras que lo hacen más competitivos y a la vez más consumidores de petróleo. La solución a futuro no está en la disminución de los automotores, si no en que ellos consuman portadores energéticos no provenientes de combustibles fósiles, en particular del petróleo, el cual debe reservarse fundamentalmente para desarrollar nuevas fuentes energéticas.



En los últimos 25 años el consumo mundial de petróleo, carbón y gas natural se incrementó aproximadamente en 20, 25, y 70%, respectivamente. Esto provocó que las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) aumentaran alrededor de un 35% debido a la quema de los combustibles fósiles lo que ha inducido degradación climática en el planeta. Durante 150.000 años el contenido CO₂ en la atmósfera se mantuvo en un valor constante de unas 270 partes por millón (ppm) incrementándose en la actualidad a 360 ppm. El dióxido de carbono atrapa los rayos infrarrojos que salen de la Tierra y es el responsable de que la temperatura de la superficie terrestre sea unos 31 grados más cálida que si no existiera. Esto ha tenido un efecto crucial en el desarrollo de la vida misma, ya que sin este efecto invernadero natural, la mayoría del agua terrestre sería hielo.

De igual manera, el consumo de los combustibles fósiles conlleva a un deterioro de la capa de ozono protectora de la atmósfera al producirse menores emisiones de gases invernaderos, tales como el mono-óxido de carbono, el metano, compuestos orgánicos volátiles, óxidos nitrosos, etc. Aunque las reservas de combustibles fósiles fueran inagotables, que no lo son, de todas formas la Humanidad tiene que replantearse la forma y distribución del consumo energético

Encrucijadas Encruzilhadas

para poder vivir en armonía con su hábitat. Tanto el incremento de las emisiones de CO₂ como la degeneración de los efectos de invernadero, no sólo están provocando un aumento de la temperatura media global del planeta si no que se han creado condiciones climáticas extremas que generan el incremento de los huracanes, tornados, prolongadas sequías, lluvias torrenciales, desbordes de ríos, con un deterioro de los ecosistemas y la productividad agrícola en menoscabo del bienestar de la Humanidad.

Las energías hidroeléctrica y nuclear presentan también serios problemas ambientales y altos costos sociales que limitan su utilización. La energía hidroeléctrica puede alcanzar una saturación en su empleo, al represar todos los posibles ríos, pero también provoca serios daños al hábitat la construcción de represas que eliminan regiones de cultivos y ganadería e incluso comunidades de población. La energía nuclear constituye una amenaza constante a la vida de los humanos y el deshacerse de la basura radiactiva constituye un elevado costo y no es un problema resuelto.

La Humanidad se presenta al reto de: ¿existen suficientes recursos para acabar con la pobreza, alcanzar un desarrollo social y económico significativo para la mayor parte de la población mundial, proteger el medio ambiente y conservar al mismo tiempo las comodidades y ventajas que ha aportado la tecnología moderna? Para responder afirmativamente esta pregunta, se necesita en primerísimo lugar un cambio radical de los paradigmas de consumo, en donde la educación ha de jugar un papel predominante. Pero también, llevar a cabo políticas promotoras de investigación y desarrollo que permitan el progreso de nuevas tecnologías más eficientes en el consumo de la energía. Otro aspecto muy importante es la inversión de capitales, en una primera etapa, de las nuevas fuentes renovables de energía que deben sustituir a los combustibles fósiles. ¿Es utópica la posibilidad de un sistema energético basado en fuentes renovables? Por supuesto que no, más aún, es imprescindible esa transición para la supervivencia de la Humanidad. Ese tránsito ha comenzado pero debe intensificar su ritmo y para ello se necesita financiamientos que provengan fundamentalmente de los países desarrollados imponiendo, por ejemplo, impuestos a las transnacionales de la energía y a las corporaciones militares.

Las transiciones de las fuentes energéticas ya han ocurrido en otras etapas, la leña y el carbón vegetal que durante milenios se utilizaron como portadores energéticos fueron sustituidos por la hulla entre 1750 y 1830, y después la hulla fue sustituida por el petróleo a partir de los finales del siglo XIX. La situación actual es más complicada porque la población mundial en el siglo XX se incrementó en ¡6 veces!, una tasa de crecimiento nunca antes alcanzada e hizo que los habitantes en el planeta sobrepasaran la cifra de 6000 millones. Por lo tanto ahora se necesita mucho más

energía para satisfacer las necesidades de la población mundial.

Lo expuesto hasta aquí hace evidente que uno de los grandes temas de la Ciencia lo constituye la energía y encontrar fuentes alternativas uno de sus objetivos centrales. La solución del problema energético presupone además que las nuevas fuentes sean compatibles con el medio ambiente y permitan un desarrollo sostenible para la humanidad. Entre las propuestas de las nuevas fuentes de energías, el Sol ocupa un lugar de extraordinaria importancia, por lo que se refiere a la cantidad de energía que recibimos de él, así como a las posibilidades concretas de aplicación directa e indirectas de la tecnología solar: calentamiento de agua, destilación, secado de productos agrícolas, cocina, refrigeración y climatización, iluminación, conversión en energía eléctrica y biomasa. Todas estas tecnologías tienen una incidencia directa en cualquier país que reciba una adecuada radiación solar promedio anual, y muy en especial en los países en vías de desarrollo, por lo general situados geográficamente en zonas de alta insolación.

3. La energía fotovoltaica

El Sol posee una densidad de energía promedio sobre la atmósfera terrestre de 1,367 W/m² –valor conocido como constante solar– cuyo espectro corresponde al del cuerpo negro a 5627 K. Sin embargo después de atravesar la atmósfera y debido a la absorción, reflexión, difusión, etc., este valor se reduce en la superficie terrestre a nivel del mar a 1,0 KW/m². Si consideramos que la superficie proyectada de la Tierra es aproximadamente 1,24.10¹⁴ m² entonces la potencia recibida por la Tierra, proveniente del Sol, es aproximadamente 1.24 × 10¹⁴ KW, que representa alrededor de 35000 veces el consumo mundial en un año, y es 500 veces mayor que el equivalente energético suministrado por todas las demás fuentes de energía. Con la energía solar que recibe la península Arábiga, zona geográfica donde radican las mayores reservas, cada año se obtiene el doble del equivalente energético de las reservas mundiales de petróleo. La superficie de la Tierra recibe en 30 minutos una cantidad de energía solar equivalente al consumo energético mundial en un año.

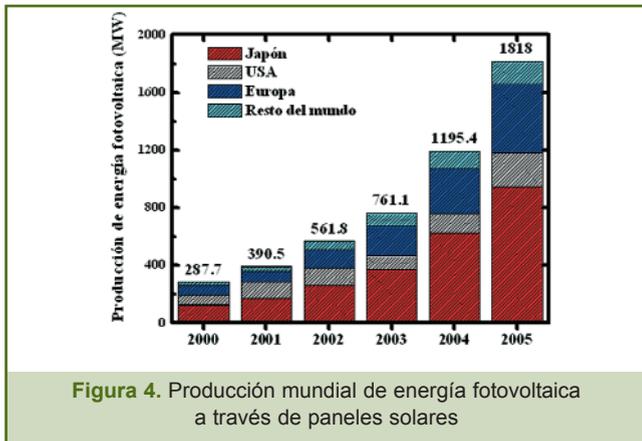
En la actualidad los problemas en el desarrollo de la energía solar a escala tecnológica son:

- Por tratarse de una tecnología relativamente nueva, no existe la suficiente cultura y conocimientos respecto a su capacidad y utilización.
- Las instalaciones solares (en gran parte de los casos) no son fáciles de obtener de manera comercial y a gran escala.
- El costo inicial de la instalación es alto si se compara con sus similares.

- A diferencia de los combustibles fósiles, su uso en el transporte es actualmente complicado.

Los problemas señalados son compensados ampliamente por las siguientes ventajas de la energía solar:

- Es una tecnología madura y aceptada internacionalmente.
- Es altamente confiable. El sol es una fuente limpia, inagotable y de acceso libre.
- Posee bajos costos de operación y de mantenimiento.
- Es la mejor opción en fuentes de energía renovable para introducir en el ámbito urbano.
- En muchos casos no posee partes móviles.
- Permite un diseño modular.
- Es aplicable en los más diversos sitios y para muy diferentes usos.
- Fácil de producir a escala masiva y de instalar.
- Es una tecnología que permite generar empleos y un desarrollo industrial sustentable.
- Es el modo más accesible de proveer de energía a los miles de millones de personas sin electricidad en el mundo.



Dentro de las diferentes variantes de energías solares la fotovoltaica es la única que se convierte directamente en electricidad y a las ventajas anteriores se le añade que no utiliza agua, es versátil, silenciosa, se instala fácilmente, incluso por partes, generando energía inmediatamente y en la actualidad tiene poco riesgo tecnológico.

Un reflejo del incremento de la industria fotovoltaica se muestra en la figura 4 [3]. En el 2005, la producción alcanzó 1818 MW, que comparada con la del 2000 representa un incremento del 288 %. La producción de energía fotovoltaica a través de la fabricación de paneles solares, aumentó exponencialmente durante los últimos quince años, siendo el Japón el país líder y dentro de la Unión Europea, el país que avanza a la vanguardia es Alemania. Ambos países han

basado su crecimiento en un adecuado balance de los programas de investigación y desarrollo unido a una acertada política fiscal que incentiva el uso de energías provenientes de fuentes renovable. También el incremento se ha debido a que las instalaciones fotovoltaicas han sido conectadas a la red, siendo éste un gran avance en su uso y proliferación, ya que supera uno de los factores más criticado a la energía fotovoltaica: su almacenamiento. También es posible observar como en el período de 2000-2005, Estados Unidos de Norteamérica incrementó su producción pero a un ritmo muy lento, aunque se espera un cambio de política favorable a la industria fotovoltaica en los próximos años. La producción de energía fotovoltaica en los países no desarrollados no representa nada sustancial por carecer de tecnologías, capitales y políticas adecuadas a pesar de que en su mayoría poseen abundante insolación. Las grandes transnacionales del petróleo son las que invierten en las nuevas tecnologías fotovoltaicas manteniendo de esta forma el monopolio de la energía y repitiendo en la fotovoltaica la experiencia en la explotación del petróleo, en donde los países con reservas petroleras no han desarrollado industrias para la extracción eficiente.

Una desventaja importante que debe resolver la energía fotovoltaica es su costo. A finales de la década pasada se decía que la energía fotovoltaica se convertiría competitiva cuando el kW-h de energía eléctrica descendiera del umbral de US \$ 0.10, pero en la actualidad con el aumento desmedido del precio del barril de petróleo es imposible anunciar un pronóstico. En la actualidad, el precio del kW-h fotovoltaico es de 6 a 10 veces superior al precio del kW-h producido por medios convencionales, sin embargo, con el incremento de los volúmenes de producción de la energía fotovoltaica se reducen de manera importante los costos. La construcción de plantas de 10-20 MW de energía fotovoltaica que se están fabricando y conectadas a la red, también hace disminuir los costos. A este punto, es importante resaltar la descentralización que se logra en la entrega de la energía a través de las instalaciones fotovoltaicas. Un gran aporte de la tecnología reciente ha sido la telefonía que ha desechado los cables de cobre para la transmisión fónica, alcanzando la distribución de las comunicaciones a nivel personal, ¿por qué entonces no soñar que la energía podrá transitar por el mismo camino?

Otra alternativa importante es la disminución de los costos de producción del silicio, material del cual se producen casi el 90% de las celdas solares con la que se fabrican los paneles. Obtener silicio grado solar barato y abundante es el principal objetivo para la disminución del precio del kW-h fotovoltaico.

El incremento en la energía de conversión de las celdas solares es otro camino en la disminución de los costos. La figura 5 [4] muestra el pronóstico del precio del watt fotovoltaico.

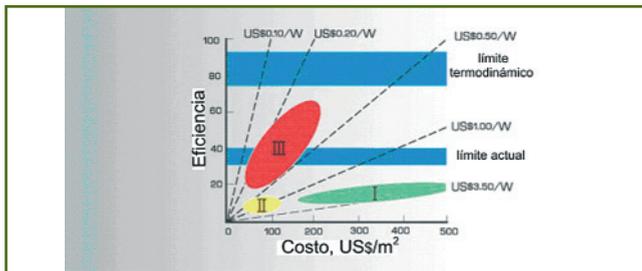


Figura 5. Pronóstico del precio del watt fotovoltaico como función de la eficiencia y del costo del material, para tres grupos diferentes de celdas solares: I, Si mono y policristalino volumétrico; II: láminas delgadas y III de alta eficiencia.

co que puede obtenerse como función de la eficiencia y del costo por área del material con que se producen las celdas solares. Tres diferentes grupos de celdas solares se destacan, el denominado por I, lo constituyen las celdas solares en base a Si volumétrico mono y policristalino, y con eficiencias cercanas al 20% y costos del material entorno a 350 US\$/m² se alcanzan precios del watt fotovoltaico por debajo de los US\$ 3.50. Las celdas solares fabricadas en base a películas delgadas –designadas por grupo II– poseen un costo menor por área, al utilizar menos material, y aunque poseen una eficiencia menor que el grupo I, el costo del watt fotovoltaico puede llegar a disminuir hasta 1 dólar estadounidense. Las prometedoras celdas de alta eficiencia constituyen el tercer grupo con las cuales se espera estar alrededor de US\$ 0.20 el watt fotovoltaico. En la actualidad, para producir las celdas solares de alta eficiencia generalmente se emplean las nano-tecnologías, que junto a la energía son dos

temas de primordial importancia en la Ciencia y muy particular para la Física. Las celdas solares basadas en nano-tecnologías presentan un futuro prometedor y teóricamente se ha demostrado que pueden alcanzar eficiencias bien altas [6].

4. Conclusiones

Resumiendo se puede enfatizar que el problema energético es esencial en el desarrollo de la Humanidad, encontrar nuevas tecnologías más eficientes y fuentes renovables en armonía con el medio ambiente constituye una fin de la Ciencia. Las energías renovables establecen el camino para que el mundo pueda crecer en el aspecto ecológico, económico, cultural y de justicia social utilizando estrategias basadas en una colaboración correcta y solidaria tanto en el campo de la investigación como en el campo de la realización industrial. La energía fotovoltaica es parte importante en esta estrategia.

Referencias

- [1] JEFFRY CHOW, RAYMOND J. COP, PAUL R. PORTNEY. Energy resources and global development. *Science*, **302**, 1528, 2003.
- [2] Putting Energy in the Spotlight, *BP Statistical Review of World Energy*, June 2005, page 38.
- [3] PAUL MAYCOCK. PV News, march, 2005.
- [4] MARTIN GREEN. Third generation photovoltaics: solar cells for 2020 and beyond. *Physica E*, **14**, 65, 2002.
- [5] J. C. RIMADA, L. HERNÁNDEZ, J. P. CONNOLLY AND K. W. J. BARNHAM. Quantum and conversion efficiency calculation of AlGaAs/GaAs multiple quantum well solar cells. *Physica Status Solidi* **242**, 1842, 2005.