

SITUACION ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA ENERGIA SOLAR EN MEXICO

Ignacio GALINDO*

RESUMEN: En comparación con otros países, México es un país excepcionalmente dotado pues cuenta con una potencia solar considerable que ofrece grandes posibilidades como fuente de energía alternativa, que contrariamente a otros recursos como el petróleo, no presentan la posibilidad futura de agotamiento. El presente artículo se propone mostrar el actual estado de desarrollo de la investigación sobre energía solar y sus perspectivas.

El precio del petróleo crudo ha sido fijado de muy diversas maneras a través del tiempo. Hasta antes de la llamada crisis de energéticos de 1973, eran las empresas petroleras las que, en forma unilateral, lo establecían considerando solamente algunos aspectos económicos como costo de extracción, impuestos pagaderos al país productor, gastos de transporte, etcétera. La Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) decidió ese año fijar el precio e incluyó, además de los factores anteriores, otros de tipo político y técnico. Así, en el precio debía reflejarse que los recursos fósiles son finitos, sus reservas se agotan y deben ser, en consecuencia, racionalmente aprovechados para servir al desarrollo del país productor. Por otra parte, los diferentes tipos de petróleo, según sus diversas características físicas y aplicaciones, determinan la necesidad de precios diferenciales referidos al llamado *crudo de referencia* que por convención se acor-

* Director e Investigador Titular del Instituto de Geofísica de la UNAM.

dó fuera el *ligero* producido por Arabia Saudita. Los precios se han incrementado cinco veces desde 1973.¹

A pesar del aumento en los precios del crudo, se espera, sin embargo, que la demanda de energía para el periodo 1985-2020 sea de tres a cuatro veces el consumo actual siempre que el crecimiento económico promedio se mantenga similar al estimado en los anteriores cincuenta años y se tomen medidas eficaces para incrementar la eficiencia de utilización de la energía.²

El aumento en la demanda de todas las formas de energía primaria: petróleo crudo, carbón, gas natural, etcétera, obliga a una política de sustitución por otros combustibles. Un papel importante en esta política de sustitución la jugarán la energía eléctrica y la nuclear, esta última en su explotación como productora de electricidad. Ante esta realidad, los países industrializados han atribuido gran importancia a la búsqueda de fuentes no convencionales de energía tales como la energía solar.*

Las bases científicas para la utilización de la energía solar han sido sólidamente fundamentadas ya desde hace algunos años, pero hasta recientemente no se les consideró tecnológicamente realizables para su aplicación en gran escala.³ Es propósito de este artículo mostrar cuál es la interacción actual y las perspectivas en energía solar en nuestro país. Antes de presentar este análisis, conviene aclarar algunos aspectos generales de índole política y económica que jugarán papel importante en la explotación de este recurso inagotable, constante y no contaminante.

Inicialmente debemos señalar que la importancia de los aspectos mencionados reside en las relaciones económicas y políticas entre los países industrializados y los del Tercer Mundo.

Desde el punto de vista geográfico, los países pobres tienen, en general, un mayor potencial de energía solar por su ubicación entre las latitudes medias y el Ecuador. Las relaciones futuras entre los

¹ Comisión de Energéticos. "Energéticos". *Boletín Informativo del Sector Energético*, Núm. 1, México, 1977, pp. 1-4.

² *Idem*, Núm. 2, 1978, pp. 1-12.

* Entendemos por energía solar toda aquella energía que *recientemente* se ha originado en el Sol. Incluye formas directas e intermedias de energía solar tales como energía hídrica o hidroelectricidad, viento, procesos fotosintéticos, desechos orgánicos, gradientes térmicos del océano y otros. Aunque si bien carbón, petróleo y gas resultan de la fotosíntesis que ocurrió hace millones de años, a ellos se les llama combustibles fósiles y no energía solar. La diferencia estriba en que la energía solar es renovable mientras que la energía de fósiles no lo es.

³ Palz, W. *Solar Electricity*. UNESCO, Butterworths Londres, 1978.

países poseedores de una tecnología avanzada para la explotación de la energía solar —ubicados en países de baja insolación— y los países pobres —ricos en radiación solar pero sin posibilidades de utilizar esta fuente de energía— determinarán modalidades de sujeción política y económica.

Hasta tiempos muy recientes, la mayor parte de los países pobres buscaron ansiosamente pasar a la era del petróleo con sus aviones, tractores diesel y automóviles, es decir, tratando de alcanzar su desarrollo mediante la adquisición de tecnologías sofisticadas importadas de los países desarrollados. El incremento de cinco veces en los precios del petróleo desde 1973, garantiza virtualmente que el Tercer Mundo nunca derivará del petróleo la mayor parte de su energía, aumentando así la dependencia económica entre unos y otros.

En el pasado, las transformaciones de las fuentes de energía invariablemente producían cambios sociales de gran alcance. La sustitución de la madera y el viento por el carbón, en el siglo XVIII en Europa, por ejemplo, aceleró la revolución industrial. Más tarde, el cambio al petróleo alteró la naturaleza de los viajes reduciendo las escalas de tiempo del planeta y dio nueva forma a las ciudades. La cantidad de energía al alcance, independientemente de su forma de transportación, puede, a la larga, probar ser menos importante que dónde y cómo es obtenida la energía.

Las sugerencias actuales que los países industrializados hacen a los países pobres es de utilizar la energía solar con fines rurales exclusivos mediante la aplicación de las llamadas tecnologías adecuadas, ambientes rurales, tecnologías de pequeña escala, etcétera, todas ellas sinónimos de aplicaciones baratas, populistas y decisivamente de tecnología simple.^{4 5} Alternativamente los proyectos de conversión de la energía solar a electricidad por ejemplo, para aplicación industrial de gran escala, similares a la aplicación de la energía nuclear para generar electricidad se mantienen, mediante costos inaccesibles, lejanas para los países pobres.⁶

Una política energética nacional sana en materia de energía solar, debe contener tanto las tecnologías rurales de aplicación inmediata y bajo costo, como las aplicaciones más sofisticadas a la industria, de

⁴ Brown, N. L. and Howe, J. W. "Solar Energy for Village Development". *Science*, 199, 1978, pp. 651-657.

⁵ National Academy of Sciences. *Energy Rural Development. Renewable Resources and Alternative Technologies for Developing Countries*, Washington, DC, 1976, 307 pp.

⁶ Hayes, D. "La energía solar". *Ciencia y Desarrollo*, Núm. 17, CONACYT, México, 1977, pp. 41-46.

costos relativamente elevados pero de alta rentabilidad. Actualmente, la política energética nacional se centra en los hidrocarburos, los cuales generan el 90% de la energía producida. Existen reservas suficientes para llegar al próximo siglo pero, indudablemente, aunque el petróleo juega un papel importante como elemento de negociación, debe seguirse una política de sustitución de las fuentes primarias de energía.

Para incorporar de manera importante, en el orden cuantitativo, la energía solar como energía de sustitución parcial, desde ahora se debe impulsar la investigación básica y tecnológica en esta materia en todas sus aplicaciones posibles mediante una programación racional. En la última reunión de la Región IV (Canadá, Estados Unidos, México y países del Caribe) de la Organización Meteorológica Mundial, celebrada en la ciudad de México durante abril del año pasado, se comprobó que existen en nuestro país actualmente cuando menos 10 grupos académicos trabajando en energía solar realizando (salvo honorables excepciones) duplicaciones innecesarias en líneas de investigación.⁷ Este aspecto común tiene diversas explicaciones: La más simple de ellas, se refiere al hecho de que es relativamente fácil reproducir sistemas de calentamiento y enfriamiento por energía solar ya que las tecnologías involucradas son de fácil acceso; más importante es, sin embargo, el hecho que no existe una coordinación nacional que mediante una programación con metas a corto, mediano y largo plazo, conlleve la investigación científica a la adquisición de tecnologías que se apliquen escalonadamente tanto al campo como a la industria.

La coordinación requerida debe no abarcar solamente los aspectos científico-tecnológicos sino estudios de tipo costo-beneficio e incluso estudios sociológicos encaminados hacia la factibilidad de la economía nacional. Dentro de las posibilidades actuales de la energía solar se encuentran los procesos térmicos solares. Estos procesos bombean agua por irrigación, producen vapor para la industria, generan electricidad para instalaciones pequeñas y aún, suplen calor para calentamiento. De una manera general, podemos considerar que las aplicaciones más importantes de estos procesos se ubican en aquellas industrias cuyos sistemas industriales requieren de calor a temperaturas no mayores de 300°C.

Es necesario conocer cuáles son las necesidades del mercado potencial para estos procesos llamados sistemas de temperatura intermedia. La industria alimentaria, la de textiles y la de la química son

⁷ Organización Meteorológica Mundial. VII Reunión Asociación Regional IV, México, abril 1977.

sólo algunos ejemplos de áreas en donde se pueden aplicar los procesos térmicos solares, sin embargo, no hay una comunicación entre la investigación que se realiza en esta línea y el mercado potencial nacional. Aquí cabe señalar otro aspecto de tipo económico, que refiere a si la implantación de una tecnología es rentable o no o si la inversión inicial es de alto costo o no. Este hecho debe considerarse desde dos puntos de vista, primeramente si el promotor de tecnología es la empresa privada o lo es el Estado. La industria lanza un producto a la circulación en función de las relaciones de mercado, mientras que el Estado aplica la tecnología para satisfacer una necesidad social que puede tener dimensiones locales, regionales o aún nacionales. Citaremos un ejemplo para ilustrar mejor este aspecto: Existen numerosas comunidades agrícolas que cosechan maíz temporalero; éste se deja secar *in situ*, generando tierras ociosas aún cuando las lluvias son importantes, el problema puede resolverse secando el maíz con una batería de secadores solares, cuyos tiempos de secado son mucho más cortos, su tecnología es simple y el maíz no se parasita. Las dimensiones de los aparatos serán en función de la producción esperada, el beneficio podrá ser individual si se usan módulos familiares o, más económicamente, es posible diseñar módulos para toda la colectividad. Obviamente, este ejemplo demanda una solución previa por parte del Estado.

Dentro de la coordinación mencionada debe buscarse una amplia vinculación entre la comunidad científica, el sector público y la empresa privada. En el Programa Nacional de Ciencia y Tecnología 1978-1982 del CONACYT,⁸ se aprecia que no hay correlación entre los proyectos propuestos por la comunidad científica y aquellos del sector público. El organismo facultado para coordinar y vincular los diversos sectores es el CONACYT, que ya ha ejercido acciones en este sentido mediante la financiación parcial de ciertas investigaciones, aunque se siente la necesidad de un impulso mucho mayor. Financiar un proyecto puede ser importante, pero aún más trascendente sería aplicar los resultados obtenidos para la solución de problemas específicos en los diversos sectores de la economía nacional.

La política nacional de sustitución en materia de energéticos para los próximos 25 años deberá contener, desde ahora, un plan de desarrollo que mantenga la vinculación entre la investigación y la aplicación real de tecnologías factibles tanto en el campo como en la industria.

⁸ CONACYT. Programa Nacional de Ciencia y Tecnología 1978-1982, México, 1978, pp. 15-20.

Aspectos tecnológicos

Las múltiples aplicaciones de la energía solar se pueden agrupar, para fines generales de estudio en cuatro grandes áreas: Conversión a electricidad, combustibles, conversión térmica (calentamiento y enfriamiento) y aplicaciones directas.

De acuerdo con Hayes⁹ el desarrollo completo de las diferentes aplicaciones se realizará en diferentes regiones. Así, la intensidad del viento, mayor en las zonas de clima extremo, tendrá allí su mayor potencial; la biomasa* será más fácilmente desarrollada en los trópicos; mientras que en los desiertos, relativamente libres de nubes, la radiación solar directa tendrá su mejor aplicación. Finalmente, el potencial hidráulico, dependiente en gran parte de la precipitación pluvial, se desarrollará principalmente en las zonas boscosas o montañosas.

Las consideraciones anteriores contradicen el enfoque que, por varios años, ha caracterizado al programa americano de energía solar. Ésta se basa en la idea de grandes estaciones centrales productoras de electricidad «solar», a imagen de las nucleoelectricas.¹⁰ Este programa no contiene prácticamente proyectos significativos para desarrollar la energía solar como fuente de combustibles y sólo una porción modesta para su conversión en calor. Al parecer, los grandes proyectos de ingeniería diseñados principalmente por las compañías aeroespaciales —que dominan gran parte del programa— tienen como finalidad solamente la utilidad industrial, dejando de lado a los individuos o comunidades como últimos usuarios y consumidores de los productos de la energía solar.

En contraste con la posición anterior, existen actualmente en ese país cientos de pequeñas compañías que manufacturan piezas de equipos solares. El número de las casas calentadas con energía solar construidas en los Estados Unidos se duplica aproximadamente cada 8 meses desde 1973 y la tendencia muestra que continuará aumentando.

Los 290 millones de dólares que invirtió el gobierno americano en investigación sobre energía solar durante el gasto federal de 1977, representan sólo una inversión de un medio con respecto a la de

⁹ Hayes, D. "La energía solar", *Ibid.*

* Se entiende por biomasa a la conversión química por acción de los microorganismos y de radiación solar, de los desechos humanos, animales y vegetales en combustibles gaseosos o líquidos, por ejemplo la producción de metano, alcoholes, acetona, etcétera.

¹⁰ Hammond, A. L., and Metz, W. D. "Solar Energy Research: Making Solar after the Nuclear Model?". *Science*, 197, 1977, pp. 241-244.

nuevas tecnologías de carbón y sólo una fracción pequeña de la correspondiente a la energía nuclear. Esto es debido a que aún dentro de la Administración para la Investigación y Desarrollo de la Energía (ERDA) y en niveles altos gubernamentales se considera el potencial de energía solar con escepticismo. Obviamente, estas opiniones están ampliamente apoyadas por las grandes compañías petroleras y eléctricas.

Al parecer, la misma idea de centralización de los captadores de energía solar proviene de los círculos industriales americanos. Opuesto a esta preconcepción se encuentra un informe muy interesante de la Oficina del Congreso sobre Evaluación de Tecnología (OTA), en que se concluye que, en los próximos 10-15 años, los equipos solares pequeños de sólo algunos *Kilowatts* serán tan eficientes en generar energía eléctrica como los de instalaciones grandes y además competitivos en precio.

Otros análisis realizados en la Gran Bretaña¹¹ indican que una red nacional de pequeñas turbinas movidas por viento proveen la mejor combinación de fuente potencial de energía con demanda y que serán competitivas con estaciones generadas por carbón o energía nuclear. Es decir, estos investigadores concluyen de una manera similar al informe de la OTA.

Tendencias para México

En relación a México, se dispone de pocos estudios de mercado, y estos^{12 y 13} le dan mucho peso a la energía nuclear resultando con ello que en la sustitución tecnológica la energía solar juega un papel muy discreto; por ejemplo E. López Vancell y C. Vélez Ocón,¹⁴ suponen que la energía solar entra al mercado en el año 2000 con una aportación de sólo 1% dándole a la vez un crecimiento demasiado rápido, de tal suerte que para el año 2020 ésta ocupará el 10% (véase el cuadro 1).

¹¹ Page, J. K. and Archer, M. *Solar Energy*. International Solar Energy Society. United Kingdom Section, 1974.

¹² López Vancell, E. "Uso del hidrógeno como energético". Tesis Profesional, Facultad de Ciencias-UNAM, México, 1977.

¹³ López Vancell, E. y Vélez Ocón, C. "Proyecciones del Mercado de la Energía en México". *Boletín IIE*, Núm. 1, 1977, pp. 5-9.

¹⁴ *Ibid.*

CUADRO 1

DEMANDA NACIONAL DEL MERCADO TOTAL DE
ENERGÉTICOS PARA EL AÑO 2000*

| <i>Energía Primaria</i> | <i>Consumo anual (Billones de kcal)</i> | <i>Fracción del mercado</i> |
|-------------------------|---|-----------------------------|
| Crudo | 506 | 0.151 |
| Gas | 2 045 | 0.610 |
| Carbón | 290 | 0.086 |
| Fisión | 168 | 0.050 |
| Hidráulica y Geotermia | 312 | 0.093 |
| Solar | 33 | 0.010 |
| Totales | 3 354 | 1.000 |

* Tomado de López Vancell E. y Vélez Ocón, C. "Proyecciones del Mercado... , *op. cit.*

La concepción de la construcción de pequeñas unidades productoras de energía implica la integración entre diferentes tecnologías solares y las necesidades de energía para lo cual éstas fueron acopladas. El almacenamiento es un problema con muchos de los sistemas solares, sin embargo, los combustibles producto de la biomasa pueden proveer el almacenamiento de energía, o en el cual la necesidad para almacenar se desecha al utilizar la energía solar conjuntamente con otra fuente de energía. Las combinaciones de los sistemas solar-carbón y solar-hidroeléctrico son posibilidades reales de aplicación inmediata, asimismo existen evidencias de que la radiación solar directa y la energía del viento se podrán complementar satisfactoriamente.

De hecho, las tendencias en los Estados Unidos¹⁵ muestran que la energía eólica dominará a las otras fuentes renovables debido a que su mercado potencial es mayor, por otra parte, la biomasa tiene la ventaja de que su producción puede ser acelerada rápidamente. En el cuadro 2, se presenta una cuantificación sobre las posibilidades de desarrollo de las diferentes tecnologías solares.

Los argumentos anteriores indican que la sustitución energética es ya técnicamente viable y si en los 50 años venideros no se alcanza la sustitución de los hidrocarburos, con toda seguridad lo que interfiere sería de índole política, no técnica.

¹⁵ Metz, W. D. "Solar Energy: Unsung Potential for Wind and Biomass". *Science* 200, 1978, p. 636.

CUADRO 2

CLASIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS SOLARES SOBRE
LA BASE DE 1 000 PUNTOS POSIBLES*

| <i>Año</i> | <i>1985</i> | <i>2000</i> | <i>2020</i> |
|-------------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|
| Procesos Térmicos | 79 | Procesos térmicos | 86 |
| Biomasa | 68 | Viento | 78 |
| Viento | 67 | Biomasa | 49 |
| Fotoceldas | 21 | Fotoceldas | 36 |
| Potencia térmica | 12 | Gradiente térmico de los Océanos | 17 |
| Industria/ Agricultura** | 10 | Potencia térmica | 16 |
| Gradiente térmico de los Océanos*** | 1 | Industria/ Agricultura | 11 |
| | | Gradiente Térmico de los Océanos | 40 |
| | | Potencia térmica | 35 |
| | | Industria/ Agricultura | 21 |

* Tomada de Metz, W. D. "Solar Energy... , *op. cit.*

** Se refiere a aplicaciones directas a la industria y/o agricultura.

*** Los océanos cubren aproximadamente 70% de la superficie del globo, en los trópicos su extensión es considerable; gran parte de la radiación solar incidente es absorbida por el agua del mar. En la superficie del océano, el agua caliente circula de los trópicos hacia los polos, en el fondo oceánico, la circulación se invierte, agua fría de los polos circula hacia el Ecuador. En los trópicos, la temperatura del agua es 5°C a una profundidad de 1 000 m, en la superficie, es casi constante y cercana a los 25°C. Esta diferencia de temperaturas forma el gradiente térmico del océano (gro). Se han hecho investigaciones con objeto de extraer el gro en varios lugares del mundo: Mar Caribe, África, etcétera (ver Palz, W. *Solar Electricity, op. cit.*), es decir, en mares tropicales.

Las contradicciones actuales que se presentan en los Estados Unidos en materia de energéticos son avisos de lo que muy en breve ocurrirá en México de no tomarse las medidas apropiadas. Es decir, la investigación debe orientarse hacia el desarrollo de equipos de escalas intermedias que produzcan energía de utilización en comunidades o industrias pequeñas. La centralización de la energía es, por su costo, inalcanzable; por otra parte, la disponibilidad de los recursos solares permite desarrollar módulos energéticos acordes a las condiciones del lugar, evitándose así el problema de distribución del energético.

Desde el sexenio pasado el gobierno mexicano, por medio del programa Tonatiuh de la subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente,

impulsó la instalación de 10 bombas solares de tecnología francesa con fines de irrigación en diferentes partes del país. La potencia de las bombas solares de extracción de agua es variable, así la bomba instalada en Ceballos, Dgo., tiene 1 Kw* de potencia y es capaz de extraer agua a una profundidad de 30 m, mientras que la instalada en San Luis de la Paz, Gto., que es la mayor, tiene una potencia de 33 Kw.¹⁶ Actualmente, existe un proyecto de la Dirección de Aguas Salinas de la SAHOP para construir, mediante técnica alemana, un centro autosuficiente en energía en un poblado pequeño de Baja California.

La comunidad científica, por su parte, ha logrado, en los últimos años algunos resultados interesantes que cabe destacar:

Desde 1957 se ha medido en Ciudad Universitaria, casi ininterrumpidamente la radiación solar y sus diversos componentes. También se han construido instrumentos para medir a esta energía. Las metodologías y tecnologías desarrolladas son totalmente originales.

En el Centro de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional se ha desarrollado la tecnología de conversión fotovoltaica de energía solar a energía eléctrica.¹⁷ Estas tecnologías necesitan ser llevadas al nivel de producción industrial para su aplicación inmediata en la solución de diversos problemas, un esfuerzo para encaminar esta tecnología al nivel de aplicación a la solución de diversos problemas lo ha buscado el CONACYT por medio de su Compañía Mexicana de Tecnología, cuya misión es buscar mercado a aquellos productos (tecnologías, metodologías, etcétera) desarrollados en las instituciones nacionales de investigación científica. En principio, Mexicana de Tecnología debe ser el puente entre la investigación realizada y el usuario de la misma. La utilización masiva de las celdas fotovoltaicas del IPN para generar electricidad abre la posibilidad de proporcionar el suministro continuo de electricidad en las miles de comunidades de menos de 1 000 habitantes que existen diseminadas en todo el país. Es pues recomendable hacer estudios económicos de factibilidad del uso de las celdas fotovoltaicas en comparación con el tendido de líneas eléctricas. De antemano se puede asegurar que habrá poblados enclavados en la montaña en donde tender cableado es a todas luces incosteable. Los autores de esta tecnología¹⁸ consideran que aún cuan-

*1 Watt es la cantidad de energía producida en un segundo, equivale a 239 calorías/seg.

¹⁶ Palz, W. *Solar Electricity*, op. cit.

¹⁷ Pérez, J. E. y Del Valle, P. J. L. "Conversión fotovoltaica de la energía solar a energía eléctrica". *Boletín IIE*, Núm. 2, 1978, pp. 4-14.

¹⁸ Pérez, J. E. y Del Valle, P. J. L. "Conversión fotovoltaica...", op. cit.

do la electrificación rural por medio de conversión fotovoltaica sea factible, sin embargo, los costos actuales de 15-20 dólares/Watt pico* tendrían que ser reducidos a valores de 0.5 dólares/Watt pico para que fueran competitivos con otras fuentes tradicionales de energía. Por otra parte, los costos de las celdas fotovoltaicas en los Estados Unidos tienden a bajar, por ejemplo, se considera que para 1980 estarán disponibles sistemas fotovoltaicos costando 1-2 dólares/Watt pico.¹⁹ Al parecer esta contradicción revela que el costo de producción en México todavía es desventajoso, obviamente, la solución del problema dependerá de la relación oferta/demanda, es decir, aquí es donde Mexicana de Tecnología deberá impulsar su mercado.

El potencial nacional de energía solar

Para hacer estimaciones del potencial de energía solar de una región, se requiere de series largas de mediciones del campo de radiación atmosférica en la superficie. Con objeto de obtener datos representativos, la Organización Meteorológica Mundial recomienda un área de 500 Km² como máximo para cada estación de radiación solar. Para cubrir uniformemente los 2 x 10⁶ Km² de superficie del terreno nacional, se necesitarían 4 000 estaciones. Obviamente, no se dispone de los recursos financieros para tal acción. Actualmente el Instituto de Geofísica de la UNAM tiene tres estaciones con un Observatorio Central inclusive, instalado en la Ciudad Universitaria. Los registros de estas últimas tienen una duración de 21 años. En realidad la instalación de una red nacional de medición de radiación solar le corresponde al Servicio Meteorológico de la SARH. Dicho servicio cuenta con 50 observatorios meteorológicos diseminados en el país; sería irreal proponer la instalación de una estación completa de radiación solar en cada uno de los observatorios. Sin embargo, una red de 20 estaciones cuya distribución se haría en base a la experiencia previa, demanda una inversión inicial de sólo 5 millones de pesos. Obviamente, de antemano deben considerarse los aspectos meteorológicos y de adquisición y procesamiento de la información. Afortunadamente se cuenta no sólo con experiencia, es decir recursos humanos, sino con una unidad de calibración del instrumental. Ambos factores

* 1 Watt pico es la eficiencia de una fotocelda bajo una energía luminosa, de 1 000 Watts/m².

¹⁹ Hammond, A. L. "An International Partnership for Solar Power". *Science* 197, 1977, p. 623.

aseguran que la información que se obtendría sería comparable; lo que significa cuantificar los errores de instrumentación y de procesamiento.

Con los datos obtenidos por la UNAM y esporádicamente por la CFE y el Servicio Meteorológico, datos de satélites y de otros elementos meteorológicos se han construido un conjunto de cartas mensuales y estacionales de la radiación solar incidente en un plano horizontal, el error estimado en estos cálculos es de $\pm 10\%$. De este trabajo²⁰ hemos tomado las cartas nacionales correspondientes a enero y junio (Figs. 1 y 2) con objeto de mostrar aquí los enormes recursos en energía solar con que cuenta México gracias a su situación geográfica.

Durante enero los valores mínimos absolutos (275 ly/día)* de radiación solar total (es decir, todo el espectro solar que se recibe en la superficie) se observan en las regiones de Córdoba, Ver., y la Sierra de San Pedro Mártir en Baja California. Los valores máximos (450 ly/día) de ese mes se localizan en Guanajuato, Querétaro y parte de Hidalgo.

En junio, los valores mínimos absolutos (375 ly/día) se ubican nuevamente en el suroeste del estado de Veracruz y la Sierra de Puebla, mientras que los máximos absolutos (700 ly/día) se localizan en la frontera norte en el estado de Chihuahua. Sin embargo, los valores mayores a 400 ly/día se encuentran prácticamente en el resto del país.

Los estudios de planificación y diseño de colectores solares utilizan para sus cálculos una incidencia máxima de energía solar en una superficie de 1 m², la potencia máxima incidente será de 1 000 *Watts*. Con datos medidos de la radiación solar durante periodos largos, es decir datos obtenidos bajo condiciones diferentes tales como cielo despejado, nublado, bruma, niebla, etcétera, se ha construido el cuadro 3 que muestra los valores medios de las 10 a las 16 horas.

Se desprende de este cuadro que el flujo de energía incidente en ese lapso de tiempo será, en promedio, entre el 40 y el 86% de la energía máxima teórica; Chihuahua y Orizabita (Valle del Mezquital) muestran los valores mayores. La ciudad de México, a pesar del problema de contaminación atmosférica prevaleciente, cuenta con una

²⁰ Galindo, I. y Chávez, A. *Estudio del Clima Solar en la República Mexicana. I. Radiación Solar Total*. Instituto de Geofísica, UNAM-Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, México, 1977, 24 pp., 16 cartas.

* 1 ly = 1 cal/cm². Una caloría representa la energía necesaria para elevar la temperatura de 1 gr. de agua, un grado centígrado. Un ly es el flujo de energía correspondiente que incide en un área de 1 cm².

potencia solar considerable; mientras que Madison tiene valores que oscilan entre el 28 y el 52%. Obviamente, la radiación solar en nuestro país ofrece grandes posibilidades como recurso energético.

CUADRO 3

RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE EN ALGUNOS LUGARES Y SU POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR EN *Wm*²

| Lugar | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | Hora del día |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| México, D. F. ¹ (19°N) (21 años) | 535 | 686 | 779 | 767 | 698 | 570 | 419 | |
| Orizabita, Hgo. ¹ (20°N) (8 años) | 566 | 721 | 832 | 864 | 823 | 720 | 561 | |
| Chihuahua, Chih. ¹ (28°N) (16 años) | 512 | 663 | 767 | 802 | 767 | 674 | 535 | |
| Madison, Wisconsin ² (43°N) (10 años) | 419 | 477 | 523 | 512 | 477 | 384 | 279 | |

¹ Datos medidos por el Instituto de Geofísica de la UNAM.

² Datos tomados de J. A. Duffie y W. A. Beckmann.²¹

²¹ J. A. Duffie and W. A. Beckmann. *Solar Energy Thermal Processes*. John Wiley & Sons, New York, 1974.

Figura 1

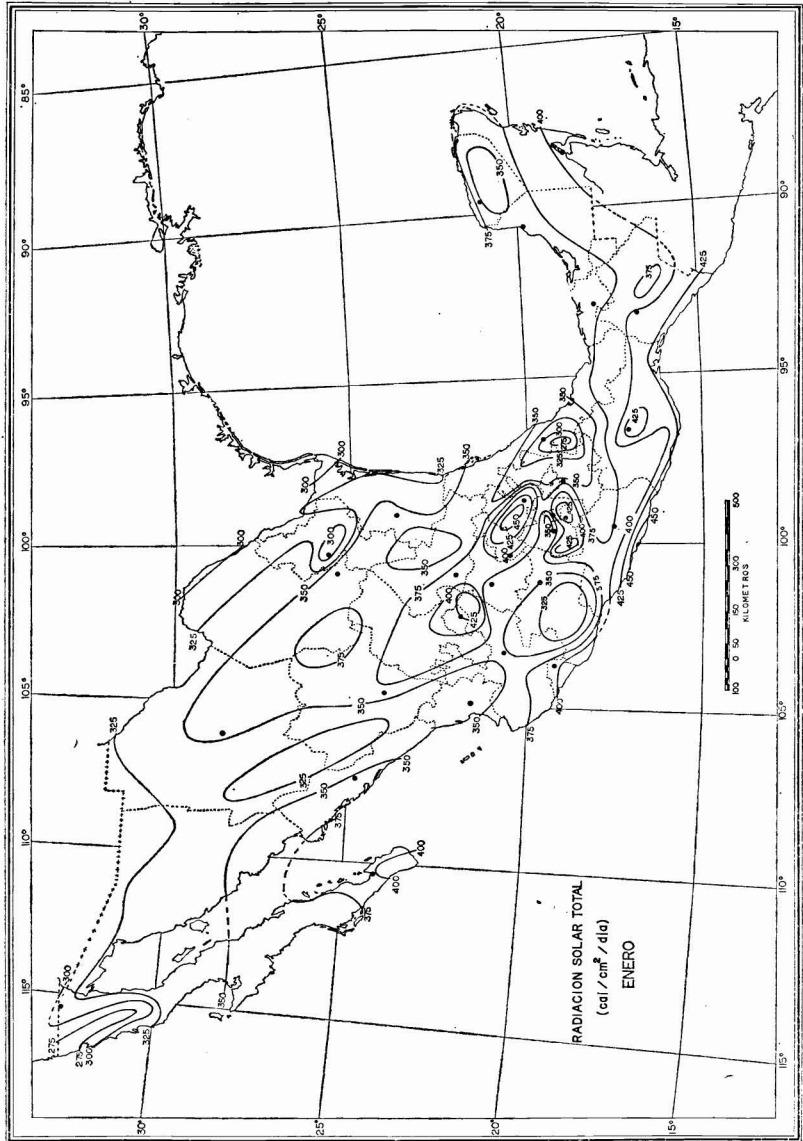
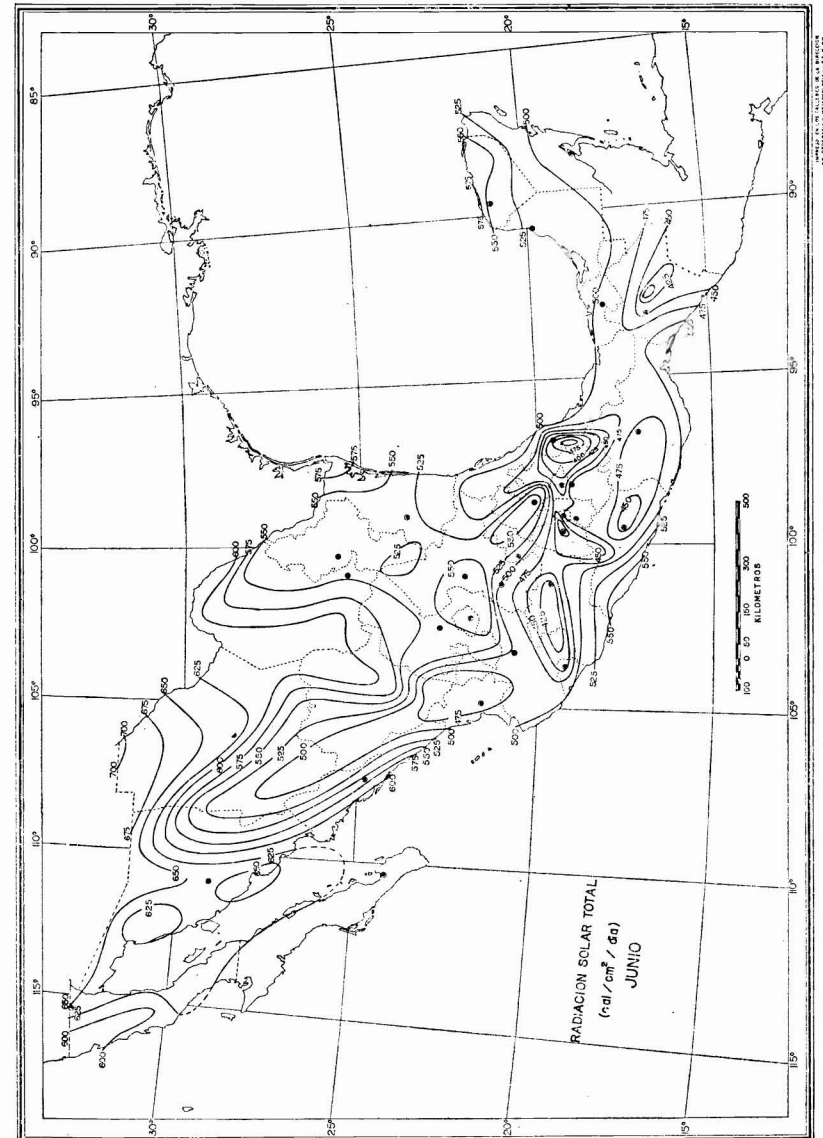


Figura 2



SUMMARY: In relation to other countries, Mexico has an outstanding place, thanks to its solar energy. This source offers many possibilities as an alternative energy power, with the enormous advantage of not being perishable as it is oil. The author presents the development and investigation being carried on solar energy and its future perspectives.

RÉSUMÉ: En comparaison avec d'autres pays, le Mexique est un pays exceptionnellement riche du fait qu'il possède un grand potentiel d'énergie solaire comme source alternative, et du fait qu'elle est inépuisable, elle présente un grand avantage sur d'autres sources comme le pétrole. L'article fait une révision de l'état des recherches en matière d'énergie solaire et ses perspectives de développement.